



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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUISCAB
DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, MEDIANTE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**

Esteban Stuardo Acuña Campos
Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, abril de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUISCAB
DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, MEDIANTE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ESTEBAN STUARDO ACUÑA CAMPOS

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| VOCAL V | Br. Sergio Alejandro Donis Soto |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADORA | Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña |
| EXAMINADORA | Inga. María Alejandra Má Villatoro |
| EXAMINADOR | Ing. Jaime Domingo Carranza González |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUISCAB
DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, MEDIANTE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha de 25 de enero de 2012


Esteban Stuardo Acuña Campos

Guatemala 03 de Septiembre de 2012

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdéz

Director de Escuela de Ingeniería Química

Presente

Ingeniero Monzón:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final de de trabajo de graduación del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental **Esteban Stuardo Acuña Campos** de carné **2006-11503**, el cual tiene como título "**Determinación de la Calidad del Agua en la subcuenca del Río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos**", estando de acuerdo con el desarrollo del mismo.

Atentamente,



Ing. Jorge Mario Estrada Asturias



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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 16 de noviembre de 2012
 Ref. EI.Q.TG-IF.053.2012

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-011-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Esteban Stuardo Acuña Campos**

Identificado con número de carné: **2006-11503**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

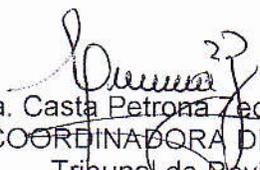
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
 QUISCAB DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, MEDIANTE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**

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

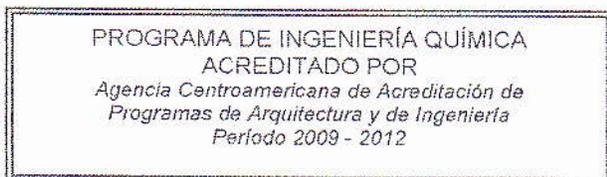
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


 Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
 COORDINADORA DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la carrera de **Ingeniería Ambiental** del estudiante, **ESTEBAN STUARDO ACUÑA CAMPOS** titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUISCAB DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, MEDIANTE DOS ÍNDICES BIÓTICOS"**.
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, abril 2013



Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 251 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUISCAB DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, MEDIANTE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**, presentado por el estudiante universitario **Esteban Stuardo Acuña Campos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 9 de abril de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** “Señor, digno eres de recibir la gloria y la honra y el poder; porque tu creaste todas las cosas y por tu voluntad existen y fueron creadas.”
Apocalipsis 4:11
- Mis padres** Stuardo Acuña y Keren Campos de Acuña, por su amor y apoyo incondicional que me brindaron en toda la carrera y a lo largo de mi vida.
- Mis hermanos** Marcos y Raquel que me apoyaron de igual manera en toda la carrera.
- Mis tíos y primos** Por su apoyo en los momentos de la carrera.
- Mis abuelos** Eugenio Campos, Thais de Campos y Juan Acuña (q.e.p.d.) quienes de igual manera me han dado muestras de cariño y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|--|---|
| Mi familia | Mis papás Stuardo y Keren y mis hermanos Marcos y Raquel. |
| Familia Duarte Acuña | Mis tíos Aníbal Duarte, Sonia de Duarte y mis primos Sofía, Javier y Juan Duarte, que fueron de gran bendición y apoyo en mis estudios y en esta investigación. |
| Familia Güitz Acuña | Tíos Edgar y Gladys que también apoyaron en mis estudios. |
| Familia Campos Fernández | Mis abuelos Eugenio, Thais, tíos Esdras Campos y Andrés Campos, que también apoyaron mucho a lo largo de la carrera. |
| Licda. Norma Gil | Por su valiosa contribución en la etapa experimental de esta investigación, lo cual hizo posible la misma. |
| Compañeros del CEMA | Por su ayuda en la parte experimental de esta tesis. |
| Ing. Jorge Mario Estrada Asturias | Por su tiempo y aporte de conocimientos como asesor en esta investigación. |

**Compañeros de la
Facultad y Amigos**

Por su apoyo y compañerismo a lo largo de los seis años de carrera de estudios.

**Facultad de
Ingeniería de la
Universidad de San
Carlos de
Guatemala**

Por ser mi Alma Mater, que me dio el privilegio de aprender los conocimientos en esta carrera a lo largo de los años de estudios.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | IX |
| GLOSARIO..... | XI |
| RESUMEN..... | XV |
| OBJETIVOS..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN..... | XIX |
| | |
| 1. ANTECEDENTES..... | 1 |
| | |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1. Conceptos básicos..... | 5 |
| 2.1.1. Contaminación..... | 5 |
| 2.1.2. Ciclos de los contaminantes ambientales..... | 7 |
| 2.1.3. Contaminación hídrica..... | 8 |
| 2.1.4. Principales problemas en la contaminación hídrica..... | 9 |
| 2.2. Conceptos de Bioindicación..... | 10 |
| 2.2.1. Bioindicación y biomonitoreo..... | 10 |
| 2.2.2. Tipos de bioindicadores..... | 12 |
| 2.2.3. Requisitos que deben cumplir los bioindicadores..... | 14 |
| 2.2.4. Biomonitoreo..... | 16 |
| 2.3. Índices biológicos utilizados en la calidad del agua..... | 16 |
| 2.3.1. Índices de diversidad..... | 17 |
| 2.3.1.1. Índice de Shannon-Wiener (H)..... | 17 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.3.1.2. | Índice de Simpson-Gini (Y)..... | 18 |
| 2.3.1.3. | Índices de Berger-Parker (B)..... | 18 |
| 2.3.1.4. | Índice de diversidad de Macintosh | 18 |
| 2.3.2. | Índices bióticos..... | 18 |
| 2.3.2.1. | <i>Biological monitoring working party</i> (BMWP)..... | 19 |
| 2.3.2.2. | Índice biótico de Trent (TBI)..... | 19 |
| 2.3.2.3. | Índice Chandler..... | 19 |
| 2.3.2.4. | Índice biótico de familia (IBF de Hilsenhoff)..... | 20 |
| 2.3.2.5. | Índice EPT..... | 20 |
| 2.4. | El índice biótico BMWP (<i>biological monitoring working party</i>)..... | 21 |
| 2.4.1. | Algunas modificaciones del índice BMWP..... | 22 |
| 2.4.2. | El índice BMWP-CR..... | 23 |
| 2.4.3. | Componentes de un río a evaluarse en el protocolo BMWP-CR..... | 27 |
| 2.5. | Características de la subcuenca del río Quiscab..... | 28 |
| 2.5.1. | Localización..... | 28 |
| 2.5.2. | Características climáticas..... | 29 |
| 2.5.3. | Características hidrológicas..... | 30 |
| 2.5.4. | Características demográficas..... | 30 |
| 3. | DISEÑO METODOLÓGICO..... | 33 |
| 3.1. | Variables..... | 33 |
| 3.1.1. | Variables independientes..... | 34 |
| 3.1.2. | Variables dependientes..... | 34 |
| 3.2. | Delimitación de campos de estudio..... | 35 |
| 3.2.1. | Área de investigación..... | 35 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.2. | Campo de investigación..... | 36 |
| 3.2.3. | Línea de investigación..... | 36 |
| 3.3. | Recursos humanos disponibles..... | 36 |
| 3.4. | Recursos materiales disponibles..... | 36 |
| 3.5. | Técnica cualitativa..... | 38 |
| 3.6. | Criterios para la selección de puntos de muestreo..... | 38 |
| 3.7. | Recolección y ordenamiento de la información..... | 40 |
| 3.8. | Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información..... | 42 |
| 3.9. | Análisis estadístico..... | 44 |
| 4. | RESULTADOS..... | 45 |
| 4.1. | Puntos de muestreo..... | 45 |
| 4.2. | Listado de familias obtenidas en los respectivos muestreos..... | 46 |
| 4.3. | Resultados de las muestras..... | 54 |
| 4.4. | Mapas de resultados del índice BMWP..... | 58 |
| 5. | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 61 |
| | CONCLUSIONES..... | 65 |
| | RECOMENDACIONES..... | 67 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 69 |
| | APÉNDICES..... | 73 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | División política de la subcuenca del río Quiscab..... | 31 |
| 2. | Red de muestreo tipo “D” | 37 |
| 3. | Recipientes herméticos con la muestra recolectada..... | 38 |
| 4. | Perfil del río Quiscab..... | 40 |
| 5. | Mapa de ubicación de los puntos de muestreo..... | 46 |
| 6. | Abundancia de familias en el punto de muestreo No.1 en la época seca..... | 48 |
| 7. | Abundancia de familias en el punto de muestreo No.2 en la época seca..... | 49 |
| 8. | Abundancia de familias en el punto de muestreo No.3 en la época seca..... | 50 |
| 9. | Abundancia de familias en el punto de muestreo No.1 en la época lluviosa..... | 52 |
| 10. | Abundancia de familias en el punto de muestreo No.2 en la época lluviosa..... | 53 |
| 11. | Abundancia de familias en el punto de muestreo No.3 en la época lluviosa..... | 54 |
| 12. | Mapa de resultados del índice BMWP en época seca..... | 58 |
| 13. | Mapa de resultados del índice BMWP en época lluviosa..... | 59 |

TABLAS

| | | |
|-------|--|----|
| I. | Niveles de calidad del agua según índice EPT..... | 21 |
| II. | Listado taxonómico de familias según el índice BMWP-CR... | 24 |
| III. | Niveles de calidad del agua según índice BMWP-CR..... | 26 |
| IV. | Variables..... | 33 |
| V. | Plan de trabajo..... | 41 |
| VI. | Forma de muestreos..... | 43 |
| VII. | Puntos de muestreo..... | 45 |
| VIII. | Familias obtenidas para el punto de muestreo No.1 en época seca..... | 47 |
| IX. | Familias obtenidas para el punto de muestreo No.2 en época seca..... | 48 |
| X. | Familias obtenidas para el punto de muestreo No.3 en época seca..... | 50 |
| XI. | Familias obtenidas para el punto de muestreo No.1 en época lluviosa..... | 51 |
| XII. | Familias obtenidas para el punto de muestreo No.2 en época lluviosa..... | 52 |
| XIII. | Familias obtenidas para el punto de muestreo No.3 en época lluviosa..... | 54 |
| XIV. | Resultados del número BMWP para cada punto de muestreo en época seca | 55 |
| XV. | Resultados del número BMWP para cada punto de muestreo en época lluviosa..... | 55 |
| XVI. | Resultados de porcentaje ETP para cada punto de muestreo en época seca..... | 56 |

| | | |
|--------|---|----|
| XVII. | Resultados de porcentaje ETP para cada punto de muestreo en época lluviosa..... | 56 |
| XVIII. | Resultados de los análisis de DBO_5 para cada punto de muestreo..... | 57 |
| XIX. | Tabla resumen de los parámetros obtenidos por punto de muestreo..... | 57 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|------------------------|---|
| DBO₅ | Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días de reacción. |
| EPT | Ephemeroptera – Plecoptera – Trichoptera |
| L | Litro |
| Mg | Miligramo |
| Mm | Milímetro |
| % | Porcentaje |

GLOSARIO

| | |
|----------------------|--|
| Antropogénico | Efectos derivados de la actividad del ser humano. |
| Azolvamiento | Deposición de los sólidos disueltos y en suspensión en los cuerpos de aguas que han sido arrastrados. |
| Bentos | Comunidad formada por materia inerte y organismos que habitan en el fondo de los ecosistemas acuáticos. |
| Biocenosis | Conjunto de organismos de todas las especies que coexisten en un lugar definido. |
| Biodiversidad | Es la cantidad, variedad y variabilidad de los organismos vivos. |
| Bioindicador | Organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones dependen del medio en que se desarrollan. |
| Biotopo | Es un área de condiciones ambientales uniformes que provee espacio vital a un conjunto de flora y fauna. |
| Contaminación | Alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente |

totalmente ajeno a ese medio, causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo.

Cuenca hidrográfica Es una superficie geográficamente delimitada por las partes altas denominadas parteaguas, donde toda gota de agua que cae dentro de estos límites drena hacia un mismo cauce principal.

Ecosistema Es el complejo sistema de comunidades de seres vivos y el medio inerte que les rodea y sus interacciones como unidad ecológica.

Escorrentía Corriente de agua que drena, por efectos de la gravedad, hacia un punto más bajo dentro de la cuenca hidrográfica.

Eutrofización Enriquecimiento con nutrientes de los cuerpos de aguas.

Geoposicionamiento Acción de localizar un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datum determinado, en el globo terráqueo.

Impacto ambiental Efecto producido por cualquier actividad humana sobre el ambiente que le rodea en todos sus aspectos.

Macrófitas Grupo conformado por algunas plantas, algas y musgos, de tamaños mayores, adaptados a la vida acuática.

| | |
|-------------------|---|
| Monitoreo | Es la observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales cambios. |
| Morfología | Es el estudio de la forma de un determinado objeto. |
| Organismo | Entidad biológica capaz de reproducirse, y formado por células. |
| Sedentario | Que permanece en el mismo lugar o en una zona cercana en la que ha nacido. |
| Sustancia | Es toda porción de materia que comparte determinadas propiedades. |
| Taxón | Es un grupo de organismos emparentados que han sido agrupados debido a sus similitudes físicas o genéticas. |

RESUMEN

Esta investigación, se realizó en la subcuenca del río Quiscab, en la cuenca del lago de Atitlán, en el departamento de Sololá, y tuvo por objeto determinar la calidad del agua en la corriente superficial del mismo río, utilizando como base dos tipos de índices bióticos. Estos índices bióticos se basan en la recolección de organismos macroinvertebrados (de tamaño mayor a 2 mm) que viven en los bentos o lechos del río en cada estación o punto de muestreo.

Los puntos de muestreo se colocaron tratando de abarcar la mayor parte de la cuenca, en la parte alta, media y baja de la misma, repitiéndose dos veces; una en época seca y otra en época lluviosa.

Los índices que se utilizaron son el BMWP-CR (*biological monitoring working party* adaptado para Costa Rica) y el EPT (*Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera*); ambos poseen una puntuación basada en los macroinvertebrados recolectados como se mencionó anteriormente. Además se tomaron muestras de agua para realizarse análisis de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) en las mismas como parámetro de comparación.

Una vez obtenidas las puntuaciones de cada parámetro, se realizó un análisis de la información, mediante el mapeo de los puntos de muestreo utilizando un SIG (Sistema de Información Geográfica), para ubicar en los mapas correspondientes las zonas de contaminación según los parámetros anteriormente mencionados y analizar los resultados.

OBJETIVOS

General

Determinar el estado de la calidad del agua para la supervivencia de los organismos acuáticos en la subcuenca del río Quiscab por medio de la aplicación de los índices bióticos BMWP-CR y EPT.

Específicos

1. Determinar cualitativa y cuantitativamente la variedad taxonómica de macroinvertebrados existentes en varios puntos de muestreo.
2. Medir la contaminación orgánica de las aguas superficiales en la subcuenca en estudio, según los parámetros de los índices bióticos BMWP-CR y EPT y el parámetro fisicoquímico DBO.
3. Comparar los resultados de los índices BMWP-CR, EPT y DBO.
4. Elaborar mapas que indique los niveles de contaminación del río según los resultados obtenidos.
5. Establecer las causas posibles de la contaminación.

INTRODUCCIÓN

Como es sabido, la presencia de los contaminantes en cualquier ecosistema existente, es causante de alteraciones en el mismo, que se reflejan en el comportamiento y las poblaciones de los organismos habitantes. De esta manera, es posible detectar mediante la ausencia o excesiva presencia de cierto grupo de organismos vivos la presencia de la contaminación, ya que cada organismo responde de manera distinta a los cambios, según su sensibilidad o tolerabilidad. Aplicado a los cuerpos de agua, y mediante el monitoreo de estos organismos sensibles, puede determinarse la calidad del agua de un determinado lugar.

La aplicación del biomonitoreo es una herramienta importante para determinar los niveles de contaminación, por ser una vía rápida, económica y eficaz de utilizar y que puede ser aplicada en cualquier cuerpo de agua del país, y que puede servir como una herramienta útil de soporte para la ingeniería ambiental.

1. ANTECEDENTES

En cualquier ecosistema existente, la presencia de una sustancia o individuo extraño altera de una u otra forma el comportamiento y la cantidad de los organismos en que el habitan. Este es el concepto en el que se basan los bioindicadores. Es decir, los organismos bioindicadores son aquellos organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, funcionamiento y sus reacciones dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse las condiciones ambientales. Mediante la observación de organismos bioindicadores, se han evaluado la calidad de las aguas superficiales durante varios años atrás.

A partir de los años 50, varios investigadores de diferentes países propusieron métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de los sistemas de aguas continentales, especialmente de las aguas continentales de escorrentía; como lo hicieron Patrick en 1949 y 1950, Weimann en 1951, Hynes en 1959 y 1963, Sladeczek en 1962 (Sladeczek 1973, Roldán-Pérez 2003).

También en las décadas de los años 50 y 60, se inició la discusión de conceptos relacionados con la biodiversidad, los cuales fueron utilizados para elaborar índices en materia del biomonitoreo, con base en índices matemáticos de los cuales se generó una gran diversidad de información debido al trabajo de muchos autores que han aportado sus mejores esfuerzos de interpretación a la complejidad del tema, tales como: Shannon-Weaver 1949, Simpson 1949, Brillouin 1951, Margaleff 1955; (Roldán-Pérez 2003).

De esta manera es que surgió el uso del Índice Biológico BMWP (*biological monitoring working party*), un método que fue establecido por primera vez en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y del tiempo que se requiere invertir (Roldán 1988). El BMWP es un procedimiento de medición de calidad del agua que se utiliza macroinvertebrados bentónicos (que viven en los bentos o lechos de los ríos) de 110 familias taxonómicas, con diferentes tolerancias a los contaminantes, donde la ausencia o excesiva presencia de algunos darán resultados de la calidad del agua.

Dado a la facilidad de aplicación de este método, se han estudiado y realizado diversas adaptaciones del mismo para varias zonas geográficas; una de las más conocidas es el Índice IBMWP (*Iberian biological monitoring working party*), realizado en España y utilizable en la Península Ibérica. De igual manera, se han adaptado métodos similares como los desarrollados por Roldan (BMWP-R), Zúñiga de Cardozo y Armitage; y aplicados en Sudamérica.

En Centroamérica, se han desarrollado métodos en El Salvador (IBF-2010-SV), en Honduras, Nicaragua y Costa Rica (BMWP-CR); de los cuales solo éste último ha sido el que ha sido adaptado formalmente mediante el “Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales” (La Gaceta No. 178, Decreto No.33903 MINAE-S). Este mismo método ha sido implementado en Panamá y Cuba y es por esto que se seleccionó como el más adecuado para la implementación dentro del estudio a realizarse en la presente investigación.

En Guatemala, se han realizado estudios separados de la calidad del agua por indicadores biológicos, como el realizado por García Soto en 2008,

que es un Análisis de la de la distribución de Macroinvertebrados acuáticos, además de otros estudios similares que existen como trabajos de graduación de la Escuela de Biología de la Facultad de CC Químicas y Farmacia, USAC, además de otros estudios en el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, de la USAC.

De igual manera, el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala ha realizado monitoreos en el lago de Atitlán, por macrófitas, o directamente la cianobacteria y en algunos casos se han tomado muestras de macroinvertebrados y peces.

Sin embargo, según el MARN en el Manual de Indicadores de Ambiente y Recursos Naturales, “no existen en Guatemala estudios completos sobre los macroinvertebrados acuáticos, aunque si se han realizado ciertos estudios en cuencas específicas en los departamentos de Ciencias Biológicas de la USAC y la UVG”¹. Estos estudios son los que han sido realizados y publicados en Guatemala.

¹ CASTELLANOS, Erwin; ESCRIBÁ, José; Manual de Indicadores del Ambiente y los RN. MARN, Guatemala. Diciembre 2003.

2. MARCO TEÓRICO

La calidad del agua es afectada por diversos factores externos que hacen que ésta sea o no apta para el desarrollo de la vida acuática. Para este fin se presentan a continuación los conceptos básicos en este tema.

2.1. Conceptos básicos

Para entender de los índices bióticos y biomonitoreo aplicados a la calidad del agua, es necesario saber los conceptos básicos de contaminación.

2.1.1. Contaminación

La contaminación es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio (contaminante), causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía (como sonido , calor , o luz), o incluso genes . A veces el contaminante es una sustancia extraña, una forma de energía, o una sustancia natural.

“Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio, y por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana”.²

² www.merriam-webster.com; Pollution – Definition from the Merriam-Webster Online Dictionary, consulta: 28 de septiembre de 2011

Debido a la gran cantidad de contaminantes existentes, la contaminación se ha clasificado en varias formas, atendiendo la fuente de contaminación, el medio receptor o el impacto que ocasiona en el ambiente.

La clasificación es la siguiente:

- Contaminantes según su fuente de procedencia: esta es la agrupación más simple, puesto que es de tipo causal, atendiendo al origen de la contaminación. Como las actividades antropogénicas son las principales generadoras de la contaminación, se deduce que serán muchas las causas que puedan ocasionar la emisión de los contaminantes. Las principales fuentes de contaminación tanto temporal como geográficamente son las siguientes:
 - Agricultura y ganadería
 - Generadoras de electricidad
 - Transporte
 - Minería
 - Metalurgia
 - Industria química y electrónica
 - Tratamiento de residuos

- Contaminantes según el medio receptor: en esta clasificación, los contaminantes se agrupan atendiendo al medio receptor en el que transcurre su existencia o la mayor parte de ella. Los grupos más significativos son:
 - Contaminantes atmosféricos, en este grupo se encuentran aquellos que son volátiles y que se localizan en la atmósfera libre.

- Contaminantes urbanos
 - Contaminantes del agua
 - Contaminantes marinos
 - Contaminantes del suelo
- Contaminantes según los impactos ambientales ocasionados: una vez que los contaminantes son emitidos por las fuentes que los originan y alcanzan un medio determinado, provocan ciertas alteraciones o impactos. Precisamente, se utilizan estos impactos ambientales para clasificar los diferentes contaminantes. Los principales impactos ambientales que pueden provocar las emisiones antropogénicas son:
 - Efecto invernadero
 - Acidificación
 - Destrucción del ozono estratosférico
 - Formación del *smog* (contaminación Fotoquímica)
 - Eutrofización
 - Toxicidad humana
 - Ecotoxicidad

2.1.2. Ciclos de los contaminantes ambientales

Todo episodio de contaminación está constituido por: la fuente de producción del contaminante, el medio de transporte, su transformación física y química y el medio receptor.

La fuente que origina naturaleza química del contaminante o contaminantes emitidos, el medio donde es vertido y el flujo de emisión. Una vez emitida la sustancia (contaminante primario), esta se desplaza a otras

zonas del medio o a otros medios, dependiendo del mecanismo de transporte predominante. Al mismo tiempo, según sea su reactividad, el contaminante puede transformarse químicamente (contaminante secundario) o bien degradarse para dar compuestos inertes. Finalmente, si el contaminante logra escapar de las barreras físicas y químicas que le interpone el medio, alcanza el medio receptor (organismos vivos, ecosistemas o materiales) con el que interaccionará.

La cantidad de contaminante que alcanza el medio receptor es una fracción de la que es emitida, debido a los procesos que tienen lugar en el medio de transporte. En efecto, una vez introducido el contaminante en el medio, éste se dispersa asociándose, según su afinidad, a las distintas fases constitutivas del medio; además, como ya se ha mencionado, pueden tener lugar reacciones químicas que lo transformen.

2.1.3. Contaminación hídrica

La contaminación hídrica o contaminación del agua es la alteración de las propiedades físicas y químicas del agua ya sea por la introducción de materiales o sustancias, o por el cambio de las condiciones del agua, de tal modo que ésta pierda sus características originales e impedirán sus usos posteriores o sus servicios ambientales.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para ser utilizada beneficiosamente en para consumo humano y de los animales. La conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida

por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones.

Para efectos de las corrientes de agua superficiales, los contaminantes presentes son degradados por efectos de microorganismos y por efectos físico-hidráulicos, proceso que se conoce como “autodepuración del agua”. Sin embargo, este proceso se impide cuando el contaminante se presenta en cantidades excesivas.

2.1.4. Principales problemas en la contaminación hídrica

La presencia de los contaminantes hídricos da como resultado diversos problemas en los cuerpos de agua, sobre todo por la acumulación de los contaminantes sin que se pueda llevar el proceso de autodepuración, lo que se conoce como bioacumulación. Los principales procesos de bioacumulación son:

- Bioacumulación como tal que es la persistencia de los contaminantes en el medio ambiente, que se produce por bloqueo del proceso de biodegradación de moléculas y se debe a la escasa población de microorganismos que puedan degradar dichas moléculas.
- Eutrofización, que es el enriquecimiento con nutrientes de los cuerpos de aguas. Éste es un proceso que ocurre naturalmente y es esencial para el mantenimiento de la vida; no obstante, la excesiva presencia de nutrientes como fosfatos y nitratos vertidos en las aguas residuales, producen la proliferación de algunos microorganismos y algas que alteran el equilibrio en sus ecosistemas respectivos.

- Salinización que es la concentración excesiva de sales en el perfil del suelo por efectos hídricos, como el agua subterránea, la escorrentía (arrastre).
- Azolvamiento, no es más que la deposición de los sólidos disueltos y en suspensión en los cuerpos de aguas que han sido arrastrados por la escorrentía.
- Lixiviación es el arrastre de sustancias y/o contaminantes que se encuentran en el suelo para su posterior deposición en los cuerpos de agua.

2.2. Conceptos de bioindicación

Para entender el significado de bioindicación se presenta a continuación las definiciones y clasificaciones más comunes.

2.2.1. Bioindicación y biomonitoreo

En cualquier ecosistema, tanto los seres vivos – biocenosis – como el ambiente que lo rodea – biotopo – interactúan entre sí intercambiando materia y energía.

De esta manera, la alteración en cada una de las partes mencionadas anteriormente va a afectar directa o indirectamente a la otra; de igual manera, el comportamiento, alteración o sobrepoblación de una comunidad o población de una determinada especie, afecta directa o indirectamente al resto del ecosistema. Por supuesto la presencia de un contaminante en el ecosistema, afecta cada uno de sus componentes, de modo que las especies menos

tolerantes desaparecerán y las más tolerantes ocuparán el espacio de las desaparecidas. Éste es el concepto de los bioindicadores, aquellos organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse las condiciones ambientales.

Estos son sensibles a los cambios ambientales y reaccionan ante ellos como si fueran estímulos específicos. Los estímulos absorbidos provocan respuestas en los bioindicadores que dan información tanto acerca de los cambios ocurridos como de nivel de intensidad del cambio ambiental.

La capacidad de respuesta de los bioindicadores depende de muchos factores, éstos pueden ser: la composición genética del organismo, porque puede favorecer o no la adaptación a los cambios y por tanto la manifestación de respuestas, fácil y rápidamente visibles. El estado de desarrollo, pues hay etapas en el ciclo vital que son más influyentes, por ejemplo, los individuos juveniles suelen ser más sensibles, mientras que los adultos suelen ser más resistentes. Además influyen las propias condiciones ambientales, porque los estímulos pueden ser infinitamente variados y sus efectos no siempre son aditivos, sino que puede haber sinergismos o efectos potenciadores de unas condiciones frente a otras.

Con estas definiciones se puede decir que en realidad todos los organismos vivos son bioindicadores ya que todos responden de una u otra forma a los cambios ocasionados en el ambiente por diversos factores. Sin embargo para el estudio de la contaminación ambiental, no se seleccionan a todos los seres vivos sino específicamente algunos de estos, ya que unos son mejores o más útiles que otros, ya sea porque respondan mejor o porque las respuestas sean a hechos más interesantes.

2.2.2. Tipos de bioindicadores

Los bioindicadores pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios:

- El más sencillo consiste en atender al grado de sensibilidad que muestran frente a los estímulos ambientales; así se puede diferenciar especies muy sensibles, sensibles, poco sensibles y resistentes.
- El segundo criterio es la forma de respuesta a los estímulos:
 - Detectores: bioindicadores que viven naturalmente en un área y que simplemente muestran respuestas tales como cambios de vitalidad, mortalidad, capacidad reproductora entre otros, ante los cambios ambientales que se produzcan a su entorno.
 - Explotadores: bioindicadores cuya presencia indica la probabilidad elevada de que exista una perturbación. Con frecuencia son organismos que, de forma más o menos repentina, se hacen muy abundantes en un lugar, casi siempre debido a la falta de competidores, que han sido previamente eliminados por la perturbación.
 - Centinelas: bioindicadores sensibles o muy sensibles, que se introducen artificialmente en un medio y funcionan como alarmas, porque detectan rápidamente los cambios. Se utilizan fundamentalmente para detectar contaminantes.

- Acumuladores: bioindicadores que por lo general son resistentes a ciertos compuestos al ser capaces de absorberlos y acumularlos en cantidades medibles.
- Organismos *test* o bioensayo: bioindicadores que se utilizan en el laboratorio a modo de reactivos para detectar la presencia o la concentración de contaminantes. Son siempre bioindicadores sensibles tanto plantas como bacterias y, en algunos casos, ratas y ratones. Además de ser usados para detectar contaminantes y su concentración también suelen utilizarse para establecer listas de contaminantes según su toxicidad.
- El tercer criterio responde al de poder cuantificar la respuesta, que pueden ser:
 - Bioindicadores (en sentido estricto): son aquellos que con su presencia o ausencia y abundancia, indican los efectos de un factor ambiental de forma cualitativa; pueden ser tanto positivos, por su presencia o abundancia, como negativos, por su ausencia.
 - Biomonitores: son especies que indican la presencia de contaminantes o perturbaciones no solo de forma cualitativa, sino también de forma cuantitativa, porque sus reacciones son de alguna manera proporcional al grado de contaminación o perturbación. Las especies pueden ser biomonitores bien porque reaccionen de una forma determinada, es decir, por acumulación. Los biomonitores, por otra parte, pueden ser a su vez pasivos, si son naturales en la zona que se esté considerando, o activos, si son introducidos por el hombre mediante trasplantes.

2.2.3. Requisitos que deben cumplir los bioindicadores

Las especies bioindicadores deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Dar respuestas de interés para el ecosistema que se esté estudiando y que éstas sean relativamente fáciles de observar y/o medir.
- Tener límites de tolerancia estrechos respecto a variables ambientales, es decir, ser estenoicos y no eurioicos.
- Dar respuestas distintas ante estímulos diferentes
- Solo deben tener como fuente de lo que se desea estudiar, aquello que proceda del foco de perturbación.
- Deberían ser sedentarios o tener una capacidad de dispersión limitada
- Ser fáciles de muestrear. En este aspecto, si las especies son raras no son fáciles de muestrear, por tanto, ser común sería una ventaja. Por otra parte, deben estar presentes en una cantidad suficiente como para no alterar ni destruir la población en el caso de que se tengan que hacer muestreos sucesivos.
- Deben ser resistentes a la acumulación de contaminantes (especialmente si se trata de bioindicadores acumuladores) permaneciendo vivos para poder observar sus respuestas, a menos que la mortalidad sea una de las variables a estudiar.
- Sería preferible que fueran organismos de larga vida para poder muestrear diferentes grupos de edades, o el bioindicador ha de tener un

tiempo de vida lo suficientemente largo como para que las respuestas se puedan manifestar.

Aunque se haya dicho que los mejores bioindicadores son las especies estenoicas, pues sus relaciones son más sensibles, hay casos en que especies eurinicas pueden también ser buenas bioindicadoras, precisamente por ser muy comunes y abundantes en zonas amplias y así al faltar en algunos lugares concretos pueden indicar algunos impactos ambientales.

Ventajas de los bioindicadores:

Como es sabido, para saber el estado del medio ambiente, existen los parámetros físico-químicos sin embargo, según Capó Martí, las ventajas de los bioindicadores son:

- Reflejan el complejo efecto de todos los factores ambientales en dicho medio. Evitan la tarea de hacer medidas físicas o análisis químicos que, a menudo, requieren tiempo, técnicas, aparatos y personal cualificado que no suelen estar disponibles por no poderse trasladar al lugar que se quiere estudiar.
- Ayudan a visualizar la velocidad y la dirección de los cambios ambientales.
- Muestran los efectos sobre los seres vivos y su potencial peligrosidad
- Localizan las zonas de los ecosistemas donde las materias tóxicas y contaminantes se acumulan.

En resumen, los bioindicadores dan una imagen bastante exacta acerca de la extensión de la contaminación que está alcanzando a los seres vivos de un área y de sus efectos. Proporcionan una medida de la intensidad del impacto ambiental y de su peligro potencial para otros organismos vivos.

2.2.4. Biomonitorio

El monitoreo es un seguimiento rutinario de la información prioritaria de un programa o problema, su progreso con respecto al tiempo, sus actividades y sus resultados.

En el caso de la monitorización ambiental, ésta puede ser:

- Fisicoquímica, que consiste simplemente en medir concentraciones de contaminantes en el medio. Ésta puede llegar a ser muy rápida, pero arrojan como resultados solo valores puntuales, pero sus resultados no dicen nada acerca de sus efectos a corto o largo plazo.
- Biológica o biomonitorio, que consiste en el uso regular y sistemático de organismos vivos para monitorizar o determinar la calidad ambiental. Esta da información acerca de las relaciones entre las condiciones ambientales y el mundo vivo.

2.3. Índices biológicos utilizados en la calidad del agua

Como se ha mencionado anteriormente, existen varios métodos de monitoreo biológico y para la calidad de las aguas existen dos clases de índices:

2.3.1. Índices de diversidad

Estos miden la abundancia y biodiversidad de especies de un sitio; en los sitios donde exista mayor biodiversidad, la puntuación será mayor. Reflejan alteraciones del número total de comunidades de organismos. Como ventajas de estos índices respecto a los bióticos destacan que “no es necesaria la identificación de especies o familias, que no se requiere información sobre la tolerancia a contaminación y que sirven para detectar episodios leves de contaminación. Por contra no existe un consenso claro sobre los valores de los índices”³. Los índices más comunes son:

2.3.1.1. Índice de Shannon-Wiener (H)

Este índice relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada especie presente en la muestra. Sin embargo, ha sido criticado debido a que no considera aspectos importantes como la periodicidad y el tipo de muestreo, el nivel de la resolución taxonómica y porque responde de manera irregular a los cambios naturales del medio acuático.

El valor máximo que adquiere en los ríos para las comunidades de invertebrados bénticos es de 4,5. Valores inferiores a 2,4-2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, etc.). Es un índice que disminuye mucho en aguas muy contaminadas. Por tanto, cuanto mayor valor tome el índice de Shannon-Wiener, mayor calidad tendrá el agua objeto de estudio.

³ <http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm#Fisicoquimicos>
Milliarium.com: Ingeniería Civil y Medio Ambiente. Consulta: el 29 de septiembre de 2011.

2.3.1.2. Índice de Simpson-Gini (Y)

Expresa la probabilidad compuesta de que dos individuos extraídos al azar de una comunidad pertenecen a la misma especie. Si dicha probabilidad es alta la comunidad es poco diversa.

El índice tomará valores comprendidos entre 0 % y 100 %. Valores inferiores al 20 % indican una calidad muy buena del agua, mientras que si la valoración supera el 60 % la calidad del agua será deficiente o mala. Principalmente es indicador de los siguientes impactos: polución orgánica, degradación en la morfología del río y degradación general.

2.3.1.3. Índices de Berger-Parker (B)

Mide la dominancia de la especie o taxón más abundante. Este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y 1 (0 % y 100 %). Es indicador de los mismos impactos que el índice de Simpson-Gini: polución orgánica, degradación en la morfología del río y degradación general.

2.3.1.4. Índice de diversidad de Macintosh

Trabaja los tamaños de las poblaciones de los distintos taxones, indicando la dominancia de alguno o algunos de ellos.

2.3.2. Índices bióticos

Estos suelen ser específicos para un tipo de contaminación o región geográfica, y se basan en el concepto de tomar como base un organismo indicador, como se mencionó anteriormente. 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, dependiendo del índice que vaya a tomarse, donde los valores finales indicarán la calidad de ese ecosistema acuático.

2.3.2.1. *Biological monitoring working party (BMWP)*

Se basa en la asignación a las familias de macroinvertebrados acuáticos de valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes). La suma de los valores obtenidos para cada familia detectada en un punto dará el grado de contaminación del punto estudiado. Se ampliará posteriormente acerca de este índice.

2.3.2.2. Índice biótico de Trent (TBI)

El índice biótico de Trent 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).

2.3.2.3. 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 necesaria 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.

2.3.2.4. Índice biótico de familia (IBF de Hilsenhoff)

El índice biológico o biótico de Hilsenhoff (“IB” en español o “BI” por sus siglas en inglés) fue originalmente desarrollado en 1977 por el Dr. William Hilsenhoff de la Universidad de Wisconsin, con el propósito de evaluar la reducción de oxígeno disuelto debido a la carga orgánica en ríos⁴.

Se debe obtener la taxonomía completa de los macroinvertebrados bentónicos esto a nivel de familia. Luego por cada familia se determina el puntaje de tolerancia, en donde 0 representa el menos tolerante y el 10 corresponde al más tolerante. La puntuación más alta es la más contaminada. Existe una adaptación de este método para el territorio de El Salvador.

2.3.2.5. Índice EPT

Se llama así porque evalúa la abundancia de los grupos de macroinvertebrados *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*, con respecto a abundancia total de macroinvertebrados encontrados. Estos grupos se evalúan debido a que son más sensibles a la contaminación, así que los porcentajes de EPT mayores al 75% de la abundancia total reflejan una buena calidad del agua y los cercanos a 0% indican mala calidad (véase tabla I). Generalmente, las evaluaciones del índice EPT van acompañados a las de BMWP debido a que se

⁴ SERMEÑO CHICAS, J. M. *et. al.* Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Universidad de El Salvador - OEA. Editorial Universitaria UES, San Salvador 2010.

hace en base al mismo muestreo, sin embargo, el EPT es un parámetro cuantitativo ya que se refiere al número de individuos EPT con relación al muestreo total de individuos.

Tabla I. **Niveles de calidad del agua según índice EPT**

| Clase | Índice EPT (%) | Calidad del Agua |
|-------|----------------|------------------|
| 1 | 75 – 100 | Muy buena |
| 2 | 50 – 74 | Buena |
| 3 | 25 – 49 | Regular |
| 4 | 0 – 24 | Mala |

Fuente: ARCE María – LEIVA Marlín, 2009.

2.4. **El índice biótico BMWP (*biological monitoring working party*)**

En 1970 se estableció en Inglaterra el índice creado por Armitage, el *biological monitoring working party (BMWP)* como un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta nivel de familia y que requiere solo de datos cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles reciben una puntuación de 10; en cambio las más tolerantes a la contaminación reciben una puntuación de 1. Familias intolerantes a la contaminación tienen puntajes más altos y las tolerantes puntajes más bajos.

La suma de los puntajes de todas las familias en un sitio dado da el puntaje BMWP total. El puntaje promedio por taxón conocido ASPT (*Average score per taxon*) esto es, el puntaje total BMWP dividido por el número de los

taxa es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación basado en el conocimiento de la distribución y abundancia

Se consideran macroinvertebrados bentónicos a aquellos organismos invertebrados que desarrollan alguna fase de su ciclo vital en el medio acuático, y cuyo tamaño es superior a los 2 mm. Abarca insectos, moluscos, crustáceos, turbelarios y anélidos principalmente.

2.4.1. Algunas modificaciones del Índice BMWP

Debido a la fácil aplicación del índice, existen varias modificaciones para el mismo. Para efectos de este estudio, se mencionará las realizadas en países hispanoamericanos. La primera de las más importantes es el IBMWP (*Iberian biological monitoring working party*, antes llamado BMWP'), el cual, como su nombre lo indica, es aplicable para los cuerpos de agua en la península ibérica.

Fue creado por Javier Alba-Tercedor, y hasta la fecha, se han realizado una buena cantidad de estudios en base a este índice en muchas cuencas de España. Existe además la creada por el biólogo colombiano Gabriel Roldán Pérez, quien ha trabajado en muchas investigaciones acerca del uso de macroinvertebrados como bioindicadores. El índice que creó es el denominado en algunos textos BMWP-R (BMWP modificado por Roldán) o por el mismo Roldán como BMWPA (BMWP modificado para Antioquía, Colombia). Asimismo, existen otros índices modificados, utilizados en Chile y Ecuador, como el de Zúñiga de Cardoso.

En Centroamérica se han realizado estudios similares, sin embargo existen solamente dos métodos modificados para la zona. El primero es el

método de Hillsenhoff modificado para El Salvador, y el segundo, el método BMWP modificado para Costa Rica, que se presenta a continuación.

2.4.2. El índice BMWP-CR

El BMWP-CR (*biological monitoring working party* modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados, las cuales se asignan según el grado de sensibilidad de cada uno.

Los macroinvertebrados acuáticos bentónicos se definen como “pequeños animales que pueden observarse a simple vista y tienen tamaños entre 2 milímetros y 30 centímetros”⁵. No poseen huesos, solamente exoesqueletos y viven en los fondos de los cuerpos de agua (bentos).

El puntaje se asigna una sola vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados, de esta manera, las familias encontradas son sumadas y la suma de los puntajes de todas estas familias encontradas en cada sitio de muestreo es la que brinda el valor final del índice. Este índice no solo ha sido aplicado en Costa Rica; también existe un estudio aplicado para la cuenca del río Tascalapa en Honduras, debido a las similitudes climáticas en la zona de Centroamérica, donde la biodiversidad es muy similar.

En la siguiente tabla se muestran las familias de macroinvertebrados bentónicos para este índice, junto a su respectiva puntuación.

⁵ MAFLA HERRERA, Maribel. Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca - Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2005

Tabla II. Listado taxonómico de familias del índice BMWP-CR

| Puntuación | 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 | Coleoptera | <i>Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae</i> |
| | Odonata | <i>Gomphidae; Lestidae; Platystictidae Megapodagrionidae; Protoneuridae;</i> |
| | Trichoptera | <i>Philopotamidae</i> |
| | Crustacea | <i>Talitridae; Gammaridae</i> |
| 6 | Odonata | <i>Libellulidae</i> |
| | Megaloptera | <i>Corydalidae</i> |
| | Trichoptera | <i>Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae</i> |
| | Ephemeroptera | <i>Euthyplociidae; Isonychidae</i> |
| 5 | Lepidoptera | <i>Pyralidae</i> |
| | Trichoptera | <i>Hydropsychidae; Helicopsychidae</i> |

Continuación de la tabla II.

| | | |
|----------|----------------------|--|
| 5 | Coleoptera | <i>Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae</i> |
| | Ephemeroptera | <i>Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; 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> |

Continuación de la tabla II.

| | | |
|---|-----------------|---|
| 2 | Diptera | <i>Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae</i> |
| 1 | Diptera | <i>Syrphidae</i> |
| | Annelida | <i>Oligochatea (todas las clases)</i> |

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica.

Según la suma de las puntuaciones por cada familia, se obtiene el número BMWP el cual se clasifica según el nivel de calidad en las mostradas en el siguiente cuadro. Por experiencia, un número BMWP no pasa más allá del 200.

Tabla III. **Niveles de calidad del agua según índice BMWP-CR**

| ESTADO GENERAL | NIVEL DE CALIDAD | BMWP | COLOR REPRESENTATIVO |
|-----------------------|--|-----------|----------------------|
| Aguas no contaminadas | Aguas de calidad excelente | >120 | AZUL |
| | Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible. | 101 – 120 | AZUL CELESTE |
| Aguas contaminadas | Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada. | 61 – 100 | VERDE |

Continuación de la tabla III.

| | | | |
|--|--|---------|----------|
| | Aguas de calidad mala, contaminadas. | 36 – 60 | AMARILLO |
| | Aguas de calidad mala, muy contaminadas. | 16 – 35 | NARANJA |
| | Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas. | <15 | ROJO |

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica.

2.4.3. Componentes de un río a evaluarse en el protocolo BMWP-CR

Los componentes de un río que son evaluados en la toma de muestras según el protocolo BMWP-CR son:

- Zona de amortiguamiento: esta zona se extiende unos 400 metros (pero varía dependiendo del tamaño del río y la forma del cauce) alrededor de la vegetación que crece en la orilla del río. Lo que ocurra en esta área afecta directamente la calidad del agua.
- Planicie de inundación: es el área de la tierra que rodea a un río o estero y que se convierte en pantano cuando hay inundaciones.
- Orilla o ribera del río: es la franja de vegetación que crece justo al borde de los bancos del río.

- Bancos del río: son las paredes laterales que mantienen el flujo del agua en su curso. Los bancos evitan daños por inundaciones en las cuencas, siempre y cuando la fuerza del agua no los erosione, derrumbe o rebase su altura.
- Poza: lugar del río donde la circulación del agua es lenta y hay mayor profundidad. Normalmente tiene sedimentos y hojarasca en el fondo.
- Rápido: son secciones del río poco profundas y turbulentas donde el movimiento del agua es más rápido y choca contra las rocas que están parcialmente fuera del agua.
- Remanso: son sectores del río donde el agua corre pero sin turbulencia, por lo general hay piedras pequeñas en el fondo.

2.5. Características de la subcuenca del río Quiscab

La subcuenca del río Quiscab, como todas las cuencas hidrográficas, tienen características tanto geográficas, climáticas, hidrológicas y demográficas que afectan el comportamiento de la misma.

2.5.1. Localización

La subcuenca del río Quiscab pertenece a la cuenca hidrográfica del lago de Atitlán; esta a su vez pertenece a la vertiente del pacífico. El río Quiscab posee varios ramales que nacen en las montañas de Nahualá, en la parte norte del departamento de Sololá, algunos en el territorio mismo del departamento de Totonicapán. El río Quiscab corre en dirección sur atravesando los municipios

de Sololá, Nahualá, San José Chacayá, y Santa Lucía Utatlán para desembocar en el lago de Atitlán, en una zona cercana al poblado de San Jorge La Laguna.

Esta subcuenca en estudio, se encuentra ubicada en la parte norte de la cuenca del lago de Atitlán, entre las coordenadas geográficas N14°45' y N14°55' y en W91°20' y W91°05". Esta subcuenca puede dividirse en 4 microcuencas principales: El río Xibalbey, El río Argueta, El río Quiscab (llamado Molino en la parte alta) y el río Chuiscalera. Los ríos terminan por unirse en el municipio de Sololá, en la parte media de la cuenca (ver figura 1).

2.5.2. Características climáticas

La región del departamento de Sololá se encuentra en la zona climática de Guatemala de meseta y altiplanos, la cual comprende la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, El Quiché, San Marcos, Quetzaltenango Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala, sectores de Jalapa y las Verapaces. Las montañas definen mucha variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1,400 msnm, generando diversidad de microclimas, son regiones densamente pobladas por lo que la acción humana se convierte en factor de variación apreciable.

Las lluvias no son tan intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre, en los meses restantes estas pueden ser deficitarias, en cuanto a la temperatura en diversos puntos de esta región se registran los valores más bajos de país.

En esta región existen climas que varían de templados y semifríos con invierno benigno a semicálidos con invierno benigno, de carácter húmedo y semiseco con invierno seco⁶.

La región de esta subcuenca abarca tres zonas de vida de Holdridge: el Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical, el Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical y el Bosque Húmedo Montano Subtropical, donde la vegetación natural predominante que puede considerarse como indicadora es el Ciprés (*Cupressus lusitánica*) y el Roble (*Quercus spp*). La topografía suele ser bastante accidentada, con elevaciones que van desde los 1200 a los 3000 msnm y las temperaturas oscilan entre 12.5 a 18.6° C.

2.5.3. Características hidrológicas

La subcuenca del río Quiscab es una subcuenca de tipo endorreica, es decir que todas sus aguas drenan hacia un cuerpo de agua interior a la cuenca, sin desembocar al mar. El área de la subcuenca es de 151.8 km², una fracción considerable de la totalidad de la cuenca del Lago de Atitlán y posee un perímetro de 66681 metros. El cauce principal del río Quiscab cuenta con una longitud de 19 kilómetros aproximadamente. El cauce río es de orden No. 5 según la clasificación de Horton. La precipitación pluvial media anual corresponde a 1400mm.

2.5.4. Características demográficas

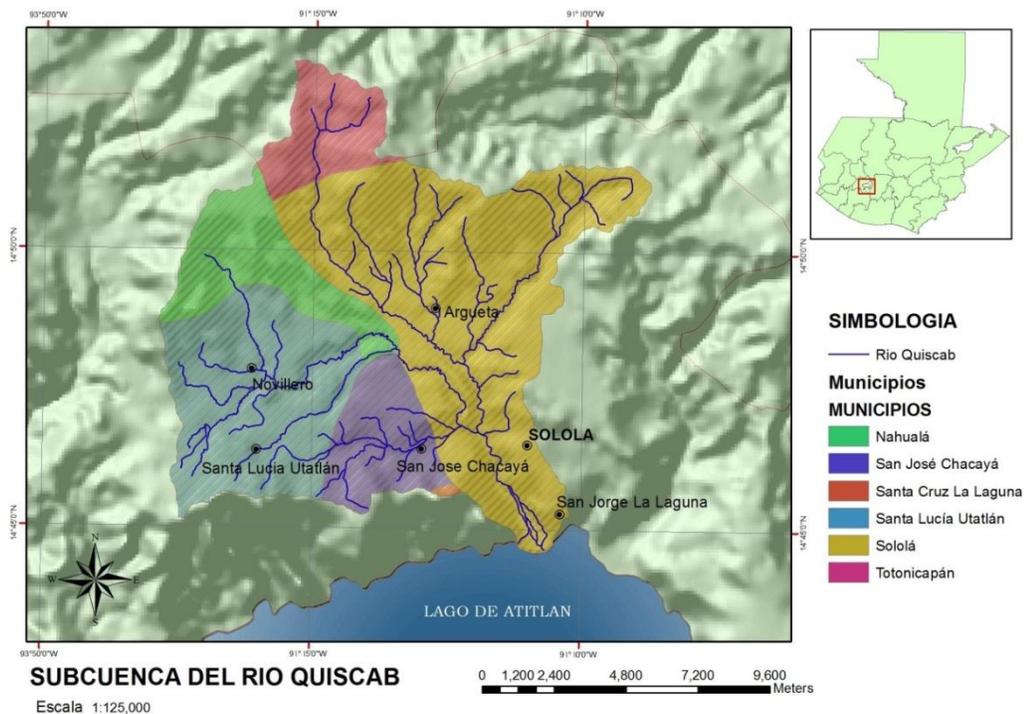
Como se ha mencionado anteriormente, la cuenca se encuentra establecida políticamente en cinco municipios del departamento de Sololá,

⁶ <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm> Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala. Consulta: el 20 de febrero de 2012.

siendo los que abarcan mayor área: Nahualá, Sololá, Santa Lucía Utatlán y San José Chacayá. Estos tres últimos con la cabecera municipal dentro de los límites de la cuenca, que aportan una mayor población asentada en la misma.

La población estimada para el año 2008 según el INE, es de 3 763 para San José Chacayá, de 22 177 para Santa Lucía Utatlán y de 97 636 para la cabecera Sololá. Como puede apreciarse, es una población considerablemente importante, que para efectos ambientales, afectan significativamente las condiciones iniciales del ambiente. La mayor parte de la población se sitúa en las partes media y baja de la cuenca, de lo cual se puede deducir que las partes de la cuenca tendrán índices de calidad de agua relativamente altos.

Figura 1. **División política de la subcuenca del río Quiscab**



Fuente: elaboración propia, con programa ArcGIS 9.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología de investigación se realizó en base a diversos pasos, los cuales se describen a continuación

3.1. Variables

Para la medición de los índices bióticos, es necesario establecer ciertas variables de entrada, cuyas características determinarán los resultados de los índices bióticos, las cuales se establecen a continuación:

Tabla IV. Variables

| Variable | Independiente | Dependiente | Monitoreable | no Monitoreable | Variable respuesta |
|----------------------------------|---------------|-------------|--------------|-----------------|--------------------|
| variedad taxonómica | X | | X | | |
| puntuación de macroinvertebrados | X | | X | | |
| Numero de Macroinvertebrados | X | | X | | |
| numero BMWP | | X | X | | |
| % EPT | | X | X | | |
| D.B.O. | X | | X | | |
| grado de contaminación | | X | X | | X |

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Variables independientes:

Las variables independientes que se consideraron en la metodología de esta investigación son:

- Variedad taxonómica: es la diversidad de organismos macroinvertebrados que se encuentran en cada uno de los puntos de muestreo dentro del cuerpo de agua en estudio, en cuya diversidad se basa el mismo.
- Puntuación de Macroinvertebrados: esta puntuación es la establecida según el Índice BMWP-CR, asignada a cada una de las familias de macroinvertebrados en estudio. Esta varía entre los números 1 a 10 siendo 1 la familia más tolerante a la contaminación y 10 la familia menos tolerante o más sensible a la contaminación.
- Número de Macroinvertebrados: es la sumatoria total de cada uno de los macroinvertebrados encontrados en los distintos puntos de muestreo.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es la cantidad necesaria de oxígeno para degradar la materia orgánica existente en el agua. Se tomará una muestra de la misma en cada estación de muestreo para comparar con los resultados de los índices bióticos.

3.1.2. Variables dependientes:

Las variables independientes que se consideraron en la metodología de esta investigación son:

- Numero BMWP: es el número resultante de la suma de los puntajes asignados a las distintas familias de macroinvertebrados según el índice con el mismo nombre, cuyo resultado, que va desde cero hasta valores cercanos a 120, indica los niveles de contaminación orgánica.
- Porcentaje EPT: es el número de individuos de orden *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*, en relación al número total de individuos recolectados. También es indicador de la contaminación orgánica del agua.
- Grado de contaminación: nivel de contaminación orgánica que presenta el cuerpo de agua en estudio, es el resultado de los valores de BMWP y EPT obtenidos en las muestras.

3.2. Delimitación de campos de estudio

Los campos de estudio de esta investigación dentro de la Ingeniería Ambiental se dividen en tres:

3.2.1. Área de investigación

El área de la investigación pertenece al área de la Ingeniería Ambiental, ya que el estudio se enfoca en determinar la calidad del agua en una corriente superficial de agua, con el fin de evaluar las condiciones de los ecosistemas acuáticos y los impactos antropogénicos en los mismos.

3.2.2. Campo de investigación

El campo de estudio es la Calidad del Agua, enfocado a la supervivencia de los organismos acuáticos bentónicos en los ríos, que para propósitos de la ingeniería ambiental, sirve como indicadores de la calidad de la misma y es el área en la que esta investigación se enfoca en determinar.

3.2.3. Línea de investigación

La línea de estudio es el biomonitoreo (monitoreo biológico) utilizando los macroinvertebrados bentónicos como indicadores, para la determinación de la calidad del agua utilizando los índices bióticos.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Esteban Stuardo Acuña Campos
- Asesor: Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
- Ayudante de muestreo: habitante de una comunidad local que conozca las zonas de muestreo.

3.4. Recursos materiales disponibles

- Equipo de protección personal:
 - Botas de hule
 - Guantes de látex

- Equipo para la recolección de muestras
 - Red de muestreo tipo D (cedazo de 1mm)
 - Bandejas blancas
 - Pinzas
 - Botes de plástico con tapón hermético
 - Alcohol etílico (70%)
 - Cámara digital
 - Hojas de toma de datos
 - Dispositivo GPS
 - Lupa y/o estereoscopio

Figura 2. **Red de muestreo tipo “D”**



Fuente: Aldea Novillero, Sololá.

Figura 3. **Recipientes herméticos con la muestra recolectada**



Fuente: Área de experimentación, casa de habitación.

3.5. Técnica cualitativa

El estudio que se realizara será de tipo cualitativo descriptivo. A excepción de la variable de porcentaje EPT que es de tipo cuantitativo (se basa en el número de individuos de 3 familias) los demás parámetros son de tipo cualitativo, que se determinan por las características de la muestra.

3.6. Criterios para la selección de puntos de muestreo

El procedimiento de la toma de muestras se realizará según el protocolo BMWP-CR.

- Selección del sitio: se seleccionó un sector representativo del río de fácil acceso, tomando en cuenta todos los posibles microhábitat, que se especificarán a continuación.

- Agrupación: los diferentes microhábitat se dividen en tres grandes grupos:
 - Orillas sin corriente, con corriente, raíces, vegetación u objetos sumergidos.
 - Sustrato de remansos, rápidos y pozas
 - Paquetes de hojas en remansos y rápidos

- Tiempo de muestreo e identificación: el muestreo duró 15 minutos utilizando la red tipo D, recorriendo el tramo del río durante el mismo lapso de tiempo y muestreando todos los posibles microhábitats. Los especímenes se preservaron en alcohol para su identificación posterior.

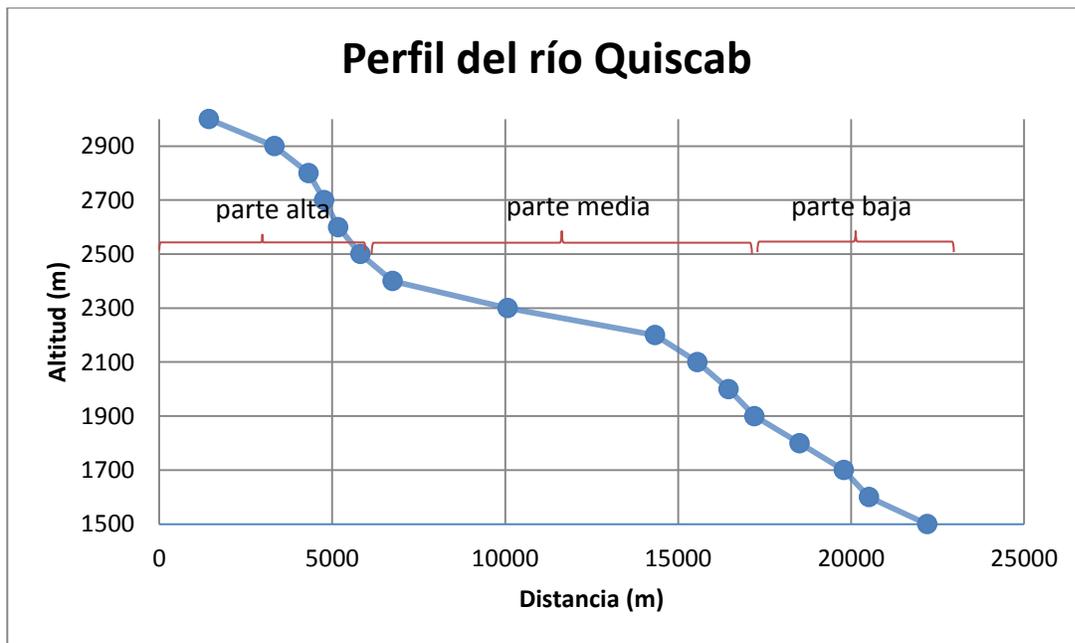
- Especificaciones de los muestreos: durante el tiempo que dura el muestreo, se avanzó con la red D corriente arriba, colocando la red en cada uno de los microhábitat posibles lavando raíces, vegetación, paquetes de hojas y sedimentos. De ser posible se pueden separar algunos macroinvertebrados visibles en la red y colocarlos en recipientes con alcohol, para facilitar su identificación.

- Captura: después de tener las muestras se colocaron en una bandeja plana (de fondo blanco). Los organismos se colocaron en un recipiente con alcohol al 75%, etiquetando el recipiente con la fecha y el nombre del río.

- Puntos de muestreo: los puntos de muestreo pueden ser ubicados en cualquier punto del río que cumpla con los requisitos de los primeros dos incisos de esta sección de la investigación. La cantidad de los mismos no

está establecida en el protocolo, sin embargo, según expertos en este tipo de muestreos, deben seleccionarse puntos de muestreo en la parte alta, media y baja del trayecto del río. Para que el muestreo sea representativo, este se repitió dos veces, uno en época seca y el otro en época lluviosa, para hacer un total de 6 muestras. Los mismos se seleccionaron al momento de hacer la visita de campo.

Figura 4. **Perfil del río Quiscab**



Fuente: elaboración propia.

3.7. **Recolección y ordenamiento de la información**

Para realizar la recolección y ordenamiento de la información es necesario realizar un plan de trabajo que permita cumplir los objetivos específicos de la misma en base a metas e indicadores teniendo como medio

una serie de actividades que conlleven a la realización de cada uno de los objetivos.

Tabla V. **Plan de trabajo**

| Objetivo Especifico | Meta | Indicador | Actividades | Responsable |
|---|---|--|--|-------------|
| Determinar cualitativa y cuantitativamente la variedad taxonómica de macroinvertebrados existentes en varios puntos de muestreo. | Monitoreo completo en época seca y lluviosa | Numero de muestreos propuestos completados | <ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar los puntos de muestreo, buscando la parte alta, media y baja de la subcuenca 2. Recolectar las muestras en cada punto seleccionado 3. Localizar geográficamente el punto 4. Identificar las variedades taxonómicas | Autor |
| Medir la contaminación orgánica de las aguas superficiales en la subcuenca en estudio, según los parámetros de los Índices bióticos BMWP-CR y EPT y el parámetro fisicoquímico DBO. | Medición de los parámetros en cada punto de muestreo. | Debe realizarse la evaluación y puntuación de las muestras anteriores según el índice. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Clasificar las muestras y separar según familia 2. Hacer un conteo completo de la muestra 3. Evaluar según el índice cada una de las muestras 4. Clasificar los puntos de muestreo según su calidad | Autor |

Continuación de la tabla V.

| | | | | |
|--|--|--|--|-------|
| Comparar los resultados de los parámetros anteriores. | Comparación de los resultados de cada parámetro. | Los datos de los índices deben compararse. | 1. Colocar los resultados en tablas. 2. Comparar los resultados 3. Verificar si los datos concuerdan entre sí. | Autor |
| Elaborar mapas que indique los niveles de contaminación del río según los resultados obtenidos | Mapas elaborados | Mapas completados junto a sus resultados | 1. Geoposicionar los puntos de muestreo 2. Realizar un mapeo según las zonas de calidad del agua | Autor |
| Establecer las causas posibles de la contaminación. | Causas y efectos | Acciones concluidas | 1. Identificar los posibles focos de contaminación 2. Sugerir las acciones correctivas que deben tomarse | Autor |

Fuente: elaboración propia.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Una vez tomadas las muestras, el procedimiento para procesar las mismas hasta obtener resultados es el siguiente:

- Limpieza y separación de muestras: una vez tomadas las muestras, estas se limpiaron, separando los macroinvertebrados del sustrato y hojas que llevan las muestras.

- **Identificación:** los macroinvertebrados se llevaron al laboratorio para su identificación, con apoyo de claves taxonómicas para cada una de las familias. Los individuos de la misma familia se agruparon, contabilizando cada uno de los individuos.
- **Asignatura de puntajes y clasificación del río según su calidad:** se les asignaron los puntajes a cada familia que recibe según el índice BMWP-CR. Al final se suman todos los puntajes (una única vez por familia independientemente de la cantidad de individuos o diferentes especies - géneros- encontrados) y se pasaron por la tabla de valores para obtener la clase del río donde se muestreo. El porcentaje de EPT es la división de los individuos EPT obtenidos con respecto al total de individuos recolectados.
- **Valores de índices obtenidos:** los datos obtenidos según los índices se tabularán, se calculará el número BMWP y de igual manera se calculará el porcentaje EPT de las especies obtenidas con respecto al total de especies, como se muestra en la siguiente tabla, a excepción del DBO₅ que es una variable independiente y se obtiene directamente del laboratorio.

Tabla VI. **Forma de muestreos**

| Muestreos | | Parámetros | | |
|------------|-----------------------|------------|--------|--------|
| | | a. BMWP | b. EPT | c. DBO |
| Época Seca | Punto 1 (parte alta) | | | |
| | Punto 2 (parte media) | | | |
| | Punto 3 (parte baja) | | | |

Continuación de la tabla VI.

| | | | | |
|----------------|-----------------------|--|--|--|
| Época Lluviosa | Punto 1 (parte alta) | | | |
| | Punto 2 (parte media) | | | |
| | Punto 3 (parte baja) | | | |

Fuente: elaboración propia.

- Ubicación de puntos de muestreo para elaboración de mapas: Se ubicaron los puntos de muestreo correspondientes según sus coordenadas geográficas con ayuda de un sistema de información geográfica. Junto a su ubicación, se mapearon los resultados respectivos para obtener los resultados.

3.9. Análisis estadístico

Debido a que la investigación es de tipo cualitativa descriptiva, no requiere de un análisis estadístico para la toma de muestras. Estas se determinan mediante comparación de estudios similares y de opinión de expertos.

4. RESULTADOS

A continuación se describen los puntos de muestreo que se tomaron para la recolección de datos y sus respectivos resultados:

4.1. Puntos de muestreo

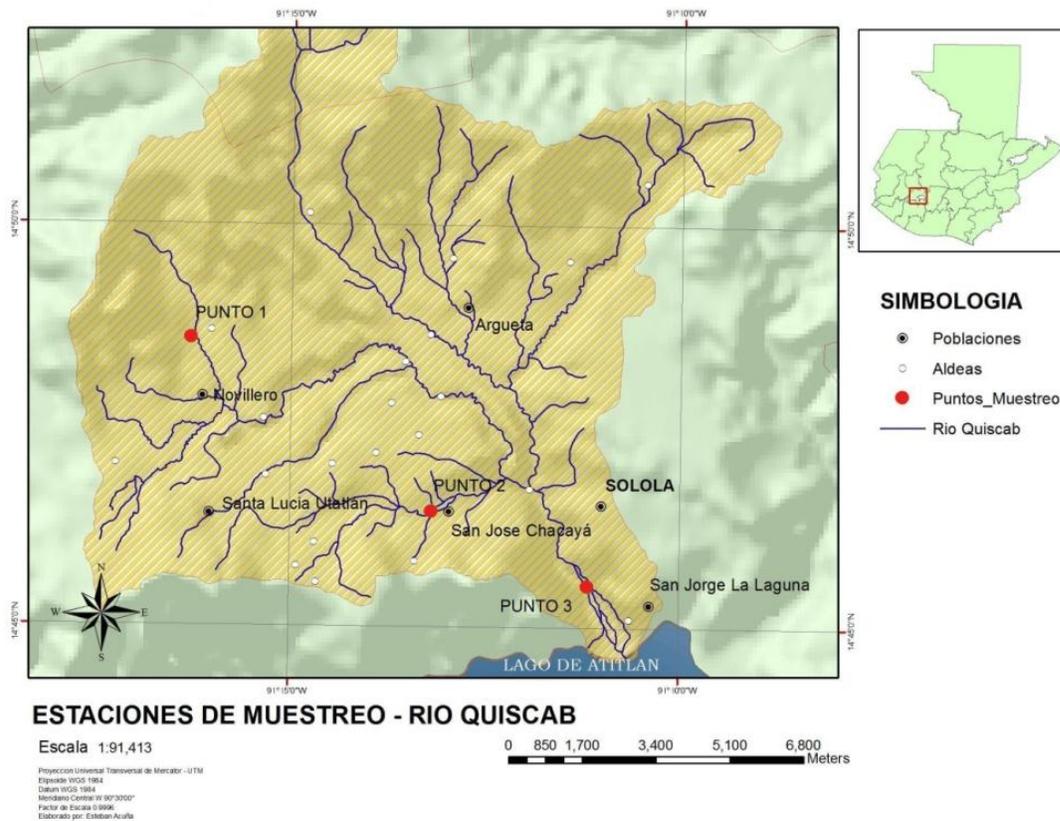
Los puntos de muestreo fueron situados de la siguiente manera:

Tabla VII. **Puntos de muestreo**

| No. | Punto | Coordenadas Geográficas | | Parte de la Cuenca |
|-----|---------------------|-------------------------|---------------|--------------------|
| 1 | Novillero | N 14°48'15.8" | W 91°16'15.9" | Alta |
| 2 | San José Chacayá | N 14°46'17.3" | W 91°13'10.2" | Media |
| 3 | San Jorge La Laguna | N 14°45'12.8" | W 91°11'07.7" | Baja |

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Mapa de ubicación de los puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia, con programa ArcGIS 9.

4.2. **Listado de familias obtenidas en los respectivos muestreos**

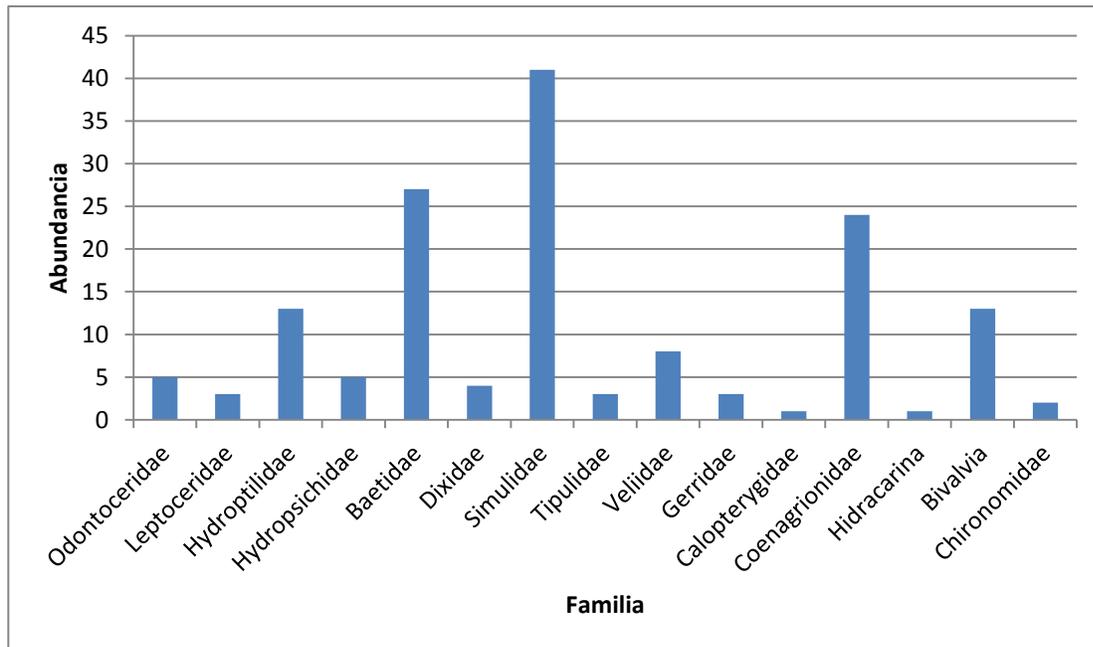
A continuación se presentan los datos tabulados de cada una de las familias de macroinvertebrados recolectados en su respectivo punto de muestreo, para cada una de las épocas del año.

Tabla VIII. **Familias obtenidas para el punto de muestreo No.1 en época seca**

| Orden | Familia | Puntaje | Abundancia |
|----------------------|-----------------------|---------|------------|
| <i>Trichoptera</i> | <i>Odontoceridae</i> | 9 | 5 |
| | <i>Leptoceridae</i> | 8 | 3 |
| | <i>Hydroptilidae</i> | 6 | 13 |
| | <i>Hydropsichidae</i> | 5 | 5 |
| <i>Ephemeroptera</i> | <i>Baetidae</i> | 5 | 27 |
| <i>Diptera</i> | <i>Dixidae</i> | 4 | 4 |
| | <i>Simuliidae</i> | 4 | 41 |
| | <i>Tipulidae</i> | 4 | 3 |
| <i>Odonata</i> | <i>Calopterygidae</i> | 4 | 1 |
| | <i>Coenagrionidae</i> | 4 | 24 |
| <i>Acaridae</i> | <i>Hidracarina</i> | 4 | 1 |
| <i>Hemiptera</i> | <i>Veliidae</i> | 3 | 8 |
| | <i>Gerridae</i> | 3 | 3 |
| <i>Mollusca</i> | <i>Bivalvia</i> | 3 | 13 |
| <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> | 2 | 2 |
| | Sumatoria | 68 | 153 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Abundancia de familias en el punto de muestreo No. 1 en época seca**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Familias obtenidas para el punto de muestreo No.2 en época seca**

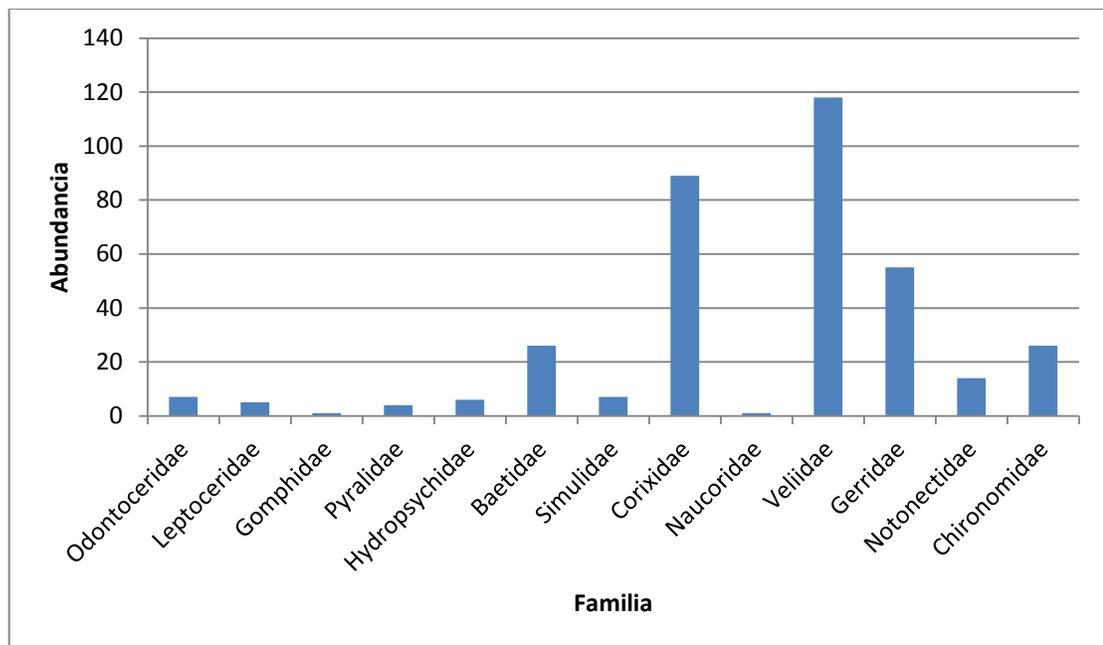
| Orden | Familia | Puntaje | Abundancia |
|----------------------|-----------------------|---------|------------|
| <i>Trichoptera</i> | <i>Odontoceridae</i> | 9 | 7 |
| | <i>Leptoceridae</i> | 8 | 5 |
| <i>Odonata</i> | <i>Gomphidae</i> | 7 | 1 |
| <i>Lepidoptera</i> | <i>Pyralidae</i> | 5 | 4 |
| <i>Trichoptera</i> | <i>Hydropsychidae</i> | 5 | 6 |
| <i>Ephemeroptera</i> | <i>Baetidae</i> | 5 | 26 |
| <i>Diptera</i> | <i>Simulidae</i> | 4 | 7 |

Continuación de la tabla IX.

| | | | |
|------------------|---------------------|----|-----|
| <i>Hemiptera</i> | <i>Corixidae</i> | 4 | 89 |
| | <i>Naucoridae</i> | 4 | 1 |
| | <i>Notonectidae</i> | 4 | 14 |
| | <i>Veliidae</i> | 3 | 118 |
| | <i>Gerridae</i> | 3 | 55 |
| <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> | 2 | 26 |
| | Sumatoria | 63 | 359 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Abundancia de familias en el punto de muestreo No. 2 en época seca**



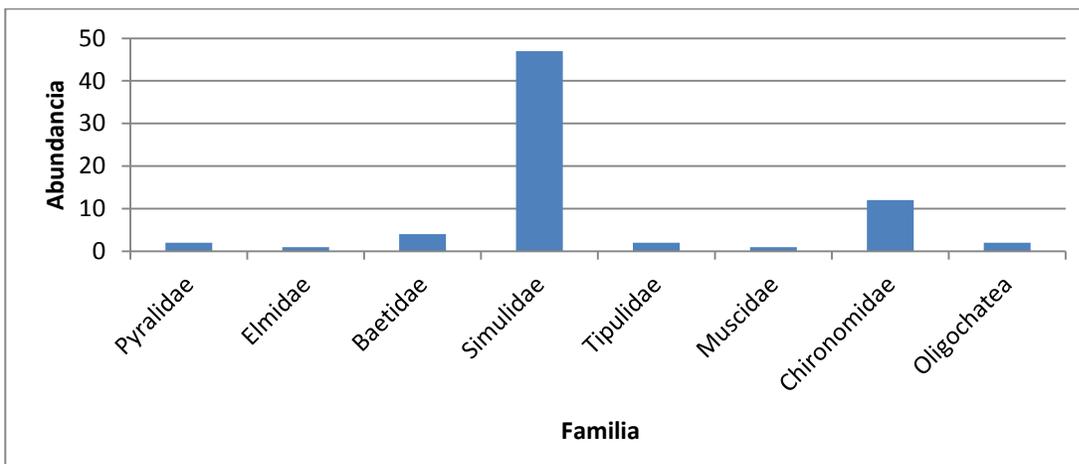
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Familias obtenidas para el punto de muestreo No.3 en época seca**

| Orden | Familia | Puntaje | Abundancia |
|----------------------|---------------------|---------|------------|
| <i>Lepidoptera</i> | <i>Pyralidae</i> | 5 | 2 |
| <i>Coleoptera</i> | <i>Elmidae</i> | 5 | 1 |
| <i>Ephemeroptera</i> | <i>Baetidae</i> | 5 | 4 |
| <i>Diptera</i> | <i>Simulidae</i> | 4 | 47 |
| | <i>Tipulidae</i> | 4 | 2 |
| | <i>Muscidae</i> | 4 | 1 |
| | <i>Chironomidae</i> | 2 | 12 |
| <i>Annelida</i> | <i>Oligochatea</i> | 1 | 2 |
| | Sumatoria | 30 | 71 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Abundancia de familias en el punto de muestreo No. 3 en época seca**



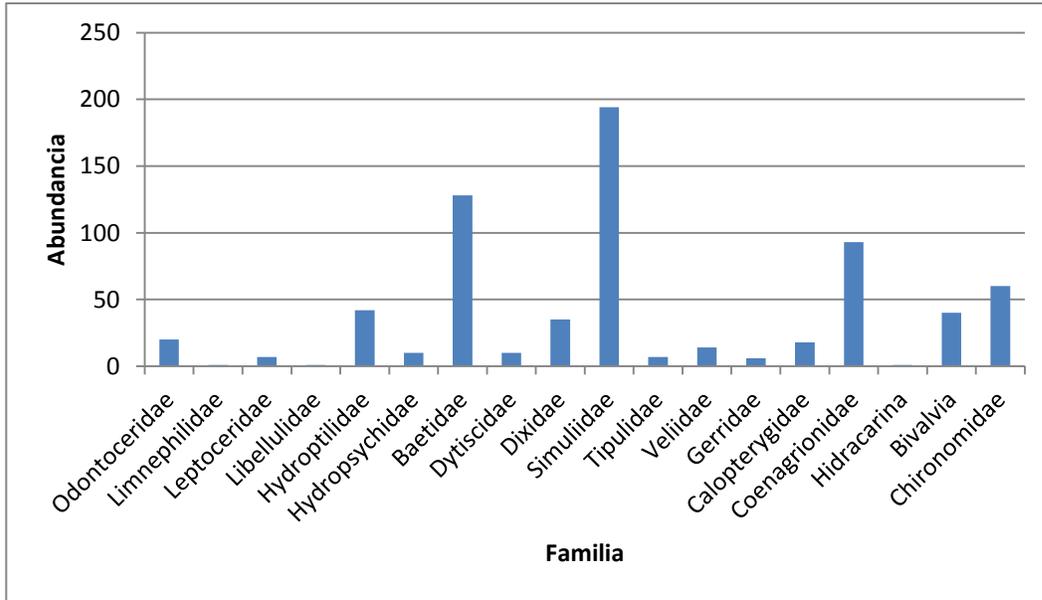
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Familias obtenidas para el punto de muestreo No.1 en época lluviosa**

| Orden | Familia | Puntaje | Abundancia |
|----------------------|-----------------------|---------|------------|
| <i>Trichoptera</i> | <i>Odontoceridae</i> | 9 | 20 |
| | <i>Limnephilidae</i> | 8 | 1 |
| | <i>Leptoceridae</i> | 8 | 7 |
| <i>Odonata</i> | <i>Libellulidae</i> | 6 | 1 |
| <i>Trichoptera</i> | <i>Hydroptilidae</i> | 6 | 42 |
| | <i>Hydropsychidae</i> | 5 | 10 |
| <i>Ephemeroptera</i> | <i>Baetidae</i> | 5 | 128 |
| <i>Coleoptera</i> | <i>Dytiscidae</i> | 4 | 10 |
| <i>Diptera</i> | <i>Dixidae</i> | 4 | 35 |
| | <i>Simuliidae</i> | 4 | 194 |
| | <i>Tipulidae</i> | 4 | 7 |
| <i>Odonata</i> | <i>Calopterygidae</i> | 4 | 18 |
| | <i>Coenagrionidae</i> | 4 | 93 |
| <i>Acaridae</i> | <i>Hidracarina</i> | 4 | 1 |
| <i>Hemiptera</i> | <i>Veliidae</i> | 3 | 14 |
| | <i>Gerridae</i> | 3 | 6 |
| <i>Molusca</i> | <i>Bivalvia</i> | 3 | 40 |
| <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> | 2 | 60 |
| | Sumatoria | 86 | 687 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Abundancia de familias en el punto de muestreo No. 1 en época lluviosa**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Familias obtenidas para el punto de muestreo No.2 en época lluviosa**

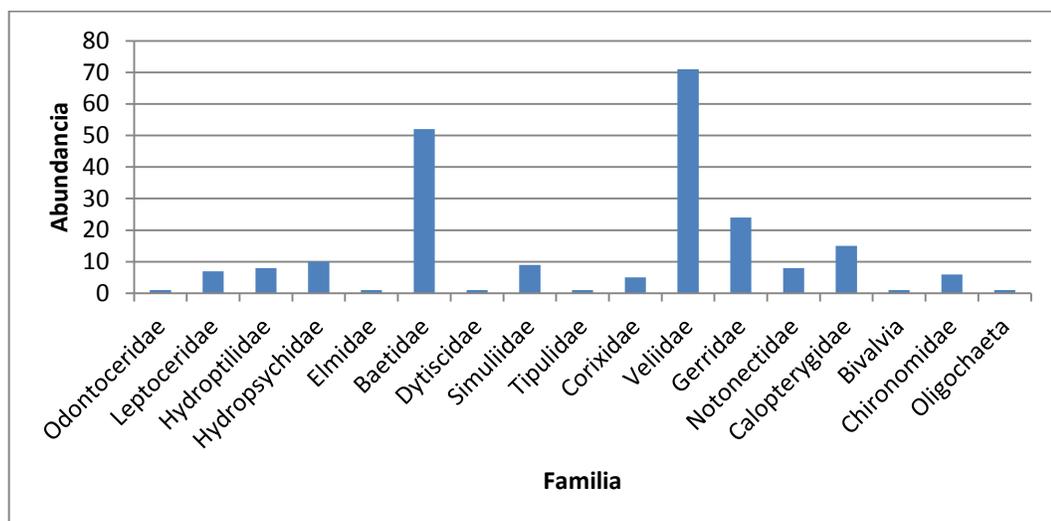
| Orden | Familia | Puntaje | Abundancia |
|----------------------|-----------------------|---------|------------|
| <i>Trichoptera</i> | <i>Odontoceridae</i> | 9 | 1 |
| | <i>Leptoceridae</i> | 8 | 7 |
| | <i>Hydroptilidae</i> | 6 | 8 |
| | <i>Hydropsychidae</i> | 5 | 10 |
| <i>Coleoptera</i> | <i>Elmidae</i> | 5 | 1 |
| <i>Ephemeroptera</i> | <i>Baetidae</i> | 5 | 52 |
| <i>Coleoptera</i> | <i>Dytiscidae</i> | 4 | 1 |
| <i>Diptera</i> | <i>Simuliidae</i> | 4 | 9 |

Continuación de la tabla XII.

| | | | |
|------------------|-----------------------|----|-----|
| | <i>Tipulidae</i> | 4 | 1 |
| <i>Hemiptera</i> | <i>Corixidae</i> | 4 | 5 |
| | <i>Notonectidae</i> | 4 | 8 |
| <i>Odonata</i> | <i>Calopterygidae</i> | 4 | 15 |
| <i>Hemiptera</i> | <i>Veliidae</i> | 3 | 71 |
| | <i>Gerridae</i> | 3 | 24 |
| <i>Mollusca</i> | <i>Bivalvia</i> | 3 | 1 |
| <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> | 2 | 6 |
| <i>Annelida</i> | <i>Oligochaeta</i> | 1 | 1 |
| | Sumatoria | 74 | 221 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Abundancia de Familias en el punto de muestreo No. 2 en época lluviosa**



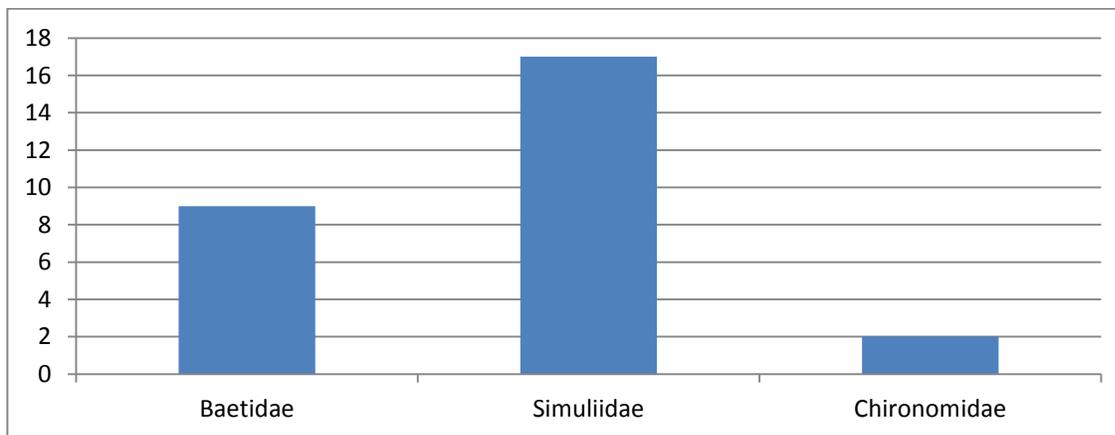
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Familias obtenidas para el punto de muestreo No.3 en época lluviosa**

| Orden | Familia | Puntaje | Abundancia |
|----------------------|---------------------|---------|------------|
| <i>Ephemeroptera</i> | <i>Baetidae</i> | 5 | 9 |
| <i>Diptera</i> | <i>Simuliidae</i> | 4 | 17 |
| | <i>Chironomidae</i> | 2 | 2 |
| | Sumatoria | 11 | 28 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Abundancia de familias en el punto de muestreo No. 3 en época lluviosa**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Resultados de las muestras

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante el proceso de las muestras recolectadas anteriormente.

Tabla XIV. **Resultados del número BMWP para cada punto de muestreo en época seca**

| Punto de Muestreo | Numero BMWP | Calidad del Agua | Color Representativo |
|-------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------|
| 1 – Parte Alta | 68 | Regular (contaminación moderada) | Verde |
| 2 – Parte Media | 63 | Regular (contaminación moderada) | Verde |
| 3 – Parte Baja | 30 | Mala (muy contaminada) | Naranja |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Resultados del número BMWP para cada punto de muestreo en época lluviosa**

| Punto de Muestreo | Numero BMWP | Calidad del Agua | Color Representativo |
|-------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------|
| 1 – Parte Alta | 86 | Regular (contaminación moderada) | Verde |
| 2 – Parte Media | 74 | Regular (contaminación moderada) | Verde |

Continuación de la tabla XV.

| | | | |
|----------------|----|---|------|
| 3 – Parte Baja | 11 | Muy Mala (extremadamente contaminada) | Rojo |
|----------------|----|---|------|

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resultados de porcentaje EPT para cada punto de muestreo en época seca**

| Punto de Muestreo | %EPT | Calidad del Agua |
|-------------------|------|------------------|
| 1 – Parte Alta | 34.6 | Regular |
| 2 – Parte Media | 12.3 | Mala |
| 3 – Parte Baja | 5.63 | Mala |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultados de porcentaje EPT para cada punto de muestreo en época lluviosa**

| Punto de Muestreo | %EPT | Calidad del Agua |
|-------------------|------|------------------|
| 1 – Parte Alta | 30.3 | Regular |
| 2 – Parte Media | 35.3 | Regular |
| 3 – Parte Baja | 32.1 | Regular |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resultados de los análisis de DBO₅ para cada punto de muestreo**

| Punto de Muestreo | DBO ₅ Época Seca | DBO ₅ Época Lluviosa |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1 – Parte Alta | 4.60 | 6.13 |
| 2 – Parte Media | 6.03 | 6.16 |
| 3 – Parte Baja | 5.80 | 6.18 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Tabla resumen de los parámetros obtenidos por punto de muestreo**

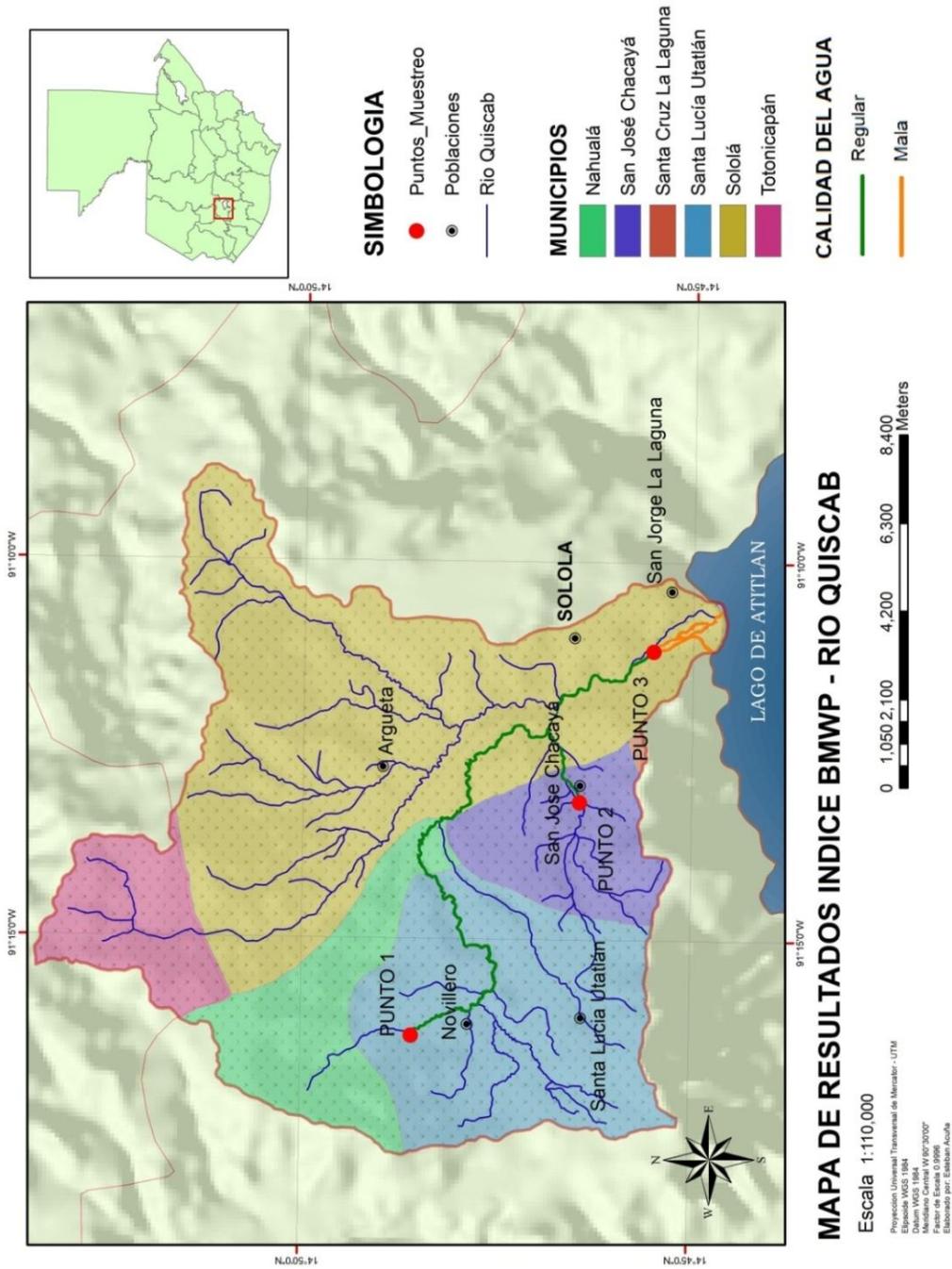
| Punto de Muestreo | Numero BMWP | | % EPT Total | | DBO ₅ (mg/l) | |
|-------------------|-------------|----|-------------|------|-------------------------|------|
| | Total | | | | | |
| 1 – Parte Alta | 68 | 86 | 34.6 | 30.3 | 4.60 | 6.13 |
| 2 – Parte Media | 63 | 74 | 12.3 | 35.3 | 6.03 | 6.16 |
| 3 – Parte Baja | 30 | 11 | 6.94 | 32.1 | 5.80 | 6.18 |

Fuente: elaboración propia.

4.4. Mapas de resultados del índice BMWP

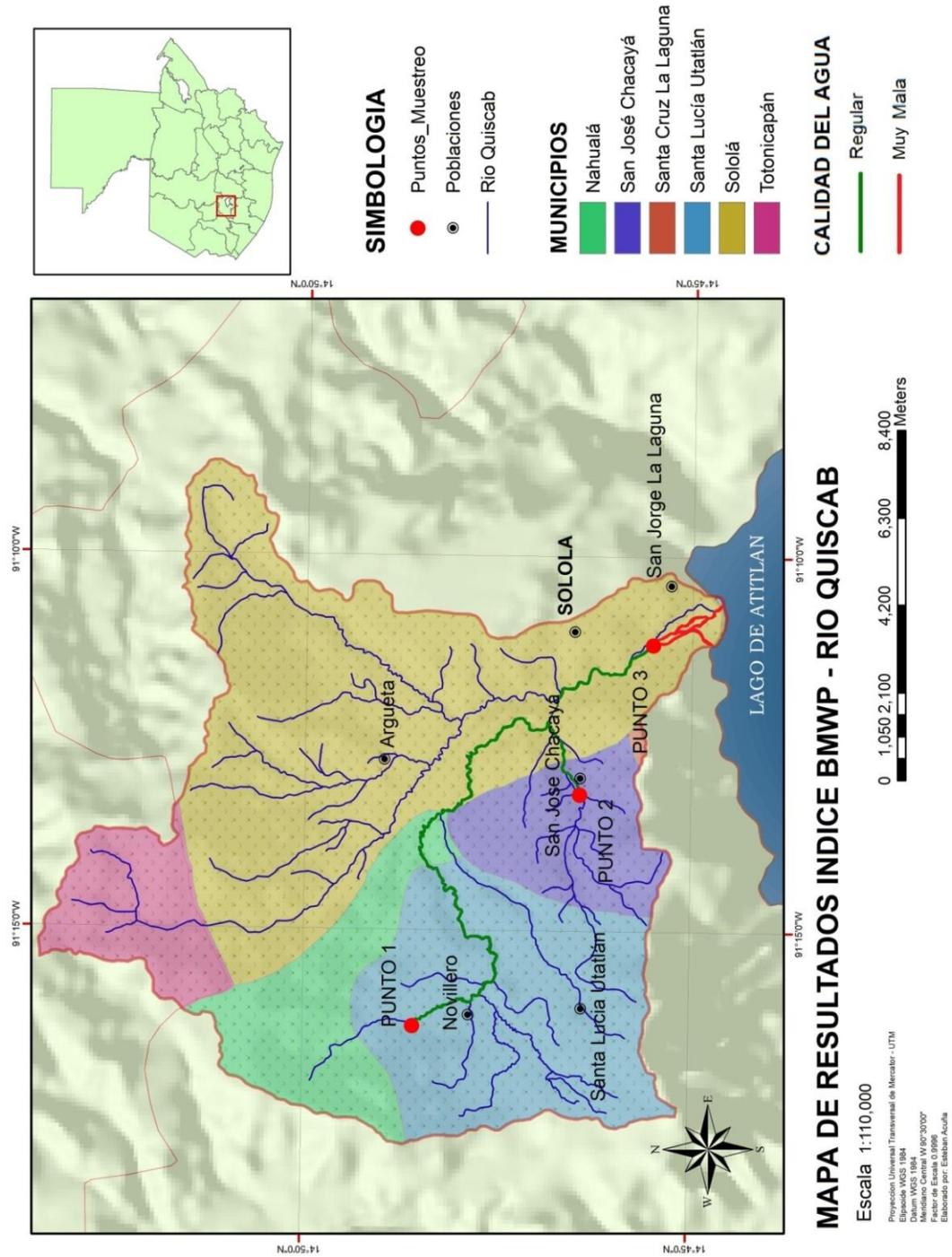
Una vez obtenidos los valores del índice BMWP, se han elaborado los siguientes mapas de calidad del agua según los colores establecidos por el protocolo BMWP como se muestra en la tabla III.

Figura 12. Mapa de resultados del índice BMWP en época seca



Fuente: elaboración propia, con programa ArcGIS 9.

Figura 13. Mapa de resultados del Índice BMWP en época lluviosa



Fuente: elaboración propia, con programa ArcGIS 9.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mediante el muestreo de en cada uno de los puntos de muestreo, durante las épocas seca y lluviosa, se obtuvieron especímenes de macroinvertebrados, los cuales fueron clasificados e identificados según sus familias respectivas. A partir de aquí cada muestra fue analizada mediante el índice biótico BMWP-CR y el índice EPT.

En el primer punto de muestreo (Novillero), el cual está ubicado en la parte alta de la cuenca, se obtuvieron números BMWP de 70 para época seca y 88 para época lluviosa. Estos valores representan los más altos en la cuenca, sin embargo según el índice no alcanzan valores óptimos de calidad del agua (100), ya que su categoría es de aguas de calidad regular lo que quiere decir que existe contaminación moderada la cual es perceptible para los organismos dentro del ecosistema acuático.

Este punto posee además valores de EPT de 34.6% y 30.3% correspondientemente, lo cual coincide con el estado de calidad regular de agua, que impide la vida a todos los tipos de organismos acuáticos. El punto de muestreo Novillero está localizado en el área rural de Sololá, en una pequeña franja de terreno cubierta de vegetación, la cual es usada para extracción de leña. No obstante, en las partes más altas al río y en los alrededores el suelo está descubierto de vegetación, visiblemente utilizado para agricultura. Esto puede ocasionar contaminación por agroquímicos y problemas producidos por arrastre de nutrientes y eutrofización.

En el caso del punto de San José Chacayá, que corresponde a la parte media de la cuenca, correspondiente a la parte media de la cuenca, los resultados son de calidad media, alcanzando un número BMWP de 65 en época seca y 76 en época lluviosa. El nivel de calidad de agua medio, donde existe contaminación perceptible mas no severa y cuyo color representativo es el verde, es coincidente con el índice EPT de 12.3% y 35.3%.

Aunque a que la calidad del agua es regular en esta parte de la cuenca, los valores de BMWP y EPT son inferiores al de la parte alta, cabe resaltar que en el punto de muestreo, el río es de mayor caudal y visiblemente está contaminado por desechos sólidos. Por obvias razones, el río tiene un mayor recorrido, y pese a que en este punto el río no ha alcanzado poblaciones importantes, si existen aldeas y zonas de cultivo río arriba que pueden afectar la calidad del agua del mismo.

En la parte baja de la cuenca, correspondiente al punto de San Jorge la Laguna ubicada en la zona cercana a la aldea con el mismo nombre y muy próxima a la desembocadura del río Quiscab, se obtuvieron los valores más bajos de la cuenca. El número BMWP fue de 30 en época seca y 11 en época lluviosa, cuya calidad se interpreta como mala y muy mala correspondientemente, con elevados índices de contaminación que impiden la vida a la mayoría de especies de macroinvertebrados. Los valores EPT fueron de 6.94 para época seca y 32.1 para época lluviosa, que indican calidad mala y regular del agua.

Como es de esperarse en una desembocadura, el río se encuentra en condiciones de calidad de agua muy malas para el desarrollo de vida de acuática. Esto puede observarse de forma más clara en el muestreo en época lluviosa, ya que solo fueron encontradas tres familias de macroinvertebrados

que son *Baetidae*, *Simuliidae* y *Chironomidae*, que como se puede ver en la tabla de familias, son especies que toleran la contaminación. La causa de contaminación está ligada a que en este punto de muestreo, el río Quiscab ha pasado por la cabecera departamental de Sololá, cuyas aguas residuales son descargadas en el mismo.

Debido a la relativamente alta población de la ciudad de Sololá, la contaminación por aguas residuales es muy alta, a lo que se suma a la contaminación que traen todos los afluentes del río a esta zona.

Es importante mencionar que en todos los puntos de muestreo, el río estaba visiblemente contaminado por desechos sólidos, situación que puede dar una idea de los resultados obtenidos.

En el caso del índice BMWP-CR que fue adaptado a Guatemala y en especial a esta subcuenca del río Quiscab, no tuvo mayores diferencias en cuanto a las especies indicadoras, lo que quiere decir que se adapta a las especies existentes en el territorio guatemalteco. Sin embargo fueron encontradas 3 familias que no aparecen en el mismo y que son abundantes en las partes alta y media de la cuenca. Estos son dos familias de Hemípteros (conocidos como patinadores o chinches de agua) que son las *Veliidae* y *Gerridae*, además de la clase *Bivalvia* de moluscos (conchas). Sin embargo, tanto en otros índices BMWP como en bibliografía de Monika Springer, se asigna a dichas familias un valor de 3 puntos.

Hay que resaltar también que los niveles de calidad del agua se mantuvieron constantes en la parte alta y media para ambas épocas del año, incrementándose su número BMWP en época lluviosa. En la parte baja de la cuenca, este número descendió hasta alcanzar un nivel de calidad menor, lo

que está justificado por el mayor caudal que el río lleva en este punto, y que recoge todas las aguas de la subcuenca.

Además, los resultados de DBO_5 tienen una varianza mínima en todos los resultados, que reflejan una contaminación orgánica sensible en el ecosistema acuático, sin embargo no pueden ser relacionados con los índices bióticos ya que estos son parámetros puntuales y no reflejan el comportamiento global del ecosistema. No existe un índice que relacione parámetros fisicoquímicos y bióticos, estos deben ser utilizados para complementarse entre sí.

CONCLUSIONES

1. Se encontraron 18 familias de macroinvertebrados en el punto de Novillero correspondiente a la parte alta de la cuenca, 20 familias en el punto de San José Chacayá correspondiente a la parte media de la cuenca y 8 familias en el punto de San Jorge la Laguna en la parte baja de la cuenca.
2. El grado de contaminación obtenido en la parte alta fue regular (contaminación moderada) en ambas épocas según BMWP, y de regular en ambas épocas según EPT y un valor de 4.6 y 6.13 mg/L de DBO₅. En la parte media la contaminación fue regular (contaminación moderada) en ambas épocas según BMWP. Según EPT la calidad fue mala en época seca y regular en época lluviosa y se obtuvo un valor de 6.03 y 6.16 mg/L de DBO₅. En la parte baja de la cuenca los niveles de calidad según BMWP fueron de mala (muy contaminada) en época seca y muy mala (extremadamente contaminada) en época lluviosa. Según EPT la calidad es mala para época seca y regular para época lluviosa y el valor de DBO₅ es de 5.80 y 6.18 mg/L.
3. Los resultados para cada una de las partes de la cuenca de los índices bióticos son concordantes, ya que se obtuvieron valores de calidad regular en la parte alta y media de la cuenca para ambos índices y valores de calidad regular, mala y muy mala para la parte baja de la cuenca en ambos índices.

4. Se elaboraron mapas de calidad de agua según los resultados obtenidos en el índice BMWP-CR, trazando el tramo del río entre estaciones con el color representativo correspondiente a dicho tramo.
5. Se estableció que las posibles causas de contaminación para la parte alta y media de la cuenca se debe a contaminación por nutrientes utilizados en agricultura, a las que se añade en la parte baja las aguas residuales de todas las poblaciones de la cuenca.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar una metodología de muestreo más precisa que permita seleccionar los puntos de muestreo para cada cuenca en estudio.
2. Realizar un inventario de las especies nativas de Guatemala para conocer los hábitats de cada una de las familias de macroinvertebrados acuáticos que habitan el territorio nacional
3. Desarrollar a un futuro, un índice BMWP adaptado a las condiciones de Guatemala, utilizando todas las especies nativas del país y su respectiva tolerabilidad a la contaminación, para que este sea utilizado como un indicador oficial de calidad del agua en el estudio de cuencas del país.
4. Fomentar el uso del estudio de macroinvertebrados como una herramienta rápida de indicadores de la calidad del agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARCE, María Fernanda; LEIVA, Marlín. *Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo*. Trabajo de graduación de Ing. en Gestión Ambiental. Ecuador: Escuela de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad Técnica Particular de Loja, 2009. 93 p.
2. BARBOUR, Michael T. , et al. *Rapid Bioassessment Protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish*. Washington D.C.: US Environment Protection Agency EPA, 1999. 339 p. EPA 841-B-99-002.
3. CAPO MARTI, Miguel Andrés. *Principios de Ecotoxicología*. Madrid, España: TEBAR, 2002. 320 p. ISBN 978-84-7360-263-1
4. CASTELLANOS, Erwin. ESCRIBÁ, José. *Manual de indicadores del Ambiente y los RN*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2003. 80 p.
5. Costa Rica Poder Ejecutivo. Decreto N° 33903-MINAE- S Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [en línea] [ref. 17 de septiembre de 2007]. La Gaceta Digital No. 178, 7 p. Disponible en web <http://www.cimar.ucr.ac.cr/PDFS/Reglamento_Evaluacion_y_Clasificacion_Calidad_Agua_Superficial.pdf>

6. GARCÍA OBANDO, Lina. *Indicadores técnicos y evaluación de la Influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa, Yoro*. Trabajo de Graduación de M Sc en Manejo de Cuencas Hidrográficas con sub especialización en Manejo de la Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2003.
7. *Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala* [en línea] <<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>>. [Consulta: 20 de febrero de 2012].
8. MAFLA, Maribel. *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca – Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 2005. 90 p. ISBN 9977-57-412-X.
9. Milliarium: Ingeniería Civil y Medio Ambiente. <<http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm#Fisicoquimicos>>. [Consulta: 29 de septiembre de 2011].
10. ROLDAN PÉREZ, Gabriel. Los macroinvertebrados y su valor como Indicadores de la Calidad del Agua. Bogotá, Colombia: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias exactas, físicas y naturales, 2002. Volumen XXVI, No. 9. 387 p.
11. SERMEÑO CHICAS, José Miguel; SERRANO CERVANTES, Leopoldo; SPRINGER, Monika. *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos:*

Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria (UES). 2010. 44 p. ISBN 978-99923-27-60-9.

12. SUTTON, David; HARMON Paul. *Fundamentos de ecología*. México D.F.: Limusa, 1979. 293 p. ISBN: 9681801342.
13. Universidad de Costa Rica. *Observatorio del Desarrollo. Mejora de la Oferta Educativa en Gestión Ambiental Urbana y Rural* [en línea]. <<http://mgau.odd.ucr.ac.cr/index.php/es/?w=1280> >. [Consulta: 16 de agosto de 2012].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Formato de recolección de datos *in situ***

| | |
|------------------|--|
| Fecha | |
| Hora | |
| Río | |
| Cuenca | |
| Municipio | |
| Longitud | |
| Latitud | |
| Altitud | |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Puntos de muestreo en la subcuenca del río Quiscab**

Punto de muestreo ubicado en aldea Novillero (época seca)



Fuente: Aldea Novillero, Sololá.

Punto de muestreo ubicado en aldea Novillero (época lluviosa)



Fuente Aldea Novillero, Sololá.

Punto de muestreo ubicado en San José Chacayá (época seca)



Fuente: San José Chacayá, Sololá.

Punto de muestreo ubicado en San José Chacayá (época lluviosa)



Fuente: San José Chacayá, Sololá.

Punto de muestreo ubicado en San Jorge La Laguna (época seca)



Fuente: Desembocadura del río Quiscab, San Jorge La Laguna, Sololá.

Punto de Muestreo ubicado en San Jorge La Laguna (época lluviosa)



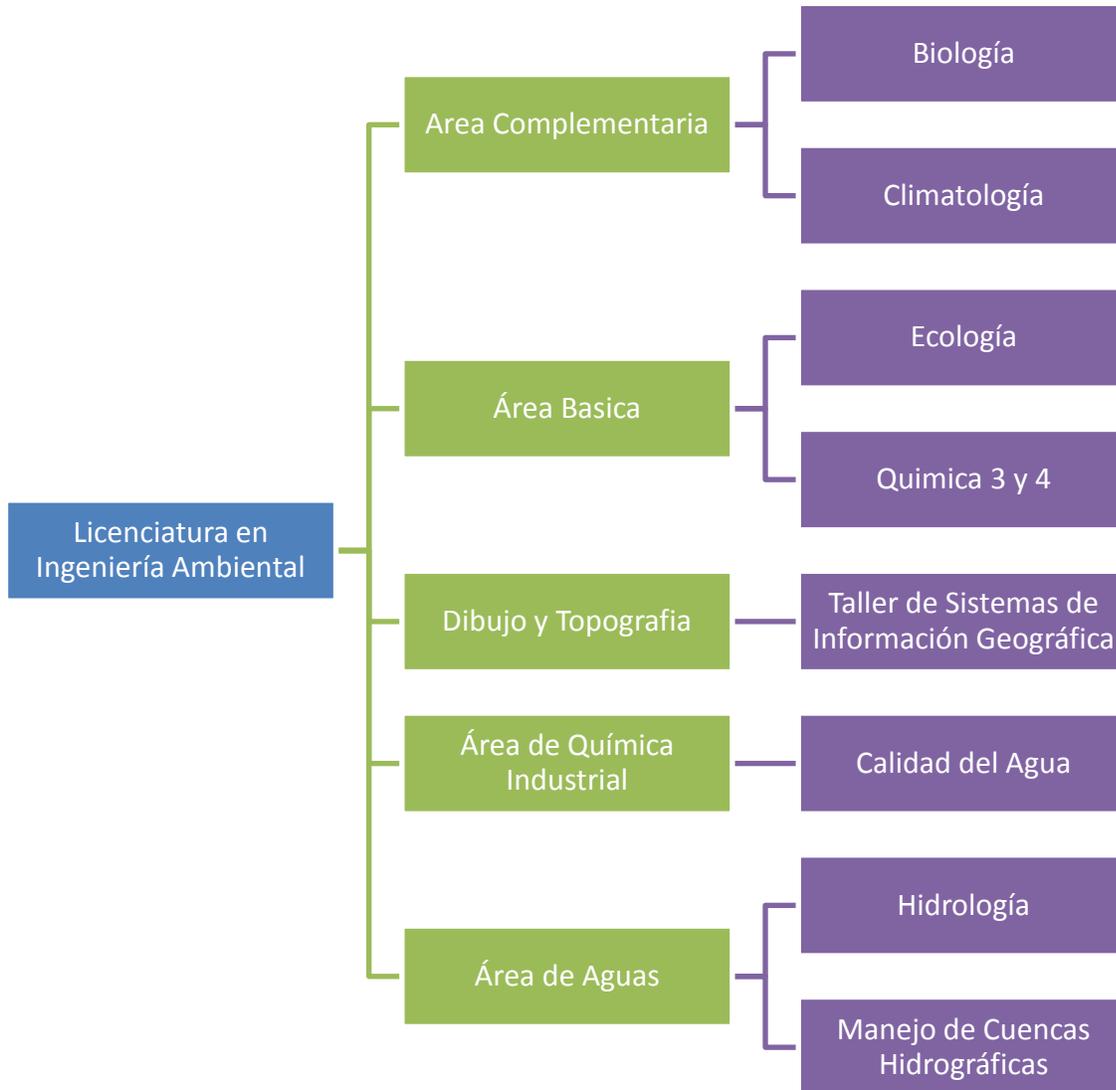
Fuente: Desembocadura del río Quiscab, San Jorge La Laguna, Sololá.

Apéndice 3. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Familias de macroinvertebrados más comunes en las muestras obtenidas**

Macroinvertebrados indicadores de buena calidad del agua



Odontoceridae (Trichoptera) [BMWP 9]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Leptoceridae (Trichoptera) [BMWP = 8]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Libellulidae (Odonata) [BMWP = 6]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Hidropsychidae (Trichoptera) [BMWP = 5]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.

Macroinvertebrados indicadores de regular calidad del agua



Baetidae (Ephemeroptera) [BMWP = 5]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Dytiscidae (Coleoptera) [BMWP = 4]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Dixidae (Diptera) [BMWP = 4]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Simuliidae (Diptera) [BMWP = 4]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Tipulidae (Diptera) [BMWP = 4]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Calopterygidae (Odonata) [BMWP = 4]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Coenagrionidae (Odonata) [BMWP = 4]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Corixidae (Hemíptera) [BMWP = 4]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Notonectidae (Hemíptera) [BMWP = 4]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.

Macroinvertebrados indicadores de mala calidad del agua



Veliidae (Hemiptera) [BMWP = 3]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Gerridae (Hemiptera) [BMWP = 3]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Bivalvia (Mollusca) [BMWP = 3]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Chironomidae (Diptera) [BMWP = 2]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.



Oligochaeta (Annelida) [BMWP = 1]

Fuente: área de experimentación, casa de habitación.