



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

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REÚSO DEL EFLUENTE DE UNA  
INDUSTRIA MANUFACTURERA DEL CAFÉ POR MEDIO DE LA  
ADAPTACIÓN DE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**

**Pablo Andrés López Gomar**  
Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, abril de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REÚSO DEL EFLUENTE DE UNA  
INDUSTRIA MANUFACTURERA DEL CAFÉ POR MEDIO DE LA  
ADAPTACIÓN DE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**PABLO ANDRÉS LÓPEZ GOMAR**

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO AMBIENTAL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Dra. Casta Petra Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
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:

### **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REÚSO DEL EFLUENTE DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DEL CAFÉ POR MEDIO DE LA ADAPTACIÓN DE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 15 de julio de 2013.

**Pablo Andrés López Gomar**



Guatemala, 28 de Octubre de 2014

Ingeniero  
Víctor Manuel Monzón  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Su Despacho

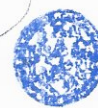
Estimado Ing. Monzón:

De manera atenta me dirijo a usted, deseándole éxitos en sus labores cotidianas.

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que el estudiante Pablo Andrés López Gomar, con carné 200819366 ha desarrollado el trabajo de graduación titulado "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REÚSO DEL EFLUENTE DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DEL CAFÉ POR MEDIO DE LA ADAPTACIÓN DE DOS ÍNDICES BIÓTICOS". Personalmente le he orientado y corregido en el desarrollo del mismo y por esta razón extiendo la presente; manifestándole que ha aprobado satisfactoriamente el Informe Final del Trabajo de Graduación.

Sin otro particular me despido de usted, atentamente.

F.   
Ing. Jorge Mario Estrada Asturias  
Colegiado No. 685



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



Guatemala, 20 de enero de 2015.  
Ref. EIQ.TG-IF.007.2015.

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **100-2013** 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: **Pablo Andrés López Gomar**.  
Identificado con número de carné: **2008-19366**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO AMBIENTAL**.

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

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REÚSO DEL EFLUENTE DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DEL CAFÉ POR MEDIO DE LA ADAPTACIÓN DE 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"

Ing. Jaime Domingo Carranza González  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.050.2015

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 del estudiante, **PABLO ANDRÉS LÓPEZ GOMAR** titulado: **"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REÚSO DEL EFLUENTE DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DEL CAFÉ POR MEDIO DE LA ADAPTACIÓN DE DOS ÍNDICES BIÓTICOS"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, abril 2015

Cc: Archivo  
VMMV/cle





DTG. 166.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REÚSO DEL EFLUENTE DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DEL CAFÉ POR MEDIO DE LA ADAPTACIÓN DE DOS ÍNDICES BIÓTICOS**, presentado por el estudiante universitario: **Pablo Andrés López Gomar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García  
Decano

Guatemala, 21 de abril de 2015

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por concederme la vida y con su infinito amor hacerse presente en cada aspecto de mi vida. Por su fidelidad y misericordia, por hacerme confiar en sus planes y promesas para mi vida. Por sus enseñanzas en este caminar y por llevarme de la mano como a un hijo inspirándome a sacar lo mejor de mi persona.

### **Virgen María**

Por ser ejemplo de vida y divina intercesora.

### **Mis padres**

Rolando López y Margarita Gomar de López, por ser mi ejemplo de vida, educarme con amor y ternura, por guiarme, apoyarme y exhortarme a ser un hombre valiente y esforzado, un varón de Dios.

### **Mis hermanos**

Rolando, Margarita, Paola y Andrea López Gomar, por su apoyo en cada etapa de mi vida, su ejemplo de vida y por inspirarme a ser el mejor hermano.

### **Mi familia**

Por acompañarme, apoyarme en cada sueño y proyecto a realizar.

**Mis amigos**

Por permitirme compartir alegrías y tristezas, triunfos y derrotas, pero sobre todo una sincera amistad.

**Al caficultor  
guatemalteco**

Porque a pesar de muchas adversidades en el cultivo, en el beneficiado y en el tratamiento del agua residual, ha sabido buscar soluciones. Son hombres y mujeres que luchan por sacar el mejor café del mundo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mí casa de estudios, enseñarme el valor de la educación y por inspirarme a ser un mejor profesional, pero también mejor humano.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme las instalaciones, los conocimientos y los medios para poder ser un ingeniero del siglo XXI.
<b>Mi familia y amigos</b>	Por ser un apoyo incondicional, sus oraciones y sabios consejos, sus desvelos a mi lado, por alentarme a seguir adelante, aun cuando venían las dificultades.
<b>Ing. Jorge Mario Estrada Asturias</b>	Un especial agradecimiento por su guía y asesoramiento en esta investigación. Por ser fuente de inspiración, no solo como un mejor estudiante, sino también como mejor profesional y educador.
<b>Ing. Roberto Soto</b>	Un especial agradecimiento por creer en esta investigación, creer en mi capacidad y apoyarme en todo momento. Por compartir sus conocimientos y asesorarme en campo como en laboratorio.

**Licda. Norma Gil**

Por brindarme el equipo necesario para la fase de campo, por su apoyo y conocimientos compartidos.

**ANACAFE**

Por darme la oportunidad de realizar esta investigación y el apoyo que para esta requería. Por el acogimiento del personal que estuvo involucrado, por su calor y cariño.

**ANALAB**

Por abrirme las puertas para realizar los análisis de las muestras y proveerme el equipo necesario. Por el acogimiento de todo el personal y el compartir.

**Cooperativa Sendero**      **Nuevo**

Por abrirme las puertas de las instalaciones del Beneficio, por el personal que me ayudó en todo momento y de forma incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Beneficiado húmedo del café.....	3
2.1.1. Recepción y clasificación del fruto maduro de café.....	3
2.1.2. Despulpado y clasificación .....	4
2.1.3. Fermentación (eliminación del mucílago).....	5
2.1.4. Lavado y clasificación .....	5
2.1.5. Proceso de secado.....	6
2.2. Aguas mieles del café .....	7
2.2.1. Composición química y física de las aguas mieles .....	7
2.2.2. Potencial de reúso de las aguas mieles respecto al Acuerdo Gubernativo 236-2006 .....	9
2.3. Conceptos de bioindicación .....	10
2.3.1. Bioindicación .....	10
2.3.2. Tipos de bioindicadores .....	13
2.3.3. Características de los bioindicadores.....	15
2.3.4. Uso de macroinvertebrados como bioindicadores .....	16

2.3.5.	Biomonitoreo.....	17
2.4.	Métodos biológicos utilizados en la calidad del agua .....	18
2.4.1.	Índices de diversidad .....	18
2.4.1.1.	Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H).....	19
2.4.1.2.	Índice de diversidad Simpson-Gini (Y).....	20
2.4.1.3.	Índice de Margalef .....	20
2.4.2.	Índices saprobios .....	21
2.4.3.	Índices bióticos .....	21
2.4.3.1.	Índice biótico de Trent (TBI).....	22
2.4.3.2.	Índice biótico de Chandler .....	22
2.4.3.3.	Índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party) .....	23
2.4.3.4.	Índice biótico EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera).....	23
2.4.3.5.	Índice biótico de la familia (IBF de Hilsenhoff).....	24
2.5.	Índice biótico de familia adaptado a El Salvador (IBF-SV-2010) .....	25
2.5.1.	Procedimiento de cálculo.....	30
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	33
3.1.	Variables.....	33
3.1.1.	Descripción de variables.....	34
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	36
3.2.1.	Localización .....	36
3.2.2.	Selección de la muestra.....	37
3.2.3.	Área de investigación.....	37
3.2.4.	Campo de investigación.....	38

3.2.5.	Línea de investigación.....	38
3.3.	Recurso humano disponible.....	38
3.4.	Recurso material disponible.....	38
3.5.	Técnica cualitativa .....	39
3.6.	Criterios para la selección de muestras y metodología para muestreo .....	39
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información.....	44
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información ..	45
3.9.	Análisis estadístico .....	48
4.	RESULTADOS.....	51
4.1.	Puntos de muestreo .....	51
4.2.	Resultados de parametros fisicoquímicos.....	51
4.3.	Listado de familias obtenidas en los respectivos muestreos.....	52
4.4.	Resultados de las muestras.....	68
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	71
	CONCLUSIONES .....	77
	RECOMENDACIONES .....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	APÉNDICES .....	85





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Localización de la laguna de oxidación.....	36
2.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 en inicio de cosecha.....	53
3.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 en inicio de cosecha.....	54
4.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 en inicio de cosecha.....	55
5.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 en inicio de cosecha.....	56
6.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 en inicio de cosecha.....	57
7.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 a media cosecha. ....	58
8.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 a media cosecha. ....	59
9.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 a media cosecha. ....	60
10.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 a media cosecha. ....	61
11.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 a media cosecha. ....	62
12.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 al final de la cosecha. ....	63

13.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 al final de la cosecha. ....	64
14.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 al final de la cosecha.....	65
15.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 al final de la cosecha.....	66
16.	Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 al final de la cosecha.....	67

## **TABLAS**

I.	Niveles de calidad del agua según índice EPT .....	24
II.	Asignación de puntajes o grados de sensibilidad por familias .....	27
III.	Valor IBF-SV-2010 .....	31
IV.	Definición de las variables.....	33
V.	Descripción de variables independientes.....	34
VI.	Descripción de variables dependientes.....	35
VII.	Métodos usados en parámetros fisicoquímicos por ANALAB .....	40
VIII.	Formato de tarjetas de identificación de muestras .....	41
IX.	Hoja de toma de datos de campo. ....	44
X.	Recolección de datos de familias obtenidas por muestra. ....	45
XI.	Formato de muestreos. ....	47
XII.	Resultados de parámetros fisicoquímicos.....	51
XIII.	Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 en inicio de cosecha.....	53
XIV.	Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 en inicio de cosecha.....	54
XV.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 en inicio de cosecha.....	55

XVI.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 en inicio de cosecha. ....	56
XVII.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 en inicio de cosecha. ....	57
XXVIII.	Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 a media cosecha. ....	58
XIX.	Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 a media cosecha. ....	59
XX.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 a media cosecha. ....	60
XXI.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 a media cosecha. ....	61
XXII.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 a media cosecha. ....	62
XXIII.	Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 al final de la cosecha. ....	63
XXIV.	Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 al final de la cosecha. ....	64
XXV.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 al final de la cosecha. ....	65
XXVI.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 al final de la cosecha. ....	66
XXVII.	Familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 al final de la cosecha. ....	67
XXVIII.	Resultados del número IBF para cada muestra en inicio de cosecha. ....	68
XXIX.	Resultados del número IBF para cada muestra en pico de cosecha. ....	68
XXX.	Resultados del número IBF para cada muestra en el final de cosecha. ....	69
XXXI.	Tabla resumen del promedio de los parámetros obtenidos por época de muestreo. ....	70



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>Ptot</b>	Fósforo total
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible
<b>L</b>	Litro
<b>Mg</b>	Miligramo
<b>TKN</b>	Nitrógeno total de Kjeidal
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno



## GLOSARIO

<b>Agua miel</b>	Agua recirculada utilizada en las operaciones unitarias de despulpado y lavado del proceso de un beneficio húmedo de café.
<b>Bentos</b>	Comunidad formada por materia inerte y organismos que habitan en el fondo de los ecosistemas acuáticos.
<b>Bioindicador</b>	Indicador consistente en organismos, tanto animales como vegetales, cuya presencia o ausencia en un medio determina la calidad del mismo
<b>Café maduro</b>	Fruto del café listo para ser cortado.
<b>Café pergamino</b>	Grano que está limpio del pericarpio o cáscara natural que lo envuelve.
<b>Contaminación</b>	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 en un ser vivo.
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días de reacción.

<b>Despulpado</b>	Proceso a través del cual, al fruto maduro o cereza del café se le quita de manera mecánica la pulpa o pericarpio que la envuelve.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno.
<b>Efluente</b>	Descarga de una planta de tratamiento o sistema de alcantarillado hacia la red pública o cuerpo receptor.
<b>Estenoicos</b>	Organismos, los cuales necesitan de condiciones muy estrictas para poder desarrollarse.
<b>EPT</b>	Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera.
<b>Eurioicos</b>	Organismos resistentes a las variaciones del ambiente
<b>IBF-SV-2010</b>	Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador.
<b>Macroinvertebrados</b>	Aquellos organismos que, por su tamaño pueden ser retenidos en mallas con aberturas desde 200 a 500 $\mu\text{m}$
<b>Mucílago</b>	Sustancia vegetal viscosa que recubre el grano de café directamente, por debajo de la pulpa.



<b>Parámetro</b>	la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.
<b>Reglamento 236-2006</b>	Reglamento de Descargas de Aguas Residuales y Lodos Activados.
<b>Reúso</b>	Aprovechamiento de un efluente, tratado o no.



## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general, evaluar el potencial de reúso de las aguas residuales (aguas mieles) resultantes del proceso de beneficiado del café por medio de la adaptación de dos índices bióticos.

Estos índices bióticos se fundamentan en la recolección de macroinvertebrados que, por su abundancia o ausencia en el medio y la tolerancia o sensibilidad a contaminantes, determinan la calidad del agua. Los muestreos se realizarán en la laguna de oxidación, la cual recibe los efluentes del beneficio húmedo de la Cooperativa Nuevo Sendero, ubicado en la aldea Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, en el departamento de Santa Rosa.

Para entender las aguas residuales del proceso de beneficiado de café, se debe conocer que durante este proceso, se utiliza una gran cantidad de agua para la recepción y clasificación del fruto maduro de café, para despulparlo para la fermentación (eliminación del mucilago), y finalmente para el lavado del café. Es decir, el agua residual sin ningún tratamiento, sale con aproximadamente 4/5 partes del fruto de café que se procesó desde el inicio hasta que se lavó, previo al secado.

Los índices que se utilizarán son el índice biótico de familia adaptado a El Salvador (IBF-SV-2010) y el índice biótico Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), ambos reciben una valoración, respecto de los macroinvertebrados recolectados ya mencionados, que indican la calidad del agua. Asimismo, se recolectarán muestras para analizar la demanda bioquímica

de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total, nitrógeno de Kjeldahl y el potencial de hidrógeno, como parámetros de comparación.

Para determinar el reúso más apropiado, se utilizará el Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos Activados*.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el potencial de reúso del efluente en la laguna de estabilización, de la industria manufacturera de café Nuevo Sendero en el municipio Nueva Santa Rosa, determinando el estado de la calidad de agua por medio de la adaptación de dos índices bióticos.

### **Específicos**

1. Caracterizar el agua en la laguna de estabilización por los parámetros fisicoquímicos de demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, la demanda química de oxígeno, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total y pH.
2. Caracterizar el agua en la laguna de estabilización desde el punto de vista biológico, investigando la macrobiota.
3. Determinar cualitativa y cuantitativamente la variedad taxonómica de macroinvertebrados existentes en la laguna de estabilización.
4. Determinar los índices bióticos IBF-SV-2010 y el EPT
5. Comparar con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, para determinar el reúso más apropiado de los efluentes



## INTRODUCCIÓN

Una de las grandes problemáticas que ha venido dándose en los beneficios húmedos de café, es la disposición final de las aguas residuales de los mismos, hecho que ha sido difícil de concretar en una solución económicamente viable para los caficultores guatemaltecos.

Identificar los organismos vivos presentes en un medio, es de suma importancia, ya que estos generan datos cuantitativos y cualitativos acerca de los factores ambientales, en los cuales las condiciones de vida, existencia, espacio y tiempo dependen de su capacidad de adaptarse a los mismos; bajo este concepto funcionan los bioindicadores.

La aplicación de la bioindicación en la laguna de oxidación, del punto de interés el beneficio húmedo de la Cooperativa Nuevo Sendero, puede ser una herramienta económicamente viable para determinar los niveles de contaminación, ya que es rápido y efectivo, además tiene la ventaja de poderse aplicar en cualquier cuerpo de agua del país.





## 1. ANTECEDENTES

El vertimiento de una sustancia que altere el medio de una u otra forma es percibida por los organismos vivos que en el habitan, estos o perciben la contaminación de manera que su comportamiento y la abundancia de estos organismos se ve modificada. Este es el principio de la bioindicación y habitualmente, la acción de los contaminantes sobre esos organismos bioindicadores, puede ser de manera directa (por medio de ingestión o impregnación o adsorción) o indirecta (por cambios en el medio). Es así como la observación de las respuestas de estos organismos bioindicadores a ciertos contaminantes en sus medios, se ha utilizado para evaluar la calidad de las aguas superficiales.

A través del tiempo, desde que se empezó los esfuerzos por usar métodos biológicos en los años 50, se crearon varios índices como: los de diversidad, el saprobio y los bióticos. Es así como en 1977, el Dr. William Hilsenhoff desarrolló el índice biótico de familia. Luego en el 2010, el ingeniero José Sermeño Chicas y otros autores que realizaron el proyecto: 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), donde surgió la modificación del índice biótico IBF.

“Inicialmente el proyecto contemplaba la utilización del índice BMWP-CR, para la evaluación de las poblaciones de invertebrados acuáticos; sin embargo, este índice no manifestó los resultados esperados, por tanto, fue necesaria la aplicación de otros índices, siendo uno de ellos el índice biológico o biótico a

nivel de familias (FBI, por sus siglas originales en inglés), el cual fue adaptado para ser aplicado en la medición de la calidad de las aguas de los ríos de El Salvador, denominándose localmente: índice biológico a nivel de familia de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Este índice reconoce taxonómicamente a los organismos acuáticos a nivel de familia, se contabilizan los individuos de las diferentes familias recolectadas en cada punto de muestreo, ponderando la abundancia de cada una de ellas al multiplicarlas por puntajes que indican el grado de sensibilidad a la contaminación (desde cero a diez, según se asocien a condiciones desde menor hasta mayor grado de contaminación orgánica). De esta manera se obtiene al final un promedio de la sumatoria, cuyos valores se comparan”<sup>1</sup>.

Anteriormente se han dado varios métodos para tratar las aguas residuales (aguas mieles) como un subproducto del proceso de beneficiado del café, sin embargo, no se ha tenido progreso en el aprovechamiento de este recurso líquido. Mientras que otros subproductos, como el cascabillo y la pulpa del café, si han tenido progresos significativos en su aprovechamiento.

---

<sup>1</sup> SERMEÑO CHICAS, J.M. et. al. 3. P.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Beneficiado húmedo del café**

Es el proceso por el cual el fruto del café maduro se transforma, por medios acuosos, en café pergamino seco de punto comercial. El procesamiento del café para la obtención del grano seco libre de mucílago y pulpa, se realiza en beneficios húmedos con un considerable consumo de agua. Según la revisión del 2011, realizada por ANACAFE, existen 2396 beneficios en el país.

#### **2.1.1. Recepción y clasificación del fruto maduro de café**

Para la recepción del fruto o uva de café tiene que recibirse solo fruto maduro y tratar de no mezclarse frutos de diferentes días de corte. La cantidad que se recibe dependerá de cómo avanza la maduración. El café maduro tiene una densidad aparente de 13,5 a 14 quintales de fruto por metro cúbico, valor que depende de la variedad y la altura sobre el nivel del mar.

- Clasificación del fruto

La clasificación es importante y nunca debe ser eliminada de las etapas del proceso de beneficiado húmedo, ya que las plantaciones de café son afectadas por plagas y enfermedades que generan frutos de menor densidad (flotes y vanos), por lo que debe clasificarse el fruto con sifones de paso continuo de un metro cúbico de capacidad y sistemas de cribado para flotes. Esta etapa permite separar piedras y basuras que pueden provocar deterioro a la maquinaria de despulpado.

Las máquinas de despulpado deben limpiarse a diario, para evitar granos rezagados que podrían dañar la partida del día siguiente.

### **2.1.2. Despulpado y clasificación**

“El despulpado es el proceso a través del cual al fruto maduro o cereza del café se le quita de manera mecánica la pulpa o pericarpio que la envuelve”<sup>2</sup>. Para poder despulpar el fruto del café se usa una máquina mejor conocida como despulpadora, la cual funciona ejerciendo presión y fricción al fruto de café que es introducida a la misma. La despulpadora tiene un cilindro el cual realiza esta acción, el cual empujando el fruto contra una pieza llamada perchero, que por fricción separa la pulpa. Al finalizar el producto que sale se le conoce como café pergamino con mucílago.

En el despulpado es de suma importancia recibir solo fruto maduro y no debe mezclarse o recibirse partidas de diferentes días de corte. La pulpa del café representa aproximadamente el 40 por ciento en peso del fruto fresco, es por lo tanto, el subproducto más voluminoso del beneficiado húmedo.

El café pergamino se le llama a aquel grano que está limpio del pericarpio o cáscara natural que lo envuelve. Esta etapa debe cuidarse el grano de café de cualquier daño o cambio físico, este debe conservarse íntegro, con su mucílago (mesocarpio).

El mucílago o mesocarpio es la sustancia gelatinosa que envuelve el pergamino (endocarpio) y se caracteriza por ser rico en azúcares y pectinas. Después del despulpado, la etapa que le sigue al proceso de beneficiado húmedo es la remoción del mucílago, pero antes de esto debe pasar por una

---

<sup>2</sup> ANACAFE, et al. 16 p.

clasificación. El café despulpado se clasifica con cribas o zarandas, para evitar que lleguen cáscaras a las pilas, ya que ocasionan problemas en el proceso de fermentación.

### **2.1.3. Fermentación (eliminación del mucílago)**

El mucílago representa entre el 15,5 y el 22 por ciento en peso del fruto maduro, por tratarse de un material gelatinoso insoluble en el agua. El mucílago es necesario solubilizarlo en un material que sea de fácil remoción en el lavado. Para poderlo remover es necesario una degradación mediante un proceso de fermentación en pilas o tanques en periodos de tiempo que van de 6 a 48 horas. Este tiempo depende de la temperatura del ambiente, ya que a mayor calor acelera la fermentación y el frío la hace más lenta, la capacidad de drenaje de los tanques, la altura de masa de café, la calidad del agua utilizada en el despulpado debe ser agua limpia o de nacimiento, estado de madurez del fruto, entre otros.

Para poder eliminar el mucílago existe otra forma: el desmucilaginado mecánico, el cual proporciona una manera de eliminarlo en forma continua, esto quiere decir, que se reduce el tiempo que conlleva fermentar en pilas. Esta forma es una operación versátil, sin embargo, deja residuos de mucílago en la hendidura del grano, afectando su apariencia física.

### **2.1.4. Lavado y clasificación**

El lavado es una etapa o proceso del beneficiado húmedo donde se eliminan los restos de mucílago o miel degradada, así como los materiales disueltos durante la fermentación, para obtener un grano pergamino más limpio.

En el lavado, prácticamente se quita la miel que queda adherida al pergamino cuando este da el punto final de fermentado por medio de la inmersión y paso de una corriente de agua en un canal de correteo o clasificación, utilizando paletas de madera. El agua se cambia dos, tres o más veces, dependiendo de la cantidad de mieles que suelte. El canal de correteo es una excelente forma de clasificar los granos de café. Generalmente, primero salen las natas, seguido de las pulpas, tercero sale el café de segunda y, por último, el de primera; que son los granos más pesados que quedan en la parte trasera del canal.

#### **2.1.5. Proceso de secado**

El proceso de beneficiado húmedo termina cuando se logra bajar la humedad del café hasta punto comercial, que es del 10 al 12 por ciento del grano oro. El proceso de secado del café es uno de los más complicados que existen, ya que después de eliminar el agua superficial del grano, hay que desaparecer la humedad interior del mismo. La humedad del grano de café al salir del canal de correteo es aproximadamente de un 50 al 55 por ciento.

Existen dos tipos de secado: al sol en patios o en secadoras.

Al sol en patios se utilizan patios de ladrillo o cemento, en los cuales se extienden capas de café de alrededor de 5 a 6 centímetros de espesor, moviéndose constantemente para obtener un punto parejo de secado. De preferencia se realiza en horas de la mañana para no agarrar las altas temperaturas del medio día, ya que esto puede poner en riesgo de que los granos se pelen.

Por otro lado, las secadoras mecánicas, tipo guardiola, mantienen en movimiento el café, extrayendo la humedad. Los granos se vierten en un cilindro en forma horizontal, el cual se le inyecta corrientes de aire forzado, aumentando la temperatura del grano y bajando la humedad con intercambiadores de calor, que utilizan como fuente de energía combustión de diésel o el mismo material de residuo del café (el cascabillo) o leña.

Por último, se almacenan los granos de café, por lo general se hace en café pergamino, ya que es de suma importancia la conservación del mismo. Si el café no se almacena en ambientes controlados puede deteriorarse y provocar el defecto “sabor a viejo”. Los hongos que atacan el café almacenado forman micotoxinas que no se destruyen con el tostado y pueden constituir limitantes para su consumo en los países importadores por considerarse cancerígenos. El deterioro es mucho más lento en el café pergamino que en el café oro. En la mayoría de las fincas donde se almacena el café en pergamino no se tienen bodegas adecuadas.

## **2.2. Aguas mieles del café**

El agua miel es un subproducto del café, ya que esta es derivado de las aguas utilizadas para despulpar y lavar, convirtiéndose así en agua residual o agua miel.

### **2.2.1. Composición química y física de las aguas mieles**

El agua utilizada para despulpar y lavar se convierte en residual (agua miel). Su naturaleza química está relacionada con la composición físico-química de la pulpa y el mucílago, debido a que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto turbulento e intenso con el agua

limpia. Así se origina su aporte como carga orgánica, del primer y segundo lavado, con alrededor en términos de DQO de 43 615 miligramos, OZ/litro, equivalente a 6 Kg. de DQO/quintal oro. Pero esta agua miel, cuando es sometida al procesamiento en los sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales, se logra separar, por un lado el agua clarificada y por otro los lodos orgánicos; estos son un buen aporte de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, entre otros; se pueden mezclar con la pulpa para hacer un compost.

En cuanto a este residuo líquido, las aguas del despulpado y de lavado, que son las que arrastran la principal proporción de mucílago suelto o fermentado, requieren más atención para realizarles el proceso en las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR), para así aprovechar para abono los lodos de origen orgánico en estado semisecos (creados) y también las aguas clarificadas y neutralizadas, previo análisis por el laboratorio, para riegos de pastos e inclusive plantaciones de café adulto, de lo contrario verterlas a afluentes con mínima carga orgánica.

El agua residual del café, aguamiel, es biodegradable casi en su totalidad durante la digestión anaerobia, etapa en la cual ocurre la acidogénesis y metanogénesis del jugo de pulpa. Los integrantes fundamentales de la DQO del agua de pulpa son azúcares y proteínas, así como pequeñas cantidades de cafeína, taninos y ácido clorogénico. Los taninos y el ácido clorogénico son los responsables de la coloración. El agua miel contiene básicamente ácidos orgánicos simples de pectina y azúcares provenientes del mucílago.

El agua de pulpa de café contiene algunos compuestos tóxicos. Tres componentes naturales de la pulpa son toxinas potenciales: la cafeína, el ácido clorogénico y los taninos. El ácido clorogénico es adaptable, la cafeína en



determinadas circunstancias no es tóxica y los taninos inhiben el 50 por ciento de la metanogénesis; la digestión del agua miel debe hacerse con una concentración de DQO inferior a 7 kg/m<sup>3</sup>.

En el caso de aguas de despulpado se encuentra del 40 al 50 por ciento de azúcares, aproximadamente 25 por ciento de taninos y ácido clorogénico y entre un 15 al 20 por ciento de cafeína. La digestión del agua miel debe hacerse con una concentración de DQO de 3 a 5 kg/m<sup>3</sup>.<sup>3</sup>

### **2.2.2. Potencial de reúso de las aguas mieles respecto al Acuerdo Gubernativo 236-2006**

En la actualidad, reusar las aguas mieles ha sido poco efectivo, ya que como anteriormente se vio, estas contienen compuestos que hacen que sean ácidas teniendo un potencial de hidrógeno alrededor de 4, lo cual resulta muy fuerte como para que esta sea aplicado a las plantas sin previo tratamiento.

Actualmente se busca reusar las aguas mieles para plantas forrajeras, que sirven para pastos de ganado que residen cerca de las plantaciones de café o de los beneficios, también se busca la opción de fertirriego para hortalizas, árboles frutales, árboles que son sombra para los cafetos y para el mismo cafeto.

A pesar de que las aguas mieles contienen cargas altas de materia orgánica, es posible mediante pretratamientos o tratamientos primarios (no se detallan que tratamientos o pretratamientos se deben realizar, porque no es este el fin de la investigación, pero se recomienda verificar la tesis del ingeniero Rodrigo Espinosa Quinteros) reducir esta carga y poder reusarlas para otro fin, en este caso riego en agricultura.

Según el artículo 21, 34 y 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 (ver anexo), las aguas residuales puede ser reutilizadas para riego agrícola en general y para cultivos comestibles. Dado que las aguas mieles no contienen coliformes fecales, ya que no son producto de aguas residuales domésticas, es posible que estas puedan reusarse para hortalizas como el tomate, zanahorias, pepino, cebolla, entre otras. En frutales que son de tipo árbol y no tipo arbusto como las uvas o que se cultiven en suelo como en el caso del melón o la sandía. En árboles de sombra de cafeto y en el mismo cafeto.

### **2.3. Conceptos de bioindicación**

El principio de la bioindicación se basa en la acción de los contaminantes sobre los organismos indicadores y esa acción puede ser directa (por ingestión, por impregnación o adsorción) o indirecta (cambios en el medio).

Para entender mejor este concepto aplicado a la calidad del agua se presenta a continuación las definiciones y clasificaciones más comunes.

#### **2.3.1. Bioindicación**

El término bioindicación usado para evaluar la calidad del agua, se define como el uso de organismos sensibles a un determinado contaminante con efectos visibles macro o microscópicamente. Estos proporcionan una información semicuantitativa sobre la contaminación del medio acuático permitiendo evaluar directamente el impacto ambiental de los contaminantes.

Otra definición la menciona Alba Tercedor que explica en su artículo titulado *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*, lo siguiente: “Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan

estas adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos sensibles, que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como intolerantes, mientras que otros que son tolerantes no se ven afectados. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes, estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del mismo modo, aun cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada, con lo cual dejan espacio libre que puede ser colonizado por organismos tolerantes. De modo que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación”.

Entonces, teniendo un concepto de la bioindicación: este es un indicador consistente en organismos, tanto animales como vegetales, cuya presencia o ausencia en un medio determina la calidad del mismo. “El concepto de organismo indicador se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros”<sup>3</sup>.

Otra definición, por el ingeniero Jorge Mario Estrada: “Un organismo indicador es que cuyas condiciones de vida, existencia, espacio y tiempo depende de su capacidad de adaptarse a distintos factores ambientales. Este no puede ser un individuo u organismo en particular, sino son poblaciones de especies o grupos de especies que conforman una cadena trófica o ecosistemas.

---

<sup>3</sup> VEGA MONTENEGRO, Doris Yuritza. 23 y 24 p.

Según el ingeniero Esteban Acuña “la capacidad de respuesta de los bioindicadores depende de muchos factores, estos 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 estos conceptos y definiciones sobre la bioindicación y los bioindicadores se puede decir que cualquier organismo vivo es un bioindicador, por el simple hecho de que todos responden de una u otra manera a los cambios que ocasionan diferentes factores al ambiente. Sin embargo, no todos son útiles en todos los campos, para la contaminación ambiental, específicamente, no son escogidos todos los organismos vivos sino nada más algunos de estos, ya que algunos presentan mejores características o que las respuestas sean más interesantes.

Hay algunos aspectos de calidad del agua que puede determinarse por bioindicación, los cuales son:

- Presencia de oxígeno: por medio de organismos aerobios, anóxicos o anaerobios.
- Condiciones de pH.
- En aguas naturales, la estratificación térmica, ya que hay organismos termotolerantes, psicrófilos.

### 2.3.2. Tipos de bioindicadores

El ingeniero Esteban Acuña describe en su tesis *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*, que los bioindicadores pueden clasificarse por medio de los siguientes criterios:

El criterio más sencillo consisten en consiste en tomar en cuenta 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.

### **2.3.3. Características de los bioindicadores**

Según varias referencias bibliográficas (Acuña, 2012; Duche 2012) los mejores indicadores que ofrecen las siguientes características son:

- Se encuentran prácticamente en todos los sistemas acuáticos, por lo que favorecen estudios comparativos.
- Presentan un largo período de permanencia en el agua, lo cual permite estudiar cambios temporales.
- Que puedan ser 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.
- Debe haber dispersión (normal o anormal) en el área y debe estar relativamente abundante y visible.
- Debe ser lo más sedentario posible para reflejar las condiciones locales.
- Debe tener un tamaño que permita el estudio de los diferentes tejidos y sus componentes

- Debe asimilar los contaminantes en concentraciones tales, que les permita permanecer vivos para poder observar sus respuestas, a menos que la mortalidad sea una de las variables a estudiar.
- Deben ser fáciles de muestrear e identificar. 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. Es decir, que sean abundantes en el medio.

#### **2.3.4. Uso de macroinvertebrados como bioindicadores**

Los autores José Miguel Sermeño Chicas, et al. en el informe *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando macroinvertebrados acuáticos: Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)*, citan que: “La expresión macroinvertebrados bénticos hace alusión a organismos que habitan los sustratos del fondo (sedimentos, detritus, palos sumergidos, macrófitos, algas filamentosas y otros) de hábitats dulceacuícolas, al menos durante parte de su ciclo vital; considerándose específicamente como macroinvertebrados, aquellos organismos que por su tamaño pueden ser retenidos en mallas con aberturas desde 200 a 500  $\mu\text{m}$ .

En el mismo informe se describen las razones por las cuales se consideran a los macroinvertebrados como los mejores indicadores de la calidad del agua, que son muchos, entre los que se citan los siguientes (por Roldán-Pérez 2003, Bonada et al. 2006):



- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar.
- Poseen una gran diversidad de especies, con un amplio espectro de respuestas ambientales (grados de tolerancia).
- Son sedentarios en su mayoría, reflejando así las condiciones locales (extensión espacial de la contaminación).
- Son relativamente fáciles de identificar en comparación con otros grupos de organismos como los virus, bacterias, entre otros (por lo menos a nivel de familia o género).
- Presentan los efectos de variaciones ambientales de corto tiempo.
- Facilitan información para integrar efectos acumulativos.
- Sus ciclos vitales son relativamente largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Se encuentran en una amplia variedad de ambientes acuáticos
- Se pueden criar en el laboratorio.

### **2.3.5. Biomonitorio**

El ingeniero Esteban Acuña describe en su tesis *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*, que 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 esta puede ser:

- Físicoquímica: que consiste simplemente en medir concentraciones de contaminantes en el medio. Esta 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 biomonitoreo: 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.

## **2.4. Métodos biológicos utilizados en la calidad del agua**

Existen 3 índices o métodos utilizados para el monitoreo biológico y para la calidad de las aguas.

### **2.4.1. Índices de diversidad**

Los índices de diversidad estudian 3 componentes: la riqueza de las especies, es decir, el número de especies que hay en un área; la equitatividad o la uniformidad en distribución de las especies y la abundancia o el número total de individuos de todas las especies encontradas. En general, a una mayor biodiversidad le corresponde una mejor calidad del agua y viceversa.

Se supone que estos índices son mejores para aguas naturales, ya que hay abundancia y diversidad de especies, por lo contrario un ambiente contaminado por desechos orgánicos degradables, la comunidad generalmente responde con un descenso de la diversidad con pérdida de organismos sensibles, aumento en la abundancia de los organismos tolerantes los cuales ahora tienen una fuente enriquecida de alimentos, y por supuesto, un descenso de la equitatividad. A continuación se tienen algunos de estos índices más utilizados en calidad del agua:

#### **2.4.1.1. Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H)**

Este índice mide el contenido de información por individuo en muestras obtenidas al azar, provenientes de una comunidad extensa de la que se conoce el número total de especies. También toma en cuenta el número de especies y la equitatividad o uniformidad de la distribución del número de individuos en cada especie, es más sensible para especies raras y estima la diversidad de la comunidad en que fue tomada la muestra. Aunque no considera aspectos importantes como la periodicidad y el tipo de muestreo, el nivel de la resolución taxonómica y, porque responde irregularmente a los cambios naturales del medio acuático.

El valor máximo que adquiere en los ríos para comunidades de macroinvertebrados bentónicos 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, entre otros). 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.

#### **2.4.1.2. Índice de diversidad Simpson-Gini (Y)**

Este índice relaciona el número de especies y de individuos por especie por el número total de individuos. Por lo que expresa la probabilidad compuesta de que dos individuos extraídos al azar de una comunidad pertenecen a la misma especie. Si esta probabilidad es alta la comunidad es poco diversa.

El índice puede tomar valores que van del 0 al 100 por ciento. Los valores que están por debajo del 20 por ciento indican una calidad muy buena del agua, mientras que si la valoración está por encima del 60 por ciento la calidad del agua será deficiente o mala. Este índice es relativamente insensible para especies raras, pero altamente sensibles para especies dominantes. Principalmente es indicador de los siguientes impactos: polución orgánica, degradación en la morfología del río y degradación general.

#### **2.4.1.3. Índice de Margalef**

El índice de Margalef, por Ramon Margalef, es una medida utilizada para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada.

Los valores que están por debajo de 2 se considera que son zonas de baja biodiversidad, debido a efectos antropogénicos, y valores por encima de 5 indican una alta biodiversidad y una buena calidad del agua.

### **2.4.2. Índices saprobios**

El término saprobio se refiere a la dependencia de un organismo a la materia orgánica descompuesta como fuente de alimento o como sustrato. Los efectos de la contaminación por materia orgánica procedente de vertidos urbanos o agrícolas y su grado de descomposición sobre los organismos.

El índice saprobico o saprobio está basado en la presencia de especies indicadoras que reciben un valor saprobio dependiente de su tolerancia frente a la contaminación; estos valores van de 0 a 8, es decir, de menor a mayor tolerancia.

La calidad del agua se considera mala si se tienen pocas especies, pero en masa, y se considera buena si hay muchas especies, pero en poca población.

### **2.4.3. Índices bióticos**

Son los más utilizados y se basan en la clasificación de los organismos según su tolerancia a la contaminación, asignándoles una puntuación cuyo rango varía según el índice utilizado.

Los índices bióticos suelen ser específicos para un tipo de contaminación y/o región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Un índice biótico es una combinación de la diversidad de ciertos grupos taxonómicos y la tolerancia a la contaminación en un solo índice o valor. Para ello a los grupos de macroinvertebrados de una muestra se les asigna un valor numérico en función de su tolerancia a un tipo de contaminación, los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor

numérico mayor, la suma de todos estos valores indica la calidad de ese ecosistema.

Algunos índices bióticos se describen a continuación:

#### **2.4.3.1. Índice biótico de Trent (TBI)**

Este índice 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 desde 0 hasta 15, es decir, de mala a buena calidad.

Este índice se utiliza mejor en zonas donde abundan piedras y la corriente de agua es elevada, las llamadas zonas reófilas, ya que al seleccionar estos hábitats se puede obtener la máxima biodiversidad.

#### **2.4.3.2. Índice biótico de Chandler**

Este índice utiliza los mismos 6 taxones que el índice biótico de Trent, y además, emplea un factor de abundancia en el que cada especie tiene una puntuación que varía según el número de individuos. Este índice requiere un esfuerzo mayor a los otros índices, ya que es necesaria una identificación taxonómica de los macroinvertebrados hasta el nivel de género o especie.

Las puntuaciones finales van desde 0 hasta un límite superior no definido, aunque se puede decir, que si el índice es menor de 300 el agua está contaminada y si está entre los 300 y 3 000 el agua está poco contaminada. Por

ello, se dice que las valoraciones aplicadas son subjetivas, ya que no hay rangos exactos establecidos.

#### **2.4.3.3. Índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party)**

“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 nos dará el grado de contaminación del punto estudiado”<sup>4</sup>

La facilidad de este índice es que se identifican taxonómicamente a nivel de familia, ya que en poco tiempo es posible realizar el inventario de la fauna en cada punto. Si se haría a nivel de género o especie el trabajo sería muy largo y tedioso. Es por ello que, este índice ha sido muy utilizado en varias regiones, así como también ha sido modificado como el de Costa Rica.

#### **2.4.3.4. Índice biótico EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera)**

El índice de EPT se analiza con respecto de 3 grupos de macroinvertebrados, siendo estos los Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera que debido a su sensibilidad a la contaminación son indicadores de la calidad del agua. En primer lugar se coloca en una columna la clasificación de organismos, en una segunda columna la abundancia y una última columna con los EPT presentes. Luego, los EPT presentes se dividen por el número total de individuos, obteniendo un valor, el cual se lleva a una tabla de niveles de

---

<sup>4</sup> DUCHE CHULCO, Luis Miguel. 12 p.

calidad de agua que va de muy buena a mala calidad. En el caso de este índice los valores más elevados son positivos, lo que se relaciona directamente con aguas poco contaminadas.

Asimismo, estos grupos se evalúan debido a que son más sensibles a la contaminación, por lo que los porcentajes de EPT mayores al 75 por ciento de la abundancia total reflejan una buena calidad del agua y los cercanos a 0 por ciento indican mala calidad.

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

<b>Clase</b>	<b>Índice EPT (%)</b>	<b>Calidad del agua</b>
1	75 - 100	muy buena
2	50 - 74	buena
3	25 - 49	regular
4	0 - 24	mala

Fuente: ACUÑA, Esteban. p 21.

#### **2.4.3.5. Índice biótico de la familia (IBF de Hilsenhoff)**

Este índice es una medida de la contaminación orgánica y debida a nutrientes, la cual causa menores niveles de oxígeno disuelto, especialmente por la noche durante el verano y después de una fuerte lluvia. Los niveles reducidos de oxígeno disuelto, afectan a su vez, la capacidad de cada especie de artrópodo para sobrevivir en un río en particular. Para el propósito de calcular el índice biótico, a cada especie o género les es asignado un valor de tolerancia desde 0 hasta 10; con el cero asignado a las especies más intolerantes a la contaminación orgánica y 10 a las especies más tolerantes; se asignan valores intermedios a las especies intermedias en su tolerancia a la



contaminación orgánica. El IB es un promedio de valores de tolerancia para todos los individuos recolectados de un punto o sitio de muestreo (Hilsenhoff 1987). Citado por (Sermeño Chicas, J.M. y et. al. P.15).

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 ríos. El índice se derivó del índice Saprobico de Pantle y Buck en 1955 en Alemania y del índice biótico de Chutter en 1972 en Sudáfrica. Los procedimientos para toma de muestras y su procesamiento en laboratorio, para fines del cálculo del índice de Hilsenhoff, fueron normados desde 1983, por el Departamento de Recursos Naturales del estado de Wisconsin, Estados Unidos.

En este índice hay que obtener la taxonomía completa de los macroinvertebrados bentónicos, esto a nivel de familia. Posteriormente, por cada familia se determina el puntaje de tolerancia que va de 0 a 10, siendo 0 el menos tolerante y el 10 al más tolerante. Existe una adaptación de este método para el territorio de El Salvador.

## **2.5. Índice biótico de familia adaptado a El Salvador (IBF-SV-2010)**

Según José Sermeño Chicas, et. al. En el informe *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)* describe que el índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos adaptado para El Salvador (IBF-SV-2010), tiene como base el método de cálculo, asignación de puntajes y escala

de medición, propuestos por Hilsenhoff. Esencialmente, consiste en el promedio de los puntajes de los grupos taxonómicos encontrados en cada punto o sitio de muestreo, ponderado por su abundancia relativa. De esta manera, el índice presenta dos componentes principales:

- El puntaje asignado a cada grupo de invertebrado acuático.
- La abundancia relativa de los grupos de invertebrados acuáticos encontrados.

El puntaje de los grupos de invertebrados acuáticos es un valor predeterminado que indica su tolerancia a las condiciones de perturbación (grado de sensibilidad a la contaminación del agua), siguiendo el modelo propuesto por Hilsenhoff, según el cual los valores cercanos a “0” indican baja tolerancia y los cercanos a “10” alta tolerancia a la contaminación del agua. Por otro lado, la abundancia relativa se considera como una característica propia de cada punto o sitio muestreado en los principales ríos de El Salvador y es un indicativo del nivel de perturbación.

Según el Dr. William Hilsenhoff, un simposio especial en biomonitoreo rápido en 1986, reunión de la Asociación Bentológica Norteamericana, enfatizó la necesidad de enfoques de biomonitoreo rápido en campo. Fue reconocido con el objetivo de ahorrar tiempo, aunque un grado de precisión puede ser sacrificado. Consecuentemente, Hilsenhoff adaptó el índice biótico (IB) de contaminación orgánica. En El Salvador fue adaptado este índice biológico, por lo tanto, el cuadro siguiente muestra los grados de sensibilidad a la contaminación y fue nombrado localmente IBF-SV-2010. Citado por Johanna Chávez y Erick Orantes.

El IBF es un promedio de los valores de tolerancia de todas las familias de artrópodos en una muestra. Esto no intenta ser un reemplazo para el Índice biótico (IB) y puede ser efectivamente usado en el campo solamente por biólogos quienes están suficiente familiarizados con artrópodos para poder identificar familias sin usar claves.

Tabla II. **Asignación de puntajes o grados de sensibilidad por familias**

Puntajes o grados de sensibilidad a la contaminación de las aguas	Invertebrado acuático en los ríos de El Salvador	
	Orden	Familia
0	<i>Diptera</i>	<i>Blephariceridae</i>
1	<i>Odonata</i>	<i>Corduliidae</i>
		<i>Platystictidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Glossosomatidae</i>
2	<i>Odonata</i>	<i>Cordulegasteridae</i>
	<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Calamoceratidae</i>
		<i>Lepidostomatidae</i>
		<i>Odontoceridae</i>
<i>Xiphocentronidae</i>		
3	<i>Blattodea</i>	
	<i>Coleoptera</i>	<i>Gyrinidae</i>
		<i>Lampyridae</i>
		<i>Ptilodactylidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Heptageniidae</i>
<i>Trichoptera</i>	<i>Polycentropodidae</i>	

Continuación de la tabla II.

4	<i>Bivalvia</i>	
	<i>Gastropoda</i>	<i>Hydrobiidae</i>
	<i>Coleoptera</i>	<i>Dryopidae</i>
		<i>Elmidae</i>
		<i>Hydroscaphidae</i>
		<i>Noteridae</i>
		<i>Psephenidae</i>
	<i>Hemiptera</i>	<i>Pleidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Aeshinidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydrobiosidae</i>
<i>Hydroptilidae</i>		
<i>Leptoceridae</i>		
5	<i>Acarina</i>	
	<i>Nematoda</i>	
	<i>Planaria</i>	
	<i>Amphipoda</i>	
	<i>Coleoptera</i>	<i>Hydraenidae</i>
		<i>Limnichidae</i>
		<i>Lutrochidae</i>
	<i>Collembola</i>	
	<i>Diptera</i>	<i>Dixidae</i>
		<i>Tipulidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptophlebiidae</i>
	<i>Hemiptera</i>	<i>Corixidae</i>
		<i>Gelastocoridae</i>
		<i>Mesoveliidae</i>
		<i>Nepidae</i>
		<i>Notonectidae</i>
		<i>Saldidae</i>
<i>Veliidae</i>		
<i>Lepidoptera</i>	<i>Crambidae</i>	
<i>Trichoptera</i>	<i>Helicopsychidae</i>	
	<i>Hydropsychidae</i>	
	<i>Philopotamidae</i>	

Continuación de la tabla II.

6	<i>Decapoda</i>	
	<i>Coleoptera</i>	<i>Curculionidae</i>
		<i>Scirtidae</i>
		<i>Staphylinidae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Dolichopodidae</i>
		<i>Empididae</i>
		<i>Simuliidae</i>
		<i>Stratiomyidae</i>
		<i>Tabanidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>
		<i>Leptohiphidae</i>
<i>Hemiptera</i>	<i>Gerridae</i>	
	<i>Hebridae</i>	
	<i>Naucoridae</i>	
<i>Odonata</i>	<i>Lestidae</i>	
7	<i>Hirudinea</i>	
	<i>Gastropoda</i>	<i>Planorbiidae</i>
	<i>Coleoptera</i>	<i>Dytiscidae</i>
		<i>Hydrophilidae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Caenidae</i>
	<i>Hemiptera</i>	<i>Belostomatidae</i>
		<i>Ochteridae</i>
	<i>Megaloptera</i>	<i>Corydalidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Calopterygidae</i>
<i>Gomphidae</i>		
<i>Libellulidae</i>		

Continuación de la tabla II.

8	<i>Diptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>
		<i>Chironomidae</i>
9	<i>Gastropoda</i>	<i>Physidae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Ephydridae</i>
		<i>Muscidae</i>
<i>Odonata</i>	<i>Coenagrionidae</i>	
10	<i>Oligochaeta</i>	
	<i>Diptera</i>	<i>Culicidae</i>
<i>Syrphidae</i>		

Fuente: SERMENO CHICAS, J.M. et. al. *Determinacion de la calidad ambiental...* p. 53.

### 2.5.1. Procedimiento de cálculo

Para calcular este índice, solo son utilizados organismos que requieren oxígeno disuelto como recurso vital. En este índice, a los organismos que son más sensibles a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, se les asignan bajos valores de tolerancia; por el contrario, los organismos que tienen un amplio rango de tolerancia, se les asignan valores altos (Shepard sf). Con relación al Índice biológico de Chutter para Sudáfrica en 1972; del cual deriva en parte el Índice biológico a nivel de familia (IBF); este último involucró cambios en los valores de tolerancia para la fauna local de EE.UU., además de la exclusión de algunos grupos taxonómicos (Resh & Jackson 1993). También para El Salvador, la propuesta que se explica en este trabajo científico innovador, se adaptó a las condiciones propias de las aguas de los ríos del país.

El IBF es calculado por la multiplicación del número de artrópodos en cada familia por el valor de tolerancia de esa familia, sumando los productos, y dividiendo por total de artrópodos en la muestra según la siguiente ecuación:

$$IBF = 1/ N \sum ni ti.$$

Donde:

N = número total de individuos en la muestra (estación)

ni = número de individuos en una familia (taxón i)

ti = puntaje de tolerancia de cada familia (taxón i)

El resultado es comparado con el cuadro y así se obtiene la calidad del agua y el grado de contaminación orgánica

Tabla III. **Valor IBF-SV-2010**

Valor IBF-SV-2010	Categoría	Calidad del Agua	Interpretación del grado de contaminación orgánica
0.00 - 3.75	1	Excelente	Contaminación orgánica improbable
3.76 - 4.25	2	Muy buena	Contaminación orgánica leve posible
4.26 – 5.00	3	Buena	Alguna contaminación orgánica probable
5.01 – 5.75	4	Regular	Contaminación orgánica bastante sustancial es probable
5.76 – 6.50	5	Regular pobre	Contaminación sustancial probable
6.51 – 7.25	6	Pobre	Contaminación muy sustancial probable
7.26 – 10.00	7	Muy pobre	Contaminación orgánica severa probable

Fuente: SERMEÑO CHICAS, *Determinacion de la calidad ambiental...* p. 54.





### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Como resultado de la revisión bibliográfica sobre las variables que influyen en la medición del índice biótico, es necesario establecer variables de entrada, cuyas características determinarán los resultados del índice biótico, el cual se establecen a continuación en la tabla IV.

Tabla IV. Definición de las variables

Variable	Independiente	Dependiente	Variable respuesta
Variedad taxonómica	X		
Puntuación de macroinvertebrados	X		
Número de macroinvertebrados	X		
Número de IBF-SV-2010 y EPT		X	X
DBO	X		
DQO	X		
TKN	X		
Ptot	X		
Grado de contaminación		X	X

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.1. Descripción de variables

Se describen las variables en las siguientes tablas:

Tabla V. **Descripción de variables independientes**

Variable	Descripción
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 IBF, asignada a cada una de las familias de macroinvertebrados en estudio. Esta varía entre los números 1 a 10, mientras más alto el resultado, peor es la calificación. Siendo 1 la calificación excelente y 10 muy pobre.
Número de macroinvertebrados	Es la sumatoria total de cada uno de los macroinvertebrados encontrados en los distintos puntos de muestreo.
DBO	Es la cantidad necesaria de oxígeno para degradar la materia orgánica existente en el agua. Se tomará una muestra de la misma en la laguna de estabilización para comparar con los resultados del índice biótico.
DQO	Es la cantidad necesario de oxígeno para degradar la materia orgánica e inorgánica existente en el agua. Se tomará una muestra de la misma en la laguna de estabilización para comparar con los resultados del índice biótico.

Continuación de la tabla V.

TKN	Es la suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas y el ion amonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> . Se tomará una muestra de la misma en la laguna de estabilización para comparar con los resultados del índice biótico.
Ptot	Es la suma de la concentración de fósforo en sus formas orgánicas e inorgánicas. Se tomará una muestra de la misma en la laguna de estabilización para comparar con los resultados del índice biótico.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Descripción de variables dependientes**

Variable	Descripción
Número de IBF-SV-2010	Es calculado por la multiplicación del número de artrópodos en cada familia por el valor de tolerancia de esa familia, sumando los productos, y dividiendo por total de artrópodos en la muestra.
Número de EPT	Es el número de individuos de orden <i>ephemeroptera</i> , <i>plecoptera</i> y <i>trichoptera</i> , en relación al número total de individuos recolectados. También es indicador de la contaminación orgánica del agua.
Grado de contaminación	Es el nivel de contaminación orgánica que presenta el cuerpo de agua en estudio, es el resultado de los valores de IBF-SV-2010 obtenidos en las muestras.

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación de campo de estudio

Los campos de estudio de esta investigación se dividen en cinco:

#### 3.2.1. Localización

La parte de campo se realizará en el la cooperativa Nuevo Sendero, ubicado en la aldea Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, en el departamento de Santa Rosa. Los análisis de laboratorio se realizarán en ANALAB, en las instalaciones de ANACAFE ubicado en la calle del Café, 5ta calle 0-50 zona 14, ciudad de Guatemala.

Figura 1. Localización de la laguna de oxidación



Fuente: Google Earth. Mayo 2013.

La laguna de oxidación se encuentra dentro del beneficio húmedo de café Cooperativa Nuevo Sendero, ubicado en aldea Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa,

Las coordenadas son:

- Latitud: 14° 26' 35,80" N
- Longitud: 90° 16' 39,95" O
- Elevación: 1 063 msnm

Esta laguna de oxidación recibe las aguas mieles del proceso de beneficiado, su función prácticamente es degradar la materia orgánica presente y sirve como fosa de infiltración, ya que estas no tienen ningún reuso actualmente.

### **3.2.2. Selección de la muestra**

Se seleccionarán las aguas de la laguna de estabilización de la Cooperativa Nuevo Sendero. Es una laguna de estabilización que recibe los efluentes del proceso de beneficiado del café de dicha Cooperativa.

### **3.2.3. Área de investigación**

Dentro de la ciencia de la Ingeniería Ambiental el área de enfoque de la presente investigación es la calidad del agua enfocada al estudio del efluente de la industria manufacturera de café, mediante la determinación de las condiciones de los ecosistemas acuáticos, con el fin de evaluar el potencial de reuso de los efluentes de la misma.

### **3.2.4. Campo de investigación**

Es la calidad del agua, enfocado en la supervivencia o resistencia, de los organismos acuáticos bentónicos, a las condiciones del medio que sirve como indicadores de la calidad de la misma y es el área en la que esta investigación se enfoca en determinar para evaluar su potencial de reúso.

### **3.2.5. Línea de investigación**

Es el aprovechamiento del recurso hídrico, por medio de la evaluación del potencial de reúso de aguas residuales industriales.

## **3.3. Recurso humano disponible**

- Investigador: Br. Pablo Andrés López Gomar
- Asesor: Ing. Qco. Jorge Mario Estrada Asturias
- Profesional de Anacafe: Ing. Qca. Doris Yuritza Vega
- Profesional de Anacafe: Ing. Agr. Roberto Soto

## **3.4. Recurso material disponible**

- Equipo de protección personal:
  - Botas de hule
  - Guantes de látex
- Equipo de recolección de muestras:
  - Red de muestreo tipo D (cedazo de 1mm)

- Bandejas
- Pinzas
- Recipientes de plástico con tapón hermético de 50 – 100 cc de capacidad
- Etanol al 70%
- Cámara digital
- Hojas de toma de datos
- Lupa y/o estereoscopio
- GPS
- Hielera

### **3.5. Técnica cualitativa**

El estudio que se realizará será de tipo cualitativo descriptivo. Ya que el índice biótico IBF-SV-2010 se basa en el valor de la tolerancia de cada familia. Los demás parámetros son de tipo cualitativo, que se determinarán por las características de la muestra.

### **3.6. Criterios para la selección de muestras y metodología para muestreo**

Para los parámetros fisicoquímicos, a continuación se presenta una tabla con los métodos usados en el laboratorio de ANALAB.

Tabla VII. **Métodos usados en parámetros fisicoquímicos por ANALAB**

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>
DBO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de muestras: neutralización.</li> <li>• Método: respirométrico de DBO<sub>5</sub> sin mercurio OxiTop® según EN 1889-2 para autocontrol, IS 12.</li> </ul>
DQO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de muestras: homogenización en agitador de alta velocidad (2 minutos en 5 000 rpm) y toma de la alícuota con agitación baja.</li> <li>• Método: spectroquant, test en cubetas, métodos: 14560 rango de 4 a 40 mg/l, 14541 rango de 25-1 500 mg/l y método 14555 rango de 500-10000 mg/l.</li> <li>• Referencia: Manual Spectroquant Fotómetro NOVA 60, línea Spectroquant. Sección 3: anexos. Fecha de emisión: enero, 2009. Merck, Alemania.</li> </ul>
TKN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de muestras: digestión con ácido sulfúrico a 400 °C.</li> <li>• Método: se determina nitrógeno total Kjeldahl (mg/l) por medio de digestión térmica por bloques, seguido por una destilación y posterior valoración con ácido sulfúrico 0,25 N.</li> <li>• Referencia: método de 4500-Norg C. Semi-Micro-Kjeldahl Method, de "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y aguas residuales". APHA-AWWA-APCF. 20 ed. 1998, p. 4-199.</li> </ul>
Ptot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de muestras: incineración a 500 °C y recuperación con ácido clorhídrico.</li> <li>• Método: se determina como fósforo total (mg/l) y está basada en el método del ácido ascórbico</li> <li>• Referencia: métodos normalizados para el análisis de aguas potables y aguas residuales. APHA-AWWA-APCF. Vigésima edición, 1998, p. 4-199.</li> </ul>
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de muestras: agitación lenta para asegurar homogenización.</li> <li>• Método: basado en el método potenciométrico del 4500-H<sup>+</sup> B "pH Value, Electrometric Method", "en <i>Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater</i>, American PublicHealth Association, USA, Washington, DC 2005, 19th ed. 1995, 4-65.4-69.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.



Previo a la salida al campo para realizar los muestreos será necesario efectuar los preparativos, tales como:

- Preparar los materiales y equipo necesario que se utilizará durante el muestreo: red D, pinzas, pinceles, hielera, etanol al 70 %, frascos plásticos de aproximadamente 50-100 cc de capacidad.
- Elaborar en la oficina, previo a la salida al campo; tarjetas de identificación en papel de aproximadamente 5 X 2,5 cm., en la cual se anotarán los datos siguientes (escritos con tinta indeleble): fecha de muestreo (día, mes y año), nombre del río o lugar de la laguna de estabilización, punto o código del sitio a muestrear, tipo de muestreo (red "D"), número de muestra. Ver el formato en la tabla VIII, a continuación:

Tabla VIII. **Formato de tarjetas de identificación de muestras**

Fecha de muestreo	
Nombre del lugar	
Punto o código del sitio	
Tipo de muestreo	
Numero de submuestra	

Fuente: elaboración propia.

Estas tarjetas de identificación se imprimirán, y con cinta adhesiva transparente se pegarán a los envases. Se dispondrá de medio litro de etanol al 70 % por cada muestra, aproximadamente.

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

Se hizo algunos cambios, ya que es para una laguna de estabilización y no un río<sup>5</sup>. Por lo tanto, el presente estudio genera un procedimiento estándar de operación SOP, por sus siglas en inglés, lo que abre la posibilidad de darle seguimiento a la acreditación de un sistema de calidad.

- Selección del sitio: un sector representativo, en este caso la laguna de estabilización. Debe ser de fácil acceso, de preferencia tomar en cuenta todos los posibles microhabitat, que se especificarán a continuación:

Agrupación: los diferentes microhabitat 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 durará 15 minutos utilizando la red tipo D, recorriendo el tramo del río, en este caso en la laguna de oxidación, durante el mismo lapso y muestreando todos los posibles microhabitats. Es decir, 3 minutos para cada corrida. Los especímenes se preservarán en etanol al 70 % para su posterior identificación.

---

<sup>5</sup> El protocolo BMWP-CR es el mismo que se usará, pero el cálculo se enfocará al índice IBF-SV-2010.

- Especificaciones de los muestreos: durante el tiempo que durará el muestreo, se recorrerá con la red tipo D la laguna de oxidación, colocando la red en cada microhabitat 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 colocarán en una bandeja plana (de fondo blanco). Los organismos se colocarán en un recipiente con etanol al 70 %, etiquetando el recipiente con las tarjetas de identificación mencionadas anteriormente.
- Puntos de muestreo: podrán ser ubicados en cualquier punto del río que cumpla 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. En este caso, por ser una laguna de oxidación pequeña, se escogerán diferentes puntos cumpliendo lo anterior mencionado. Para que el muestreo sea representativo se realizará lo siguiente:
  - Tres muestreos, al inicio de la cosecha, en el intermedio de la cosecha, y al final de la cosecha.
  - Tomar cinco muestras en la laguna en cada etapa de la cosecha, haciendo un total de 15 muestras.
  - Dos tipos de muestras: la primera los macroinvertebrados acuáticos recolectados con la red “D” en cada punto de muestreo, la otra, los frascos para cada parámetro físicoquímico, que serán

determinados a nivel de campo y de laboratorio. Por lo que en total serán tomadas 30 muestras.

- Las muestras para todos los análisis se tomarán en el mismo momento.

### 3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Para realizar la recolección y ordenamiento de la información, es necesario tener hojas de toma de datos o formatos para su posterior procesamiento. A continuación, en la tabla IX se presentan los formatos planteados:

Tabla IX. **Hoja de toma de datos de campo**

Parámetros		Muestreos a realizar		
		A inicio de la cosecha	A media cosecha	A final de la cosecha
		(Noviembre)	(Enero)	(Marzo)
DBO (mg/L)	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
DQO (mg/L)	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
TKN	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			

Continuación de la tabla IX.

Fósforo total	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
pH	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Recolección de datos de familias obtenidas por muestra**

Fecha muestra:			
Número de muestra:			
Orden	Familia	Puntaje	Abundancia

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 de la laguna de oxidación según su calidad: El IBF-SV-2010 asigna puntuaciones de tolerancia a la contaminación a las familias de macroinvertebrados acuáticos, esta puntuación fue multiplicada por la abundancia de individuos de dicha familia y posteriormente se dividió entre el número total de individuos recolectados en ese punto de muestreo, para finalmente sumar todos los valores obtenidos para cada familia, mientras más alto el resultado, peor fue la calificación. 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 IBF-SV-2010 y el EPT de las especies obtenidas con respecto al total de especies, como se muestra en la tabla XI, a excepción del  $\text{DBO}_5$ , DQO, TKN,  $\text{P}_{\text{tot}}$  y pH, que son variables independientes y se obtienen directamente del laboratorio.

Tabla XI. **Formato de muestreos**

Parámetros		Muestreos a realizar		
		A inicial de la cosecha	A media cosecha	Al final de la cosecha
		(Noviembre)	(Enero)	(Marzo)
DBO (mg/L)	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
Promedio				
DQO (mg/L)	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
Promedio				
TKN	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
Promedio				
Fósforo total	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
Promedio				
pH	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
Promedio				

Continuación de la tabla XI.

IBF	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
Promedio				
EPT	C1			
	C2			
	C3			
	C4			
	C5			
Promedio				

Fuente: elaboración propia.

### 3.9. Análisis estadístico

Para determinar el número promedio de corridas se utilizará la siguiente fórmula:

$$\bar{C} = \frac{\sum C_i}{n}$$

Donde:

$\bar{C}$ : promedio de corridas

$C_i$ : corridas

n: número total de corridas

Para determinar el número óptimo de corridas se utilizó el diseño completamente aleatorizado (DCA).



El número de repeticiones es función de la probabilidad de éxito, la cual está relacionada con la confiabilidad del experimento, y el error estimado; estos términos se relacionan mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 PQ}{E^2}$$

Donde:

N: número de corridas

$Z_{\alpha/2}$ : confiabilidad

P: probabilidad de éxito

Q: probabilidad de fracaso (1 – P)

E: error estimado

Se espera obtener una probabilidad del éxito del 95 %, al reducir el error sistemático estimado a un 20 %, la probabilidad del fracaso será del 5 % y la confiabilidad de 1,96. De esta forma, el número de corridas corresponde a:

$$N = \frac{(1,96)^2 * 0,95 * 0,05}{0,20^2}$$

$$N = 4,56 = 5 \text{ corridas}$$



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo fueron los siguientes:

- Fondo de la laguna
- Estrato superficial

### 4.2. Resultados de parametros fisicoquímicos

A continuacion, en la tabla XII se presentan los datos tabulados de los muestreos realizados para los parámetros fisicoquímicos.

Tabla XII. **Resultados de parámetros fisicoquímicos**

Parámetros		Muestreos realizados		
		Al inicio de la cosecha (Noviembre)	A media cosecha (Enero)	Al final de la cosecha (Marzo)
DBO (mg/L)	C1	6650	23100	13500
	C2	10250	24000	18000
	C3	11500	24500	36000
	C4	18800	19600	14400
	C5	20580	52500	9000
Promedio		13556	28740	18180
DQO (mg/L)	C1	29000	46985	27350
	C2	18425	56765	39400
	C3	17875	33950	71700
	C4	30450	28250	39700

Continuacion de la tabla XII.

	C5	33600	199700	14440
Promedio		25870	73130	38510
TKN	C1	122	15	98
	C2	54	20	50
	C3	43	550	68
	C4	49	330	24
	C5	88	60	16,8
Promedio		71,2	195	51,36
Fósforo total	C1	47,4	23,2	67,42
	C2	33,6	33,6	106,2
	C3	19,98	32,64	175,7
	C4	77,4	29,6	107,2
	C5	42,4	105,3	0,1
Promedio		44,16	44,87	91,32
pH	C1	5,95	4,37	4,92
	C2	5,02	4,40	4,99
	C3	5,09	5,09	4,79
	C4	5,01	5,10	4,89
	C5	4,93	4,97	7,06
Promedio		5,20	4,79	5,33

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. Listado de familias obtenidas en los respectivos muestreos

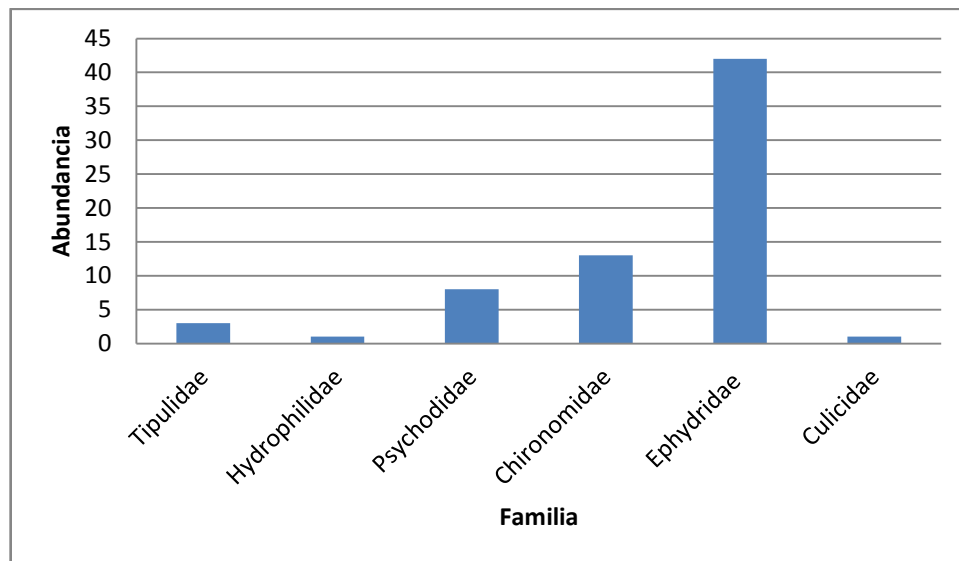
A continuacion se presentan los datos tabulados de cada una de las familias de macroinvertebrados recolectados en su respectivo muestreo, para cada una de las epocas del año.

Tabla XIII. **Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 en inicio de cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Tipulidae</i>	5	3	15
<i>Coleoptero</i>	<i>Hydrophilidae</i>	6	1	6
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	8	56
	<i>Chironomidae</i>	8	13	104
	<i>Ephydriidae</i>	9	42	378
	<i>Culicidae</i>	10	1	10
Sumatorias			68	569

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 en inicio de cosecha**



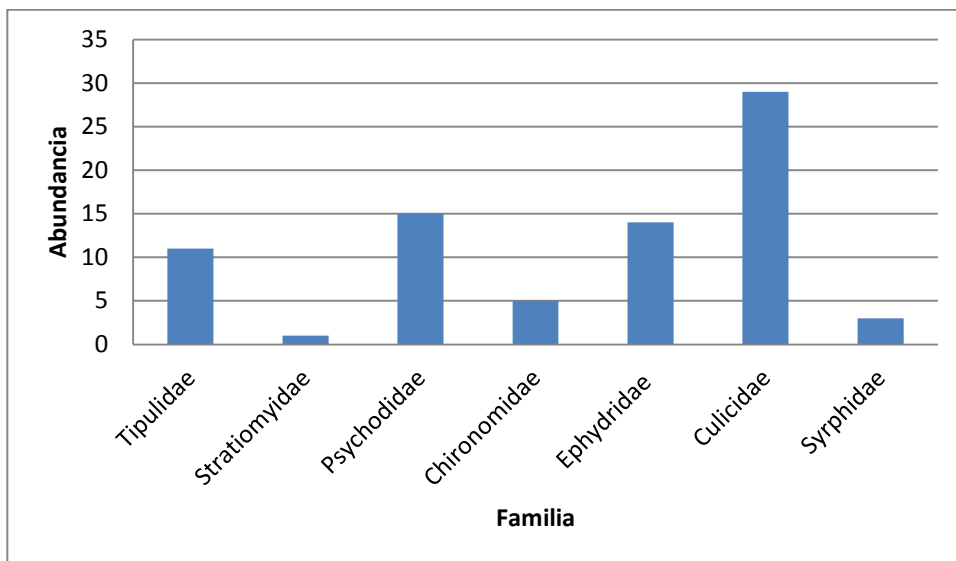
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 en inicio de cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Tipulidae</i>	5	11	55
	<i>Stratiomyidae</i>	6	1	6
	<i>Psychodidae</i>	7	15	105
	<i>Chironomidae</i>	8	5	40
	<i>Ephydriidae</i>	9	14	126
	<i>Culicidae</i>	10	29	290
	<i>Syrphidae</i>	10	3	30
Sumatorias			78	652

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 en inicio de cosecha**



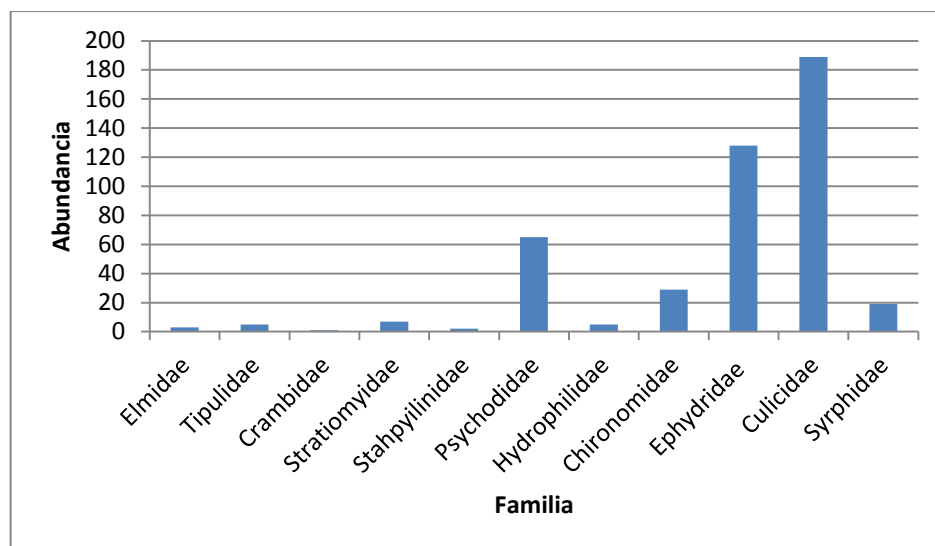
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 en inicio de cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Coleoptero</i>	<i>Elmidae</i>	4	3	12
<i>Diptera</i>	<i>Tipulidae</i>	5	5	25
<i>Lepidoptera</i>	<i>Crambidae</i>	5	1	5
<i>Diptera</i>	<i>Stratiomyidae</i>	6	7	42
<i>Coleoptero</i>	<i>Stahpylinidae</i>	6	2	12
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	65	455
<i>Coleoptero</i>	<i>Hydrophilidae</i>	7	5	35
<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	8	29	232
	<i>Ephydriidae</i>	9	128	1152
	<i>Culicidae</i>	10	189	1890
	<i>Syrphidae</i>	10	19	190
Sumatorias			453	4050

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 en inicio de cosecha**



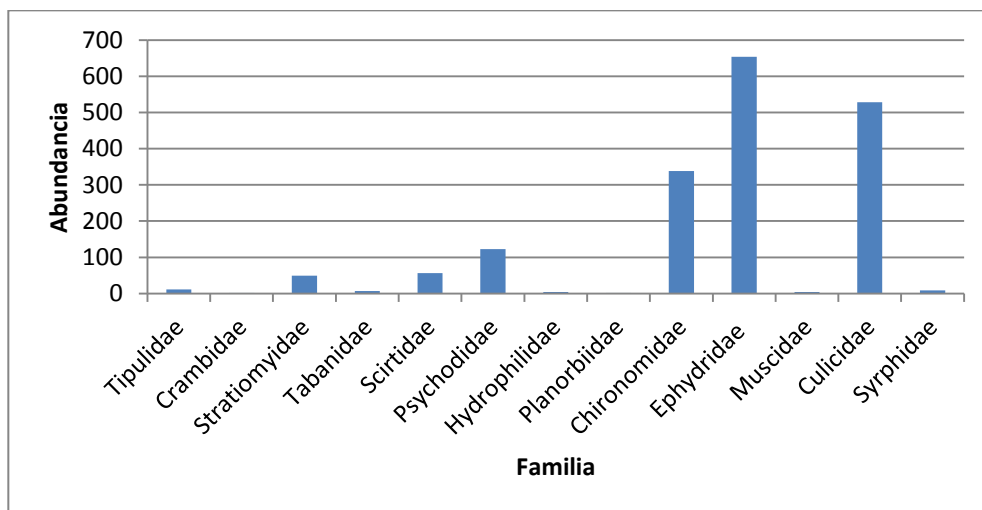
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 en inicio de cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Tipulidae</i>	5	11	55
<i>Lepidoptera</i>	<i>Crambidae</i>	5	2	10
<i>Diptera</i>	<i>Stratiomyidae</i>	6	49	294
	<i>Tabanidae</i>	6	7	42
<i>Coleoptero</i>	<i>Scirtidae</i>	6	56	336
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	123	861
<i>Coleoptero</i>	<i>Hydrophilidae</i>	7	4	28
<i>Gastropoda</i>	<i>Planorbiidae</i>	7	2	14
<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	8	338	2704
	<i>Ephydriidae</i>	9	654	5886
	<i>Muscidae</i>	9	4	36
	<i>Culicidae</i>	10	528	5280
	<i>Syrphidae</i>	10	9	90
Sumatorias			1787	15636

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 en inicio de cosecha**



Fuente: elaboración propia.

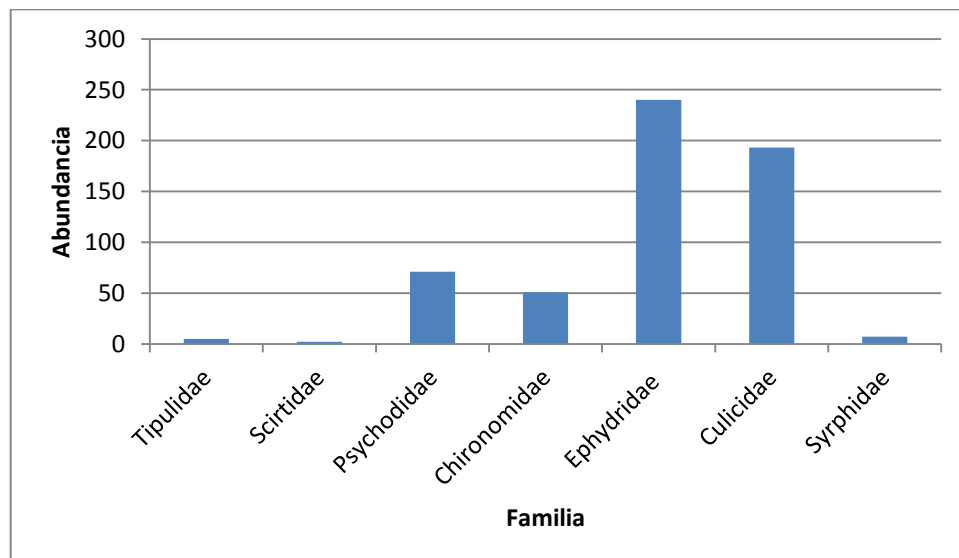


Tabla XVII. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 en inicio de cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Tipulidae</i>	5	5	25
<i>Coleoptero</i>	<i>Scirtidae</i>	6	2	12
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	71	497
	<i>Chironomidae</i>	8	51	408
	<i>Ephydriidae</i>	9	240	2 160
	<i>Culicidae</i>	10	193	1 930
	<i>Syrphidae</i>	10	7	70
Sumatorias			569	5 102

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 en inicio de cosecha**



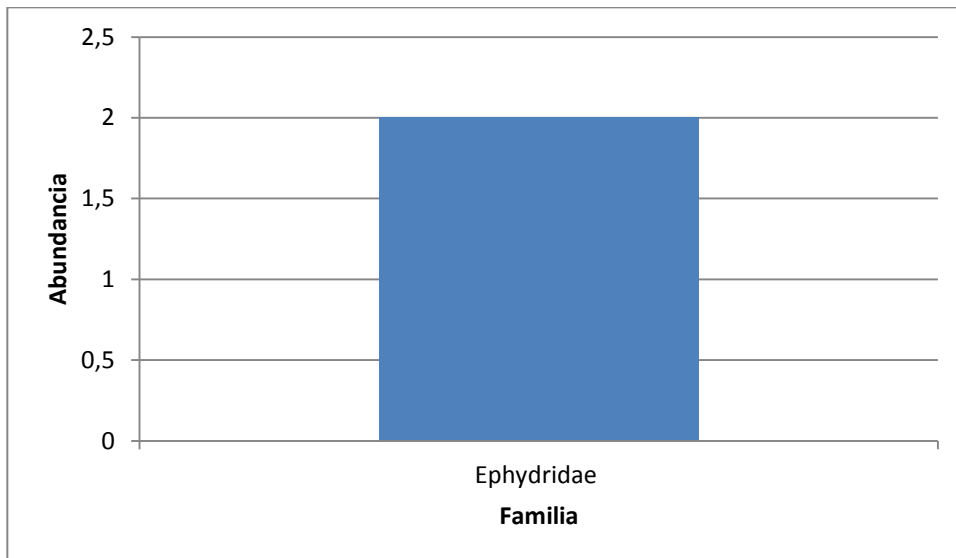
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 a media cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Ephydridae</i>	9	2	18
Sumatorias			2	18

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 a media cosecha**



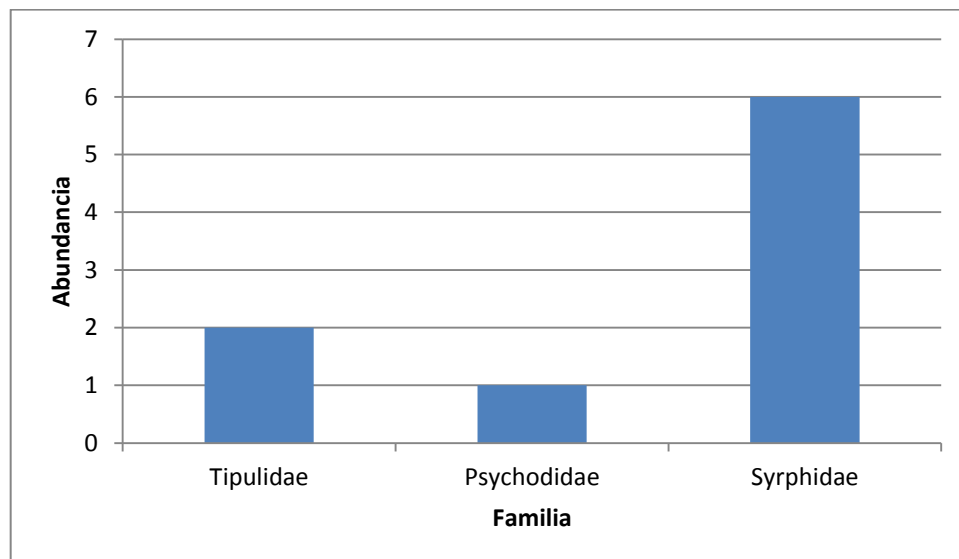
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 a media cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Tipulidae</i>	5	2	10
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	1	7
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	10	6	60
Sumatorias			9	77

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 a media cosecha**



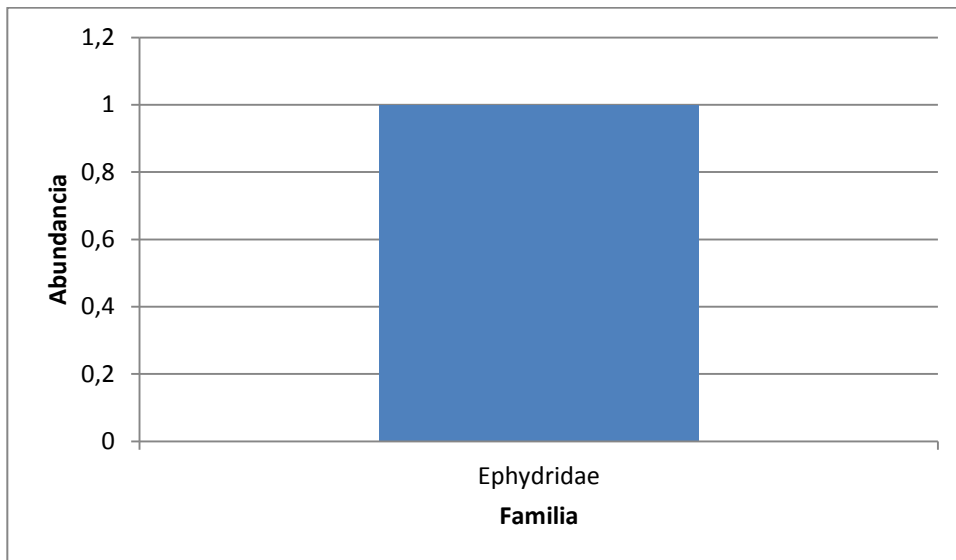
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 a media cosecha**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Abundancia</b>	<b>n*t</b>
Diptera	Ephydridae	9	1	9
Sumatorias			1	9

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 a media cosecha**



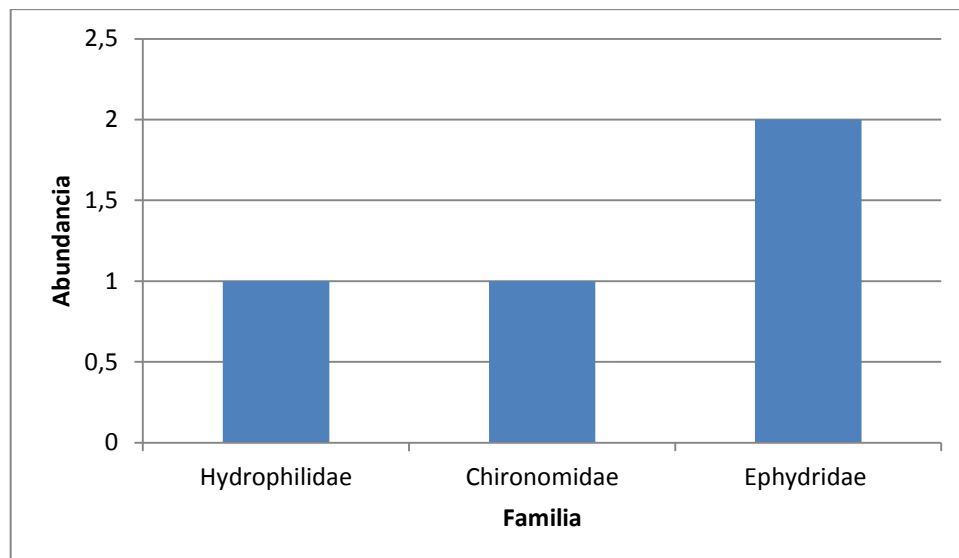
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 a media cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Coleoptero</i>	<i>Hydrophilidae</i>	7	1	7
<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	8	1	8
<i>Diptera</i>	<i>Ephydriidae</i>	9	2	18
Sumatorias			4	33

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 a media cosecha**



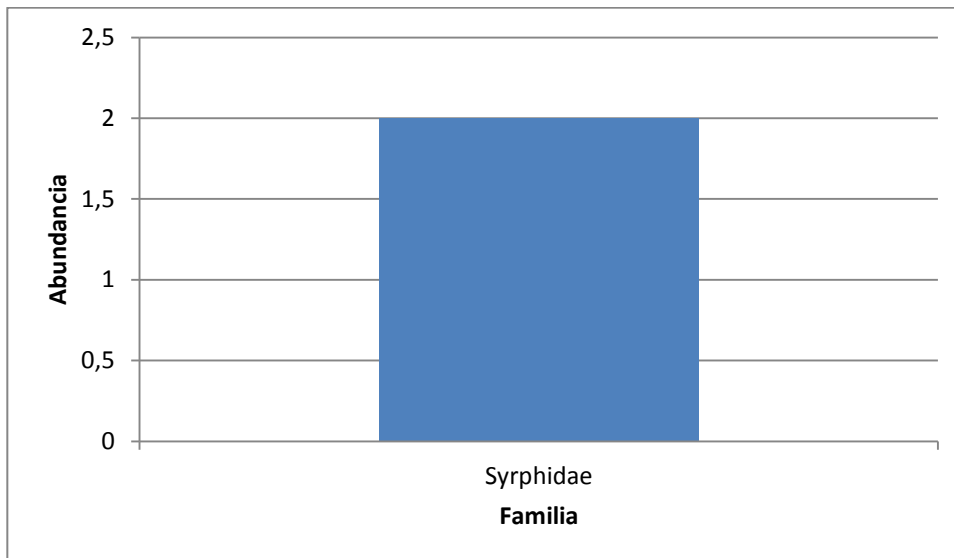
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 a media cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	10	2	20
Sumatorias			2	20

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 a media cosecha**



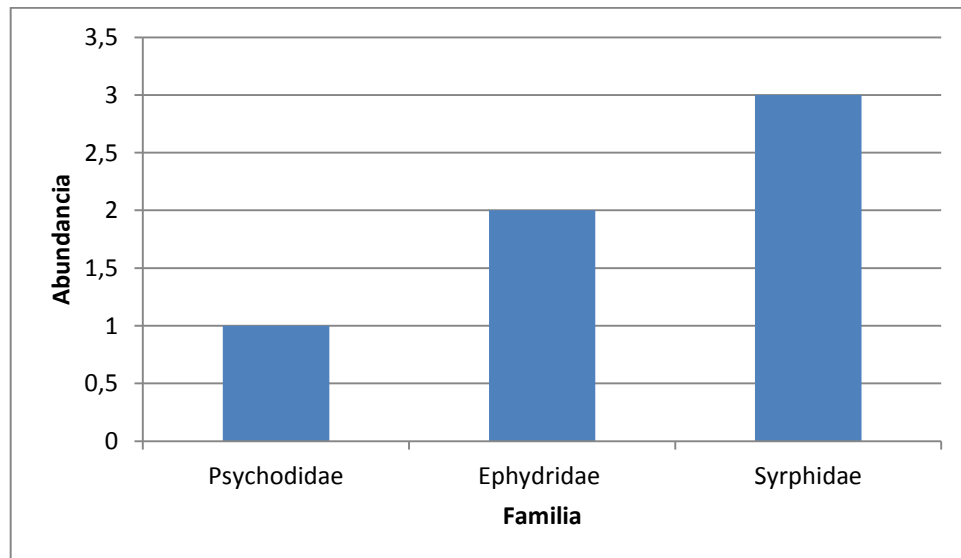
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 al final de la cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	1	7
<i>Diptera</i>	<i>Ephydriidae</i>	9	2	18
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	10	3	30
Sumatorias			6	55

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 1 al final de la cosecha**



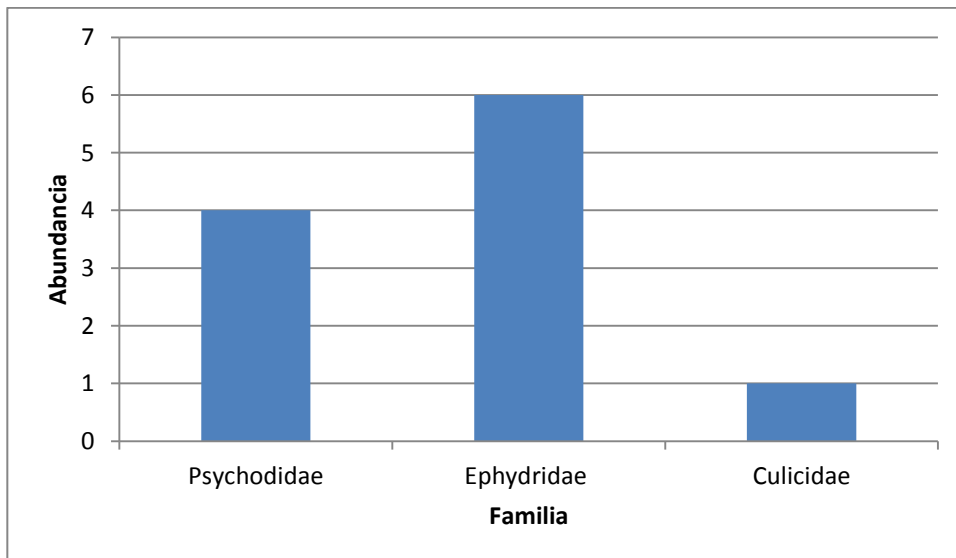
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 al final de la cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	4	28
<i>Diptera</i>	<i>Ephydriidae</i>	9	6	54
<i>Diptera</i>	<i>Culicidae</i>	10	1	10
Sumatorias			11	92

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con draga núm. 2 al final de la cosecha**



Fuente: elaboración propia.

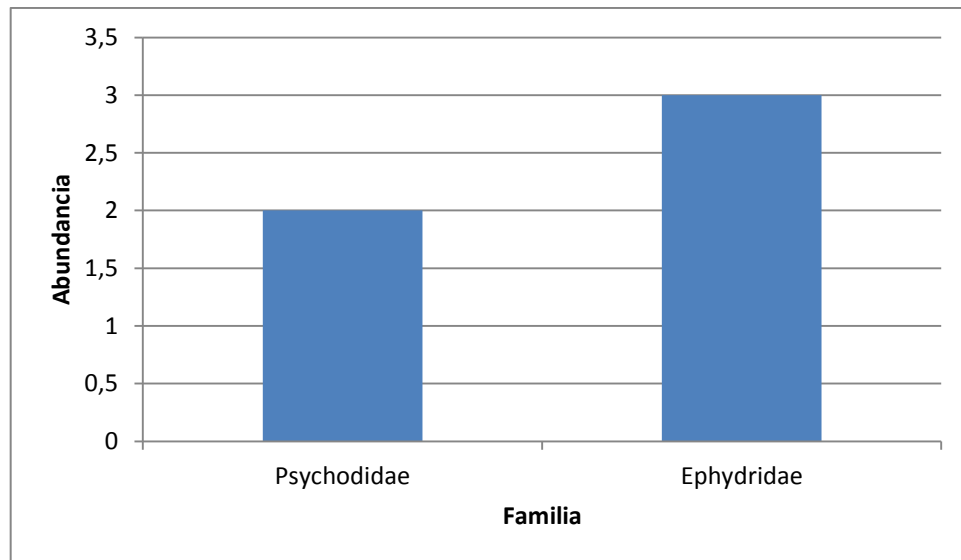


Tabla XXV. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 al final de la cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	2	14
<i>Diptera</i>	<i>Ephydriidae</i>	9	3	27
Sumatorias			5	41

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 1 al final de la cosecha**



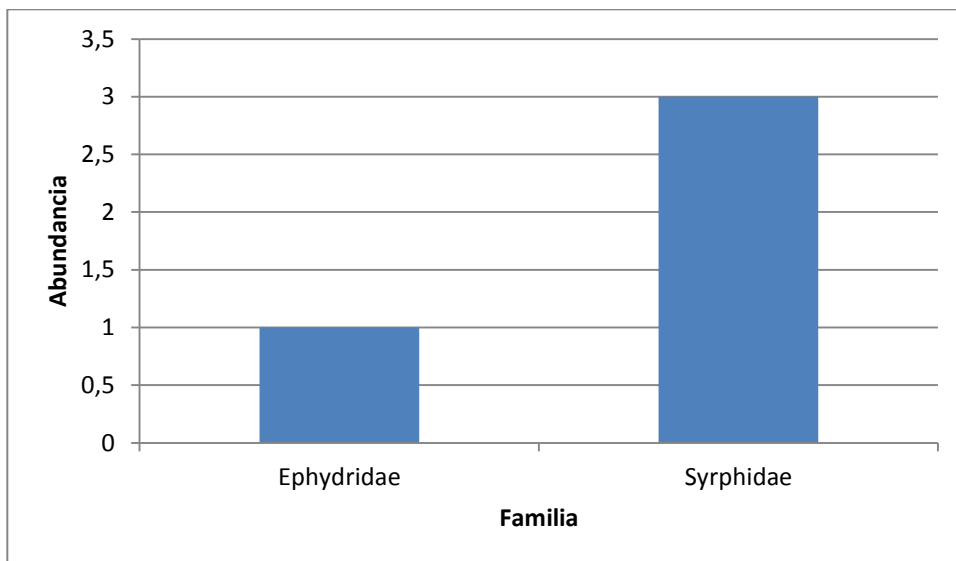
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 al final de la cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Ephydridae</i>	9	1	9
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	10	3	30
Sumatorias			4	39

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 2 al final de la cosecha**



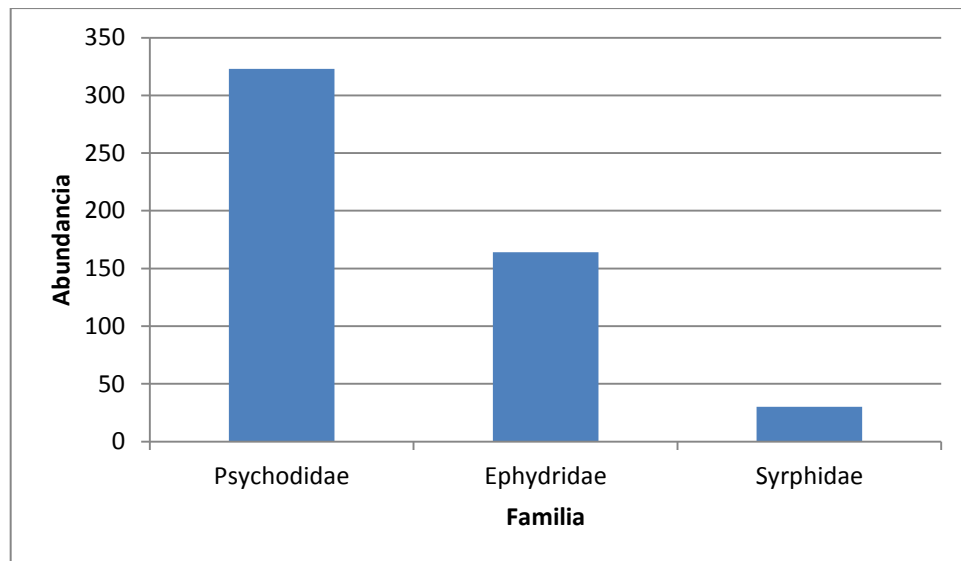
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 al final de la cosecha**

Orden	Familia	Puntaje	Abundancia	n*t
<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	7	323	2261
<i>Diptera</i>	<i>Ephydriidae</i>	9	164	1476
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	10	30	300
Sumatorias			517	4037

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Abundancia de familias obtenidas para muestreo con red núm. 3 al final de la cosecha**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Resultados de las muestras

A continuación, en las tablas XXVIII, XXIX, XXX y XXXI se presentan los resultados obtenidos de las muestras recolectadas anteriormente.

Tabla XXVIII. **Resultados del número IBF para cada muestra en inicio de cosecha**

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Número IBF-SV</b>	<b>Calidad del agua</b>	<b>Categoría</b>	<b>Interpretación del grado de contaminación orgánica</b>
Draga 1	8,37	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Draga 2	8,36	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 1	8,94	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 2	8,75	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 3	8,97	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Resultados del número IBF para cada muestra en pico de cosecha**

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Número IBF-SV</b>	<b>Calidad del agua</b>	<b>Categoría</b>	<b>Interpretación del grado de contaminación orgánica</b>
Draga 1	9	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable

Continuación de la tabla XXIX.

Draga 2	8,56	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 1	9	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 2	8,25	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 3	10	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Resultados del número IBF para cada muestra en el final de cosecha**

Punto de muestreo	Número IBF-SV	Calidad del agua	Categoría	Interpretación del grado de contaminación orgánica
Draga 1	9,17	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Draga 2	8,36	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 1	8,2	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 2	9,75	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable
Red 3	7,81	Muy pobre	7	Contaminación orgánica severa probable

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Tabla resumen del promedio de los parámetros obtenidos por época de muestreo**

<b>Parámetro/época</b>	<b>Inicio</b>	<b>Pico</b>	<b>Final</b>
Numero IBF-SV-2010	8,6	8,9	8,7
% EPT	0	0	0
DBO (mg/L)	13556	28740	18180
DQO (mg/L)	25870	73130	38510
TKN	71,2	195	51,36
Fósforo total	44,16	44,87	91,32
pH	5,20	4,79	5,33

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron 15 muestreos durante la época de cosecha en el beneficio de café Nuevo Sendero las que se subdividieron en 3 etapas: el inicio, el pico y el final de la cosecha; obteniendo especímenes de macroinvertebrados, los cuales fueron clasificados e identificados según sus familias respectivas. De igual manera, se realizaron muestreos para medir parámetros fisicoquímicos. A partir de aquí, cada muestra fue analizada con el índice biótico IBF-SV-2010 y el índice EPT, posteriormente se observó que no se encontró ningún macroinvertebrado de las órdenes *ephemeroptera*, *plecoptera* ni *trichoptera* como para medir este último índice.

Para los muestreos de macroinvertebrados se recomendó utilizar dos métodos de muestreos, uno con la red tipo "D" descrito en la metodología y otro que no se describió que fue con una draga. La draga se deja caer hasta que tope el fondo y recoge una muestra equivalente a 1 kg. El fundamento del porqué utilizarla es, que los lodos son basicamente de residuos del café en los cuales habitan macroinvertebrados y, aunque usar ambos métodos no era el objetivo de esta investigación, era necesario para determinar los índices bioticos en general.

En la primera etapa de muestreo (inicio de cosecha), se obtuvo un promedio del número IBF-SV-2010 de 8.6, siendo el valor mas bajo 8,36 y el mas alto 8,94, según el indice el valor de la categoría es 7, al cual se le asigna color rojo, siendo indicadores de una contaminación orgánica severa probable y calidad del agua muy pobre.

A pesar de la contaminación orgánica se encuentran familias con un puntaje de 4, el coleóptero elmidae; otra familia con puntaje de 5, el díptero tipulidae y el lepidoptera crambidae, familias ligeramente sensibles. La abundancia de estos en el agua realmente es muy baja, indicando que en algún momento la laguna se llegó a estabilizar, permitiendo el crecimiento de estas familias.

En esta etapa se cuantificaron en total 3 023 macroinvertebrados de 13 familias y 4 órdenes diferentes, lo cual es bastante alto en comparación con las demás etapas que posteriormente se describirán.

En la segunda etapa del muestreo (pico de cosecha), se obtuvo un promedio del número IBF-SV-2010 de 8,9, siendo el valor más bajo 8,25 y el más alto 10. La categoría por ende, muestra un valor de 7 y color rojo, con una contaminación orgánica severa probable y la calidad del agua muy pobre. En el pico de la cosecha cabe mencionar que el agua residual de la laguna tiene un pH muy ácido, de 4,79 en promedio, y debido a los altos valores de contaminación orgánica (DBO) la población de macroinvertebrados es muy reducida, así como la variedad taxonómica. En esta etapa se encuentra el puntaje más alto de 10 de la familia de los sírfidos (*Diptera Syrphidae*) y muy pocos de la familia tipulidae con un puntaje 5, siendo estos los más sensibles que se encontraron.

En esta etapa se cuantificaron en total 18 macroinvertebrados de 5 familias y 2 órdenes diferentes. Es notorio en esta etapa que, la disminución de población, así como de variedad taxonómica es sumamente importante, ya que indica que hay muy poca biodiversidad.



Por último, en la tercera etapa (final de cosecha), se obtuvo un promedio del número IBF-SV-2010 de 8.7, siendo el valor más bajo de 7,81 y el más alto 9,75. La categoría no varía al igual que en las etapas anteriores, ya que muestra un valor de 7 y color rojo, con una contaminación orgánica severa probable y calidad del agua muy pobre.

Si se observan los datos de la tabla XXXI, el indicador empieza a disminuir. Estas últimas muestras fueron tomadas en las primeras lluvias de mayo donde la laguna, luego de haberse evaporado gran cantidad de agua, ahora recibe agua pluvial, lo cual ayuda para la estabilización de la misma, por el efecto de dilución. Por ello, en el último muestreo se cuantificó la mayor cantidad de macroinvertebrados. En total se cuantificaron 543 macroinvertebrados de 4 diferentes familias y 1 orden.

La adaptación de los dos índices bióticos utilizados para esta laguna de estabilización no dio el resultado esperado para el índice EPT, ya que no se encontró ninguna especie de las familias ephemeroptera, plecoptera ni trichoptera. Sin embargo, el índice IBF-SV-2010 que fue adaptado a Guatemala específicamente a dicha laguna, no tuvo alguna diferencia en cuanto a las especies indicadoras, lo que quiere decir que se adapta a las especies existentes en este territorio.

Cabe resaltar que los niveles de calidad del agua se mantuvieron como se esperaba según el crecimiento del beneficiado de café, que desde el inicio se encontraba el agua con mejor calidad en comparación con las demás etapas donde se ve que hay la mayor cantidad de macroinvertebrados, seguido de la etapa final. En el pico de la cosecha el número IBF-SV-2010 alcanza el valor más alto que está justificado por la cantidad de agua residual proporcional a la cantidad de quintales procesados en el beneficio.

Por otro lado, según el AG 236-2006, la definición de la palabra reúso es el aprovechamiento de un efluente, tratado o no. Con base en ello se guiará para determinar el reúso del agua residual. En este caso, el agua de la laguna es un efluente tratado y dadas las condiciones del tratamiento y la viabilidad económica de hacer un reúso más adecuado el reglamento en el artículo 34 se analiza para reúso general y pastos y otros cultivos.

El parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el inicio se tuvo de 13556 mg/l, en el pico de 28740 mg/l y en el final 18180 mg/l. Los valores son muy altos, pero el reglamento no tiene un LMP para este parámetro. De igual forma para el nitrógeno total y fósforo total se obtienen concentraciones altas en comparación con los LMP que establece el reglamento para otros reúsos que no aplican aquí.

Los resultados de nitrógeno son: 71,2 mg/l al inicio, 195 mg/l en el pico y 51,36 mg/l al final. Para el fósforo son: 44,16 mg/l al inicio, 44,87 mg/l en el pico y 91,32 al final. Los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos medidos son significativos, y según el AG 236-2006, las aguas de reúso deberían de cumplir los límites máximos permisibles del artículo 35; sin embargo, para el reúso más apropiado, que sería los del tipo I y tipo IV, pastos y otros cultivos y riego agrícola en general, respectivamente, no existe una restricción en cuanto a los parámetros medidos para la aplicación en estos, a excepción de las que en el reglamento indique.

Todos estos resultados tienen cierta varianza significativa, entre unos y otros muestreos, que reflejan una contaminación orgánica sensible en el ecosistema acuático. Los parámetros fisicoquímicos muestran datos puntuales y no reflejan el comportamiento global del ecosistema acuático; sin embargo, los índices bióticos, sí reflejan este comportamiento, pero los parámetros

fisicoquímicos no pueden ser relacionados con los índices bióticos, ya que no existe un índice que los relacione. En este caso, se utilizaron para poder complementar la mejor forma de reuso.



## CONCLUSIONES

1. Se determinó que el agua de la laguna de oxidación del beneficio es de mala calidad, porque los valores de los parámetros sobrepasan los límites máximos permisibles, según los establecidos en los artículos 24 y 35 del reglamento de aguas residuales.
2. El índice EPT no es adecuado para la investigación de la macrobiota de dicha laguna, mientras que el IBF-SV-2010 si se adaptó dadas las familias encontradas.
3. Se determinó que la variedad taxonómica es dependiente de la cosecha, porque entre más café se procesa hay un efluente con mayor contaminación y viceversa.
4. Por medio del índice IBF-SV-2010 se determinó que el agua residual donde se desarrolló este tema de investigación, es de mala calidad; esto obedece porque se obtuvo un número cercano al límite máximo, siendo este valor de 10.
5. El potencial de reúso se determinó que debe orientarse más al tipo I y al tipo IV, según lo establece el AG 236-2006, bajo la salvedad que este tipo de agua sea procesada por una planta de tratamiento de agua residual similar o igual a la correspondiente donde se realizó este trabajo de investigación.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar el agua al inicio y al final de la cosecha, ya que es la que menor contaminación orgánica posee.
2. El agua residual del beneficiado del café es tema para efectuar futuros trabajos que permitan mejorar su condición de reúso.
3. El IBF-SV-2010 es un índice biótico apropiado para realizar estudios de aguas residuales en beneficios de café; sin embargo, no se descarta que el índice EPT pueda ser útil en otra región del país.
4. Fomentar el estudio de macroinvertebrados para investigar el reúso más apropiado de los efluentes de los beneficios de café, como un método eficaz de indicadores de la calidad del agua.
5. Para estudiar un reúso agrícola más apropiado, es importante comparar parámetros de riego con el estudio de la FAO *“La calidad del agua en la agricultura”* riego y drenaje núm. 29.





## BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE, et al. *Manual de buenas prácticas para cosecha y beneficio húmedo de café de calidad*. Proyecto de Café para Centroamérica. 2a ed. 2008. Nicaragua: 2008, 47 p.
2. ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab, departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Tesis de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 83 p.
3. *Beneficio húmedo del café*: [en línea].  
<[www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura\\_BeneficiadoHuedo](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura_BeneficiadoHuedo)> [Consulta: junio de 2013].
4. \_\_\_\_\_. [en línea].  
<[anacafe.org/glifos/index.php?title=El\\_beneficiado\\_humedo\\_cafe](http://anacafe.org/glifos/index.php?title=El_beneficiado_humedo_cafe)> [Consulta: junio de 2013].
5. *Bioindicación*: [en línea].  
<[www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n60ne/Bio-agua.pdf](http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n60ne/Bio-agua.pdf)> [Consulta: junio de 2013].
6. \_\_\_\_\_. [en línea].  
<[www.slideshare.net/jaimeviana/macroinvertebrados-bentonicos-como-bioindicadores-de-contami1](http://www.slideshare.net/jaimeviana/macroinvertebrados-bentonicos-como-bioindicadores-de-contami1)> [Consulta: junio de 2013].

7. \_\_\_\_\_. [en línea].  
<[www.espe.edu.ec/portal/files/E-evSerZoologicaNo2/BolTec6SerZool\(2\)/GiamettiyBersosa\\_33.pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/E-evSerZoologicaNo2/BolTec6SerZool(2)/GiamettiyBersosa_33.pdf)>  
[Consulta: junio de 2013].
8. \_\_\_\_\_. [en línea].  
<[www.uea.edu.ec/jspui/bitstream/biblioteca/56/1/TESIS%20DE%20LUIS%20MIGUEL.pdf](http://www.uea.edu.ec/jspui/bitstream/biblioteca/56/1/TESIS%20DE%20LUIS%20MIGUEL.pdf)> [Consulta: junio de 2013].
9. \_\_\_\_\_. [en línea].  
<[intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/MC506/Docs%20complementarios/Usode%20macroinvertebrados%20bent%C3%B3nicos.pdf](http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/MC506/Docs%20complementarios/Usode%20macroinvertebrados%20bent%C3%B3nicos.pdf)> [Consulta: junio de 2013].
10. CHÁVEZ SIFONTES, Johanna María; ORANTES GUERRERO, Erick Eduardo. *Reconocimiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como alternativa para determinar la calidad del agua del Río Sensunapán, Departamento de Sonsonate, El Salvador*; C.A. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. 2010. 113 p.
11. DUCHE CHULCO, Luis Miguel. *Determinación de los índices de calidad de agua en el río Churuyacu por medio de bioindicadores, caracol dulceacuícola churuamazónico (Pomacea sp.) posterior a la instalación del complejo turístico D'marcos, cantón Pastaza, provincia de Pastaza*. Tesis de Ing. Ambiental. Universidad Estatal Amazónica. Postaza, Ecuador. 2012. 89 p.

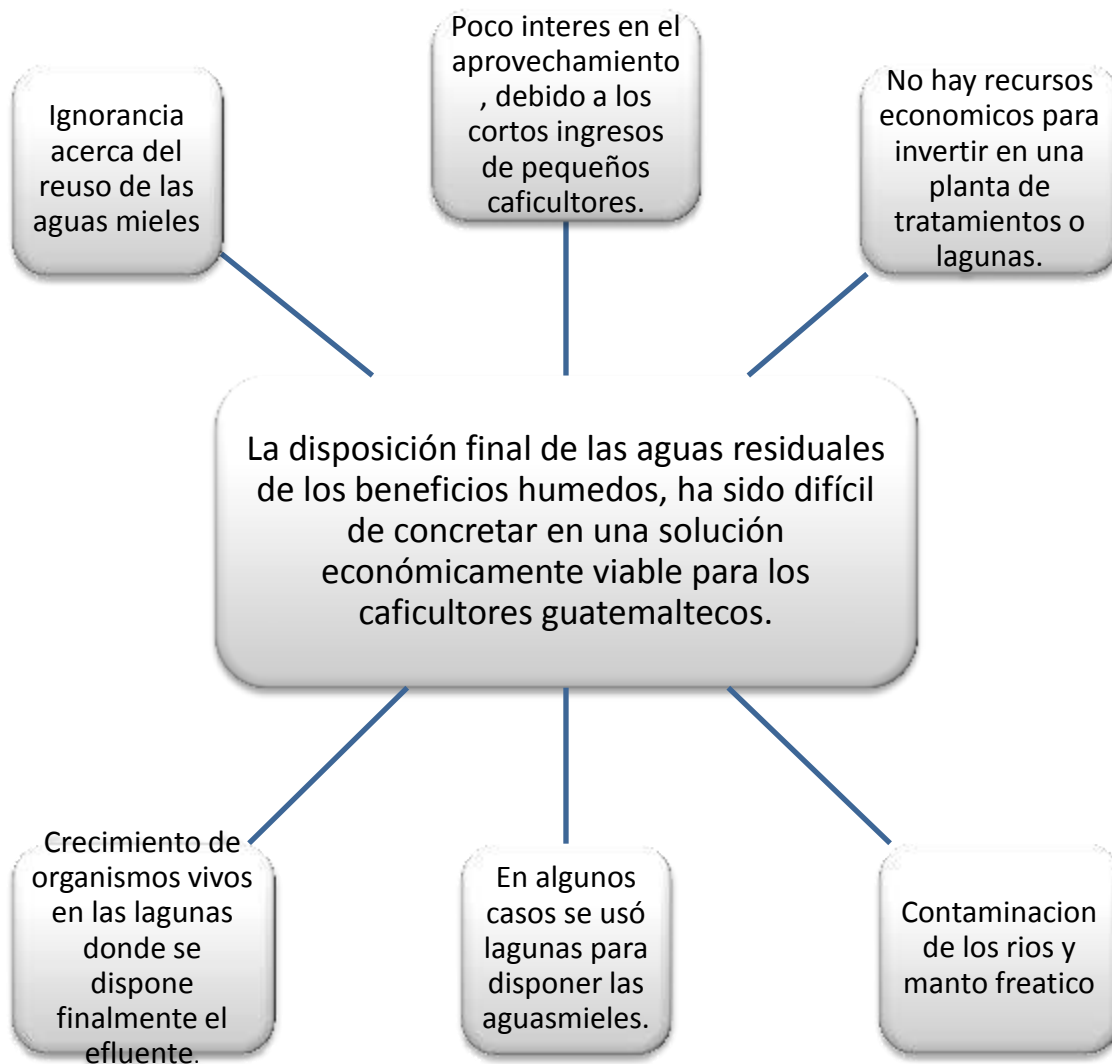
12. ESPINOSA QUINTEROS, Rodrigo. *Determinación de la correlación entre la producción a procesar y la dosis óptima de tres materiales para el tratamiento de aguas mieles de un beneficio húmedo tecnificado de café, según la ley vigente*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 167 p.
13. ESTRADA ASTURIAS, Jorge Mario. Apuntes de clase del curso: Calidad del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2012. Documentos no publicados.
14. Guatemala. *Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos*. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. 24 p.
15. *Índices biológicos*: [en línea].  
<[www.emagister.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indices-biologicos-calidad-aguas](http://www.emagister.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indices-biologicos-calidad-aguas)> [Consulta: junio de 2013].
16. *Índices de diversidad*: [en línea].  
<[www.emagister.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indices-diversidad-2-2](http://www.emagister.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indices-diversidad-2-2)> [Consulta: junio de 2013].
17. *Índices bióticos*: [en línea].  
<[www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm#Trent](http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm#Trent)> [Consulta: junio de 2013].
18. 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). En: Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). San Salvador, El Salvador Editorial Universitaria UES. 2010. 43 p.*

19. VEGA MONTENEGRO, Doris Yuritz. *Evaluación del transporte de nutrientes y materia orgánica a través del subsuelo y en el flujo de agua de la fosa de infiltración de un beneficio húmedo de café, ubicado en la aldea San Antonio Chacayá. Santiago Atitlán, Sololá.* Trabajo de graduación de Ing Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 532 p.

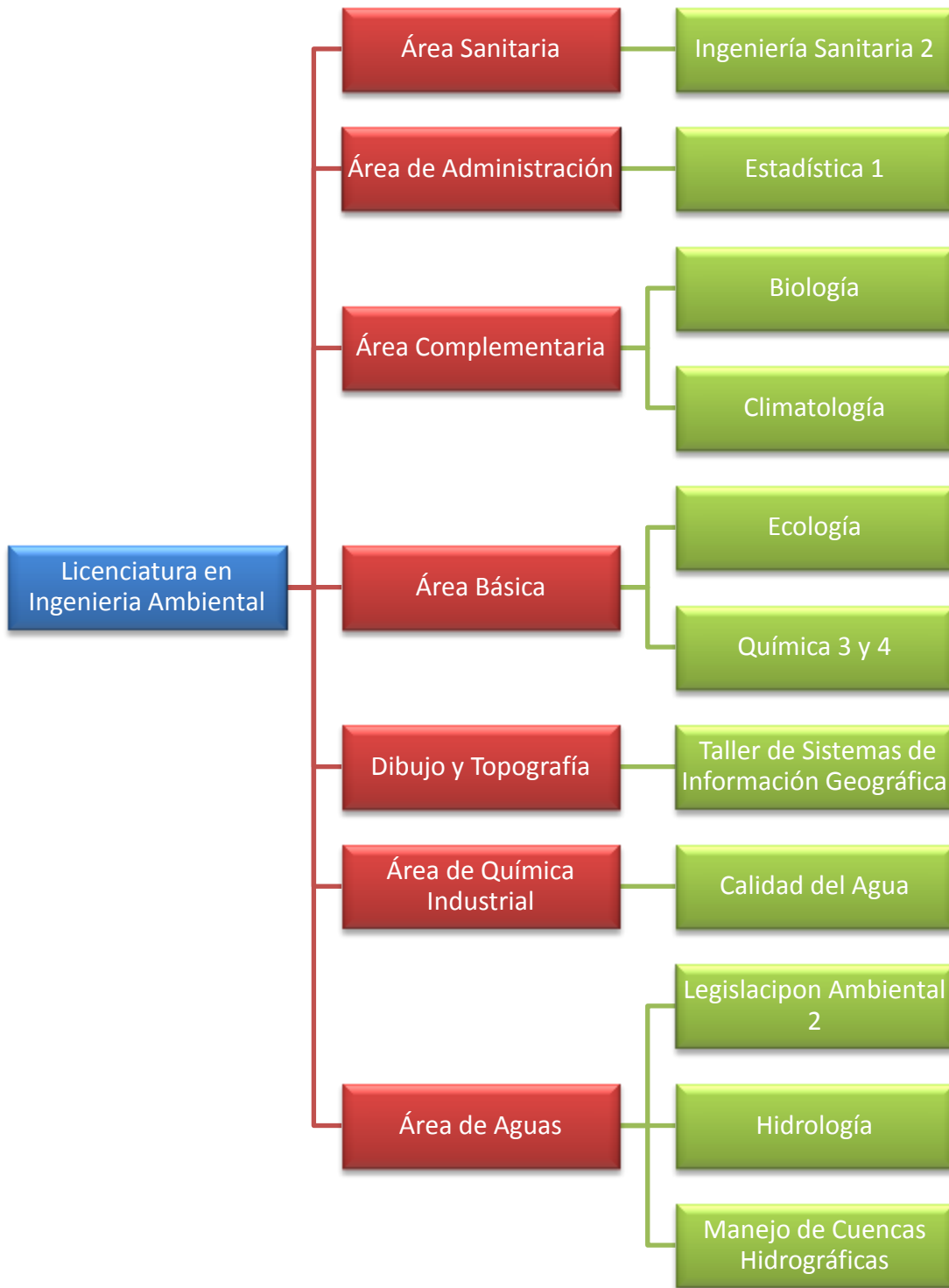
## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Tabla de requisitos académicos**



Apéndice 3. **Muestreos en la laguna de oxidación del beneficio húmedo Nuevo Sendero**



Fuente: laguna de oxidación, Beneficio Nuevo Sendero.

**Análisis de macroinvertebrados en laboratorio**







Fuente: Laboratorio de ANALAB – ANACAFE.

Apéndice 4. **Familias de macroinvertebrados más comunes obtenidas en los muestreos**





	<p><i>Diptera Tipulidae</i> (IBF-SV-2010 = 5) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Lepidoptera Crambidae</i> (IBF-SV-2010 = 5) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Diptera Stratiomyidae</i> (IBF-SV-2010 = 6) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Diptera Tabanidae</i> (IBF-SV-2010 = 6) Fuente: Área de experimentación</p>



Continuación del Apéndice 4.

	<p><i>Coleoptero Scirtidae</i> (IBF-SV-2010 = 6) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Diptera Psychodidae</i> (IBF-SV-2010 = 7) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Coleoptero Hydrophilidae</i> (IBF-SV-2010 = 7) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Gastropoda Planorbiidae</i> (IBF-SV-2010 = 7) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Diptera Chironomidae</i> (IBF-SV-2010 = 8) Fuente: Área de experimentación</p>

Continuación del Apéndice 4

	<p><i>Diptera Ephydridae</i> (IBF-SV-2010 = 9) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Diptera Muscidae</i> (IBF-SV-2010 = 9) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Diptera Culicidae</i> (IBF-SV-2010 = 10) Fuente: Área de experimentación</p>
	<p><i>Diptera Syrphidae</i> (IBF-SV-2010 = 10) Fuente: Área de experimentación</p>

Fuente: elaboración propia, con la colaboración del laboratorio de ANALAB-ANACAFE.