



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

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE UN  
BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ, LOCALIZADO EN SAN JUAN LA LAGUNA, SOLOLÁ**

**William Antonio Xil Barrios**

Asesorado por el Ing. José Manuel Tay Oroxom

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE UN  
BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ, LOCALIZADO EN SAN JUAN LA LAGUNA, SOLOLÁ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**WILLIAM ANTONIO XIL BARRIOS**

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MANUEL TAY OROXOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert de León Morales
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



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

---

Guatemala, 14 mayo de 2012

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Universidad de San Carlos de Guatemala

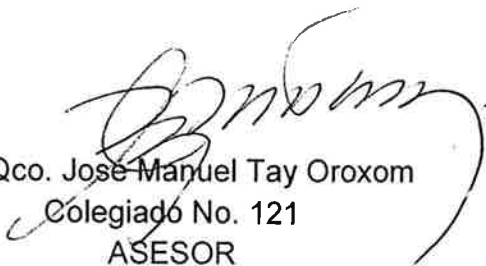
Ingeniero Álvarez:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del Trabajo de Graduación, del estudiante WILLIAM ANTONIO XIL BARRIOS, con carné 2006-15041, el cual se titula: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE UN BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ, LOCALIZADO EN SAN JUAN LA LAGUNA, SOLOLÁ.**

En base a lo anterior, lo someto a su consideración a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación.

Sin otro motivo particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

  
Ing. Qco. Jose Manuel Tay Oroxom  
Colegiado No. 121  
ASESOR

JOSE MANUEL TAY O.  
INGENIERO QUÍMICO  
CARNÉ No. 121

---

PROGRAMA DE INGENIERÍA  
QUÍMICA ACREDITADO POR

Agencia Centroamericana de Acreditación de





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

Guatemala, 06 de agosto de 2012  
Ref. EI.Q.TG-IF.036.2012

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-150-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **William Antonio Xil Barrios**

Identificado con número de carné: **2006-15041**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.


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

### EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE UN BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ, LOCALIZADO EN JUAN LA LAGUNA, SOLOLÁ

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **José Manuel Tay.**

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

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



ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo





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

Ref.EIQ.TG.157.2012

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, **WILLIAM ANTONIO XIL BARRIOS** titulado: "**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE UN BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ, LOCALIZADO EN SAN JUAN LA LAGUNA, SOLOLÁ**". 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, octubre de 2012

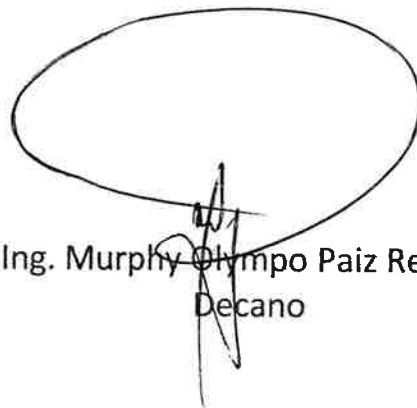
Cc: Archivo  
VMMV/ale



DTG. 525.2012

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 DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE UN BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ, LOCALIZADO EN SAN JUAN LA LAGUNA, SOLOLÁ,** presentado por el estudiante universitario **William Antonio Xil Barrios,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 18 de septiembre de 2012.

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme el regalo de la vida, por su amor y gracia.
<b>Mis padres</b>	Por ser la parte más importante de mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Por acompañarme con lealtad por el camino de la vida.
<b>Mis familiares</b>	Por su cariño y comunión.
<b>Mis amigos</b>	Quienes han sido el complemento perfecto para disfrutar cada actividad de mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Quién es digno, y a quién debo toda la gloria.
<b>Mi familia</b>	Por brindarme el apoyo necesario para lograr mis metas.
<b>Mis amigos</b>	Quienes con su amistad han dado vida al camino por dónde he transitado.
<b>Ing. José Manuel Tay</b>	Por el apoyo profesional brindado en el asesoramiento del trabajo de graduación, y por sus enseñanzas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.
<b>Ing. Roberto Soto</b>	Por la oportunidad y apoyo para realizar la investigación en el trabajo de graduación.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser el lugar en dónde se me dieron las oportunidades educativas para el desarrollo profesional.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme las opciones educativas para el desarrollo profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS/HIPÓTESIS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Aguas residuales .....	3
2.1.1. Definición y origen .....	3
2.1.2. Características de calidad .....	4
2.1.2.1. Características físicas .....	5
2.1.2.2. Características químicas .....	6
2.1.3. Generación de olores .....	8
2.1.4. Principales contaminantes en las aguas residuales .....	9
2.1.5. Efectos causados por los contaminantes presentes en las aguas residuales .....	11
2.1.6. Caracterización del agua residual .....	12
2.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	13
2.2.1. Niveles de tratamiento .....	13
2.2.1.1. Tratamiento preliminar .....	13
2.2.1.2. Tratamiento primario .....	14
2.2.1.3. Tratamiento secundario .....	16

2.2.1.4.	Tratamiento terciario.....	18
2.3.	Caracterización física y química del grano de café .....	19
2.3.1.	Qué es el mucílago.....	21
2.3.2.	El pergamino del café .....	21
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Tipo de estudio.....	23
3.1.1.	Universo de estudio y selección de muestra .....	23
3.1.1.1.	Población de estudio .....	23
3.1.2.	Selección de la muestra .....	24
3.1.3.	Determinación de la calidad del agua de lavado de café.....	24
3.1.4.	Elección de los puntos de muestreo .....	25
3.2.	Recurso humano disponible .....	27
3.3.	Recurso material disponible .....	27
3.3.1.	Equipo de medición en campo .....	27
3.3.2.	Material de muestreo.....	27
3.4.	Técnica cuantitativa y cualitativa .....	28
3.5.	Recolección y ordenamiento de la información .....	29
3.5.1.	Muestreos simples.....	29
3.5.2.	Procedimiento para recolección de muestras.....	30
3.5.2.1.	Recipientes para toma de muestras .....	30
3.5.2.2.	Parámetros de medición en campo .....	30
3.5.2.3.	Determinación de caudal de agua residual .....	31
3.5.2.4.	Obtención de resultados de análisis de laboratorio.....	31
3.5.2.5.	Procedimientos para garantizar aspectos éticos en la investigación.....	31

3.6.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información ....	32
3.6.1.	Eficacia global y de las unidades individuales del sistema de tratamiento.....	32
3.6.2.	Tablas de ordenamiento de datos.....	34
3.7.	Análisis estadístico .....	37
3.7.1.	Valor promedio.....	37
3.7.2.	Desviación estándar .....	37
3.8.	Plan de análisis de resultados .....	38
3.8.1.	Herramientas tecnológicas para creación de base de datos .....	38
3.8.2.	Análisis computacional de datos.....	39
3.8.3.	Representación gráfica.....	40
4.	RESULTADOS .....	41
4.1.	Caracterización de las aguas mieles del procesamiento de café.....	41
4.1.1.	Caudal diario promedio generado.....	41
4.1.2.	Cal agregada en la neutralización.....	41
4.1.3.	Calidad del agua de lavado de café.....	42
4.1.4.	Resultados de mediciones <i>in situ</i> en los puntos del sistema de tratamiento.....	43
4.1.5.	Relaciones DQO/DBO5 y N/P en los puntos del sistema de tratamiento.....	45
4.1.6.	Concentración de DQO, N total, P total y sólidos en los puntos del sistema de tratamiento.....	46
4.2.	Eficacias del sistema de tratamiento .....	48
4.2.1.	Eficacia global del sistema de tratamiento .....	48
4.2.2.	Eficacia a través de las unidades del sistema de tratamiento .....	50

4.2.2.1.	Eficacia en reducción de DQO.....	50
4.2.2.2.	Eficacia en reducción de N total .....	50
4.2.2.3.	Eficacia en reducción de P total.....	51
4.2.2.4.	Eficacia de remoción, en el punto 2 del sistema de tratamiento en proceso estacionario.....	52
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	55
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES .....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	APÉNDICES.....	67
	ANEXOS.....	89

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Puntos de muestreo en el sistema de tratamiento.....	26
2.	Diagrama de flujo del diseño preliminar de investigación.....	28
3.	Formato básico para representación gráfica de eficacias.....	40
4.	Límites máximos permitidos y valores reales de los parámetros físicoquímicos del agua de lavado de café.....	42
5.	Gráfico de DQO/DBO5 en los puntos del sistema de tratamiento.....	45
6.	Gráfico de N/P en los puntos del sistema de tratamiento.....	46
7.	Gráfico de concentración promedio de DQO en los puntos del sistema de tratamiento.....	47
8.	Gráfico de concentración promedio de N y P en los puntos del sistema de tratamiento.....	47
9.	Gráfico de concentración promedio de sólidos totales en los puntos del sistema de tratamiento.....	48

### TABLAS

I.	Principales contaminantes del agua.....	9
II.	Efectos causados por contaminantes en el agua residual.....	11
III.	Distribución porcentual de las estructuras principales del café en cereza (en base seca).....	19
IV.	Contenido de otros compuestos en la pulpa del café.....	20

V.	Composición química del mucílago del fruto del café.....	20
VI.	Utilización de los parámetros medidos en los puntos del sistema de tratamiento.....	33
VII.	Ordenamiento de datos, relación DQO/DBO en distintos puntos del SDT.....	34
VIII.	Ordenamiento de datos, relación de nutrientes en distintos puntos del SDT.....	35
IX.	Ordenamiento de datos, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, sedimentables y disueltos totales en los tanques de sedimentación.....	35
X.	Ordenamiento de datos, sólidos suspendidos totales, sedimentables y disueltos totales en los tanques de sedimentación y parámetros de medición <i>in situ</i> .....	36
XI.	Ordenamiento de datos, eficacia global del SDT de AM en reducción de concentración de materia orgánica, nutrientes, grasas y aceites.....	36
XII.	Parámetros de calidad del agua de lavado de café.....	42
XIII.	Resultados de mediciones <i>in situ</i> de la primera semana de muestreo.....	43
XIV.	Resultados de mediciones <i>in situ</i> de la segunda semana de muestreo.....	44
XV.	Resultados de mediciones <i>in situ</i> de la tercera semana de muestreo.....	44
XVI.	Eficacia global del sistema de tratamiento para una semana de operación.....	49
XVII.	Eficacia global del sistema de tratamiento para un día de operación.....	49

XVIII.	Eficacia en reducción de DQO, a través del tiempo en proceso continuo.....	50
XIX.	Eficacia en reducción de N total, a través del tiempo en proceso continuo.....	51
XX.	Eficacia en reducción de P total, a través del tiempo en proceso continuo.....	52
XXI.	Eficacia de remoción de la DQO y DBO5 en el sedimentador, en proceso estacionario.....	52
XXII.	Eficacia de remoción del nitrógeno y fósforo totales en el sedimentador, en proceso estacionario.....	53
XXIII.	Eficacia de remoción de sólidos en el sedimentador, en proceso estacionario.....	53





## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
$x_i$	Mediciones
ml	Mililitros
$n$	Número de muestras
T	Temperatura
$\bar{x}$	Valor promedio de las mediciones



## GLOSARIO

<b>Agua miel</b>	Agua que se obtiene del beneficiado húmedo de café.
<b>Agua residual</b>	Aquellas aguas que han recibido un uso y cuyas cualidades han sido modificadas.
<b>Beneficiado húmedo de café</b>	Proceso en el que se utiliza agua y gravedad para remover las capas exteriores del grano y simultáneamente lo clasifica.
<b>Cal</b>	Óxido de calcio.
<b>Caracterización</b>	La determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.
<b>Caracterización de aguas residuales</b>	Programa de muestreo, de mediciones <i>in situ</i> y evaluación de análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados.
<b>Carga</b>	Relación entre caudal y concentración de un parámetro específico.

<b>Caudal promedio</b>	Promedio de los caudales diarios en un período determinado.
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)</b>	Cantidad de oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones determinadas en tiempo y temperatura.
<b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>	Cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua.
<b>Desviación estándar (S)</b>	Medida de la dispersión de una serie de datos respecto de un valor promedio.
<b>Eficacia de tratamiento</b>	Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.
<b>Fósforo (P)</b>	Elemento químico con número atómico quince, de la tabla periódica de los elementos.
<b>Materia flotante (MFlot)</b>	Material visible sobre la superficie del agua residual.

<b>Muestra simple</b>	La muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.
<b>Muestreo de aguas residuales</b>	Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.
<b>Nitrógeno (N)</b>	Elemento químico con número atómico siete, de la tabla periódica de los elementos.
<b>Nutriente</b>	Cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales.
<b>Potencial de hidrógeno (pH)</b>	Medida de la concentración de hidrógeno disuelto en el agua.
<b>Sistema de tratamiento (SDT)</b>	Procesos que permiten la depuración de aguas residuales.
<b>Sólidos totales (ST)</b>	Material sólido que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de agua.

<b>Sólidos totales disueltos (STD)</b>	Cantidad de sólidos disueltos contenidos en una cantidad de agua.
<b>Sólidos totales suspendidos (STS)</b>	Cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión.
<b>Tanque de oxidación (TdeOx)</b>	Etapa del sistema de tratamiento de aguas residuales en donde se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica.

## RESUMEN

Como resultado de la investigación descriptiva se caracterizaron las aguas mieles del procesamiento de café de un beneficio húmedo, describiéndose los parámetros fisicoquímicos a través de las unidades del sistema de tratamiento, la eficacia global del mismo y de las unidades individuales. Dichos resultados se obtuvieron como consecuencia de un muestreo que tomó cuatro semanas, tiempo durante el cual se tomaron muestras simples de cada punto del sistema, para determinar los parámetros de calidad del agua residual, según lo establecen los incisos 1, 3 al 10 del Acuerdo Gubernativo 12-2011, analizadas en el laboratorio de agua de Anacafé.

Además se realizaron mediciones *in situ* en cada muestreo, en donde se verificó pH, temperatura y materia flotante, así como un análisis fisicoquímico del agua utilizada para el procesamiento de café, lo que corroboró que el aporte contaminante inicial del agua de procesamiento no es significativo para los valores de los parámetros del agua miel.

Finalmente, se calcularon tres valores de eficacia globales, dos de ellos en sistema continuo y otro en sistema estacionario, lo cual reflejó que se obtienen valores mayores de eficacia para una semana de tiempo de retención en las unidades del sistema de tratamiento.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la eficacia del esquema del sistema de tratamiento de aguas mieles de un beneficio húmedo de café seleccionado en la cuenca del lago de Atitlán.

### **Específicos**

1. Caracterizar fisicoquímica y volumétricamente las aguas residuales del proceso de beneficiado húmedo de café.
2. Evaluar los parámetros de calidad del agua, mencionados en el artículo 10 incisos 1 y 3 al 9, del Acuerdo Gubernativo 12-2011, a la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas mieles.
3. Determinar las unidades críticas del sistema de tratamiento de acuerdo a un análisis cualitativo y cuantitativo, en la entrada y salida, de los parámetros de calidad del agua.
4. Determinar la eficacia de la unidades críticas del sistema de tratamiento de aguas mieles.

# HIPÓTESIS

## **Hipótesis científica**

La eficacia del esquema de tratamiento de aguas mieles del beneficio húmedo Cooperativa La Voz que Clama en el Desierto, en las condiciones actuales de operación es constante.

## **Hipótesis estadística**

### **Nula**

No es eficaz el esquema del sistema de tratamiento de aguas mieles del beneficio húmedo Cooperativa La Voz que Clama en el Desierto, bajo las condiciones actuales de operación.

### **Alterna**

Es eficaz el esquema del sistema de tratamiento de aguas mieles del beneficio húmedo Cooperativa La Voz que Clama en el Desierto, bajo las condiciones actuales de operación.

## INTRODUCCIÓN

Se estima que el café se cultiva en 2,5% del territorio de Guatemala, y que representa el 40 por ciento de los ingresos generados por exportaciones agrícolas, convirtiéndolo así en uno de los principales productos de exportación del país. El café cultivado se procesa en beneficios húmedos, los cuales reciben este nombre porque utilizan un proceso húmedo para lograr la eliminación de la pulpa y del mucílago (mezcla de azúcares, sustancias pépticas y celulosa), del grano del café para su posterior secado.

Para inicio del 2011, cuatro de los veintiún beneficios húmedos de la cuenca del lago de Atitlán cuentan con un sistema de tratamiento de aguas mieles, mientras que los demás disponen sus aguas en fosas de absorción-evaporación en donde parte del agua se infiltra en el suelo, mientras que otra se evapora.

En el procesamiento del grano de café se generan dos corrientes de residuos, la parte sólida (pulpa, del despulpado) y la parte líquida con sólidos, que son las aguas mieles. En la mayoría de los casos los residuos líquidos se disponen en lagunas de infiltración-evaporación, mientras que en otros casos se cuenta con sistemas de tratamiento que comprenden la neutralización, sedimentación, oxidación y posterior filtrado.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y la Asociación Nacional del Café (Anacafé), partes involucradas, muestran interés en evaluar dos aspectos importantes en esta situación. El primer aspecto, tema del presente estudio, es la evaluación de la eficacia del esquema del sistema de tratamiento (SDT) de aguas mieles (AM) de los beneficios húmedos de la cuenca del lago de Atitlán.

Este trabajo de graduación comprende la evaluación de la eficacia del sistema de tratamiento con el que cuenta un beneficio húmedo de café, para esto se realizaron mediciones tanto de caudal y tiempo de retención en las unidades del sistema. Y se tomaron muestras de calidad del agua a la entrada y salida, así como a través de las diferentes unidades del SDT, para determinar la eficacia de las unidades individuales así como la eficacia global en reducción de los parámetros indicados en la normativa. Éstos son los que se indican en el artículo 10, incisos 1, 3 al 9 del Acuerdo Gubernativo 12-2011 del Reglamento de descargas de aguas residuales de la cuenca del lago de Atitlán.

La fase experimental se llevó a cabo en el beneficio húmedo con el sistema de tratamiento más usual, el beneficio Cooperativa La Voz que Clama en el Desierto, ubicado en el municipio de San Juan la Laguna, Sololá. Durante la cosecha que comprende desde diciembre de 2010 hasta finales de febrero de 2011. El esquema de tratamiento de aguas mieles de este beneficio comprende la neutralización, sedimentación y tanques de oxidación, en ese orden.

Para completar el contexto, el otro aspecto de interés del MARN y Anacafé, y que es parte de otro estudio de investigación, es determinar el efecto de la disposición de las aguas mieles, por parte de los beneficios que no cuentan con un SDT en fosas de absorción, y si se lleva allí una descomposición completa del material orgánico.

## 1. ANTECEDENTES

En estudios previos se evaluaron la eficacia en reducción de parámetros químicos y biológicos en plantas de tratamiento de aguas residuales, tanto de reducción de sustancias químicas como de carga orgánica.

Se presentan a continuación algunos de los estudios relacionados con este estudio.

- En 2008 Urzúa N., Flor presenta los resultados de su investigación en el de trabajo de graduación Determinación de la eficacia de la planta de tratamiento de agua residual de Estanzuela, Zacapa, en este estudio se comparó la eficacia en temporada seca y lluviosa, y se concluyó que la planta no cumplía con la reglamentación adecuada, por lo tanto su funcionamiento es ineficaz.
- Cobas, Domingo S. y Romanovski P., Olga realizaron un estudio de Impacto de los residuos del beneficio húmedo del café en la provincia de Guantánamo, Cuba. En el estudio se estableció el impacto en suelos y ecosistemas acuáticos, además se propone una tecnología adecuada para aumentar la eficacia de los sistemas de tratamiento de residuos.

- En 1997, Vásquez, Rolando realizó un estudio descriptivo acerca de la situación en Manejo de efluentes en el beneficiado del café en Costa Rica, en éste se presentó una valorización de los subproductos así como una descripción de las modificaciones que han llevado a cabo los beneficios húmedos para reducir la contaminación.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Aguas residuales**

Se muestran a continuación las generalidades de las aguas residuales.

#### **2.1.1. Definición y origen**

Existen varias maneras de definir al agua residual, por ejemplo, según al Acuerdo Gubernativo 12-2011 es aquella que ha recibido un uso y cuyas cualidades han sido modificadas.

- Las aguas residuales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, etc.
- Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.



De acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- Domésticas: las utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.).
- Industriales: son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- Infiltración y caudal adicionales: las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza.
- Pluviales: agua de lluvia que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

### **2.1.2. Características de calidad**

A continuación se describen las principales características de calidad del agua.

### **2.1.2.1. Características físicas**

Se mencionan a continuación las propiedades más importantes.

- **Turbiedad**

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia.

La eliminación de la turbiedad se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, asentamiento y filtración.

- **Conductividad**

Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio).

- **Color**

El color de las aguas residuales oscila del gris al negro y cuánto más oscuro más contaminada. En forma cualitativa, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección.

### 2.1.2.2. Características químicas

Se describen a continuación las propiedades más importantes.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones determinadas en tiempo y temperatura. Es la principal prueba utilizada para la evaluación de la naturaleza del agua residual. La DBO se determina generalmente a 20 °C después de incubación durante 5 días; se mide el oxígeno consumido por las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual, por cinco días a 20 °C.

La demanda de oxígeno de las aguas residuales se debe a tres clases de materiales:

- Materia orgánica carbonosa: usada como fuente de alimentación por los organismos aerobios.
  - Nitrógeno oxidable y compuestos de nitrógeno orgánico: sirven de sustrato para bacterias específicas del género *nitrosomas* y *nitrobáctera*, que oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos.
  - Compuestos reductores químicos: como sulfitos (SO<sub>3</sub><sup>-2</sup>), sulfuros (S<sup>-2</sup>) y el ión ferroso (Fe<sup>+2</sup>) que son oxidados por oxígeno disuelto.
- Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato de potasio.

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse.

- Carbono orgánico total (COT)

Es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico, se mide por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la materia orgánica en condiciones especiales. Es utilizado especialmente, para determinar pequeñas concentraciones de materia orgánica.

- Tensoactivos

Los tensoactivos, grasas y aceites son volúmenes que se vierten en los colectores procedentes de los garajes desprovistos generalmente, de decantadores de grasas antes de su acometida a la red de alcantarillado, de los hogares, lavaderos, mataderos y de la esorrentía superficial en colectores unitarios. Éstos crean muchos problemas en la técnica de depuración de aguas residuales.

- Sólidos

Se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado a una temperatura de 103 a 105 °C. En esta investigación se analizaron tres grupos de sólidos, los cuales se describen a continuación.

- Sólidos disueltos totales, TDS: es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la conductividad eléctrica mediante la fórmula  $TDS = C.E. (mmhos/cm) \times 700$ ; se mide en ppm.
- Sólidos suspendidos totales SST: es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide en ppm.
- Sustancias flotantes: son materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

### **2.1.3. Generación de olores**

Los olores característicos de las aguas residuales son causados por los gases formados en el proceso de descomposición anaerobia. Los principales tipos de olores se describen a continuación:

- Olor a moho: razonablemente soportable, típico de agua residual fresca.
- Olor a huevo podrido: no es soportable, típico del agua residual vieja o séptica, que ocurre debido a la formación de sulfuro de hidrógeno que proviene de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos.

#### 2.1.4. Principales contaminantes en las aguas residuales

Los contaminantes de mayor interés en el tratamiento de las aguas residuales se presentan en la tabla I.

Tabla I. Principales contaminantes del agua

<b>Contaminantes</b>	<b>Motivo de su importancia</b>
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir diferentes enfermedades relacionadas con parásitos y virus.

Continuación de la tabla I.

Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.
Contaminantes importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, entre otros.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos como calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.5. Efectos causados por los contaminantes presentes en las aguas residuales

La tabla II resume los efectos causados por los contaminantes presentes en las aguas residuales.

Tabla II. **Efectos causados por contaminantes en el agua residual**

<b>Contaminantes</b>	<b>Parámetro de caracterización</b>	<b>Tipo de efluentes</b>	<b>Consecuencias</b>
<b>Sólidos suspendidos</b>	Sólidos suspendidos totales	Domésticos Industriales	Problema estéticos Depósitos de barros Adsorción de contaminantes Protección de patógenos
<b>Sólidos flotantes</b>	Aceites y grasas	Domésticos Industriales	Problemas estéticos
<b>Materia orgánica biodegradable</b>	DBO	Domésticos Industriales	Consumo de Oxígeno Mortalidad de peces Condiciones sépticas
<b>Patógenos</b>	Coliformes	Domésticos	Enfermedades relacionadas con parásitos y virus, transmitidas por el agua



Continuación de la tabla II.

<b>Nutrientes</b>	Nitrógeno Fósforo	Domésticos Industriales	Crecimiento excesivo de algas (eutrofización del cuerpo receptor) Toxicidad para los peces (amonio) Enfermedades causadas por compuestos químicos en niños (nitratos) Contaminación del agua subterránea.
-------------------	----------------------	----------------------------	--

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.6. Caracterización del agua residual

Se mencionan a continuación las características principales de las aguas residuales; sin embargo, “la expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo de su propósito específico.”<sup>1</sup>

Carga orgánica: las cargas orgánicas de las plantas de tratamiento de aguas residuales se expresan generalmente en kg de DBO por día o kg de sólidos suspendidos por día, y el caudal, en l/s o en metros cúbicos por día, siendo la carga orgánica igual al producto de la concentración por el caudal:

$$\text{Carga orgánica (kg/día)} = \text{concentración} \times \text{caudal.}$$

<sup>1</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. p. 19.

Concentración: el término materia orgánica se utiliza como indicativo de la cantidad de todas las sustancias orgánicas presentes en un agua residual. Para cuantificar la masa de materia orgánica se utilizan las mediciones de DBO y de DQO. En general, estos dos indicadores se expresan en mg/l o g/m<sup>3</sup>.

## **2.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Existen variadas operaciones para el tratamiento de aguas residuales, cada una con objetivos específicos de remoción, pero un aspecto importante en cada uno de los niveles de tratamiento es la operación. “Todo sistema de tratamiento de aguas residuales debe estar diseñado de tal manera que, cuando se opere adecuadamente produzca en forma continua el caudal y calidad del efluente.”<sup>2</sup>

### **2.2.1. Niveles de tratamiento**

Se utilizan operaciones unitarias en el tratamiento de aguas residuales, y existen cuatro niveles diferenciados que se describen como tratamientos.

#### **2.2.1.1. Tratamiento preliminar**

Las estructuras de pretratamiento o tratamiento preliminar están compuestas por:

- Cajón de llegada, compuerta de admisión
- Cribas mecánicas, auto limpiantes
- Deflectores de caudal, desarenadores, transportador de arena

---

<sup>2</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. p. 183.

### **2.2.1.2. Tratamiento primario**

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico. El propósito principal de la etapa primaria es producir generalmente, un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que puede ser tratado separadamente.

Este proceso incluye algunos procedimientos básicos:

- **Remoción de sólidos:** en el tratamiento mecánico, el afluyente es filtrado en cámaras de rejas para eliminar todos los objetos grandes que son depositados en el sistema de alcantarillado, tales como: trapos, barras, compresas, tampones, latas, frutas, papel higiénico, etc. Este tipo de material se elimina porque esto puede dañar equipos sensibles en la planta de tratamiento de aguas residuales, además, los tratamientos biológicos no están diseñados para tratar sólidos.
- **Sedimentación:** muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que se puede referir a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida:

- Sedimentación de partículas discretas: se llama partículas discretas aquellas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad), durante la caída.

Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración.

- Sedimentación de partículas floculentas: partículas floculentas son las producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas (forma, tamaño, densidad), sí cambian durante la caída.

Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas.

- Sedimentación por caída libre e interferida: cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre.

En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal.

Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos.

### **2.2.1.3. Tratamiento secundario**

A continuación se describe el tratamiento biológico y los equipos para llevarlo a cabo.

- Tratamiento biológico

Es designado para substancialmente degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan de la basura humana, basura de comida, jabones y detergentes.

Los tratamientos biológicos tienen como principal objeto la eliminación de materia orgánica, además de la eliminación de N por medio de la oxidación del nitrógeno amoniacal, nitrificación-desnitrificación, eliminación del fósforo y eliminación de patógenos

La materia orgánica es eliminada del agua por acción de los seres vivos, que la emplean como fuente de alimento, produciendo nueva materia celular además de obtener la energía necesaria para su supervivencia.

En los procesos biológicos intervienen todo tipo de organismos, según las condiciones de operación de la instalación y el influente, se producirá el predominio de un tipo frente a otro.

- Equipos de tratamiento biológico

Existen diferentes equipos para realizar este trabajo, pero sin embargo el concepto es el mismo, remover la materia orgánica biodegradable, en solución o suspensión, y los sólidos suspendidos mediante procesos bioquímicos.

Entre los equipos para llevar a cabo estos procesos biológicos de degradación de materia orgánica se presentan los siguientes:

- Decantador digestor con filtro biológico: es, básicamente, un decantador digestivo al que se le ha añadido un filtro biológico, gracias al cual se consigue una eliminación, tanto de materia orgánica como sólidos en suspensión, de un 65%.
- Tanque anóxico: tanque con agitador, donde se lleva a cabo la eliminación de nutrientes recirculados (desnitrificación de nitratos generados en el reactor aerobio posterior para la oxidación de los  $\text{N-NH}_4$ ).
- Reactor de oxidación prolongada: en un reactor OP podemos distinguir dos etapas: una oxidación prolongada y decantación secundaria para separar los fangos del agua tratada.

En el compartimento de aireación se da un tratamiento biológico por medio de incorporación de oxígeno y recirculación de fangos, creándose un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos.

Estos microorganismos actúan sobre la materia orgánica e inorgánica suspendida, disuelta y coloidal existente en el agua residual, transformándola en sólidos sedimentables.

La inyección de oxígeno se efectúa por medio de un soplador y se distribuye en la cámara de aireación por medio de un colector y unos difusores de burbuja fina distribuidos de forma que no queden zonas muertas donde no llegue el oxígeno y no se dé un medio aerobio.

Mediante este sistema se consiguen rendimientos en la eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión superiores al 90%, con lo que el agua puede ser recuperada para riego

#### **2.2.1.4. Tratamiento terciario**

La finalidad de los tratamientos terciarios es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno.

Entonces, los objetivos principales del tratamiento terciario es la eliminación de nutrientes (N, P) y la eliminación de patógenos por desinfección.

En la eliminación de nitrógeno por el proceso de nitrificación-desnitrificación la nitrificación es el primer paso. Para que se produzca la nitrificación es necesaria la actuación de las bacterias *Nitrosomas* y *Nitrobácteres*.

- Para los Nitrosomas, la ecuación química es:  $55NH_4^+ + 76O_2 + 109HCO_3^- \rightarrow C_5H_7O_2N + 54NO_2^- + 57H_2O + 104H_2CO_3$
- Para los Nitrobáctera, la ecuación química es:  $400NO_2^- + NH_4^+ + 4H_2CO_3 + HCO_3^- + 195O_2 \rightarrow C_5H_7O_2N + 3H_2O + 400NO_3^-$

Es importante tener en cuenta que la transformación de nitrógeno amoniacal en nitrógeno en forma de nitrato no supone la eliminación del nitrógeno, aunque sí permite eliminar su demanda de oxígeno.

### 2.3. Caracterización física y química del grano de café

Se presenta en esta sección una caracterización del grano del café y de sus constituyentes.

Tabla III. **Distribución porcentual de las estructuras principales del café en cereza (en base seca)**

	Cultivado		
	Arábigo	Borbón	Mezcla
Pulpa	26,5	29,6	28,7
Cascarilla	10,0	11,2	11,9
Mucílago	13,7	7,5	4,9
Fruto de café	50,0	51,7	55,4

Fuente: BRESSANI, Ricardo. *Subproductos del fruto del café*. p 15.



Tabla IV. **Contenido de otros compuestos en la pulpa del café**

Compuesto	Base seca (%)
Taninos	1,80 – 8,56
Sustancias pécticas totales	6,5
Azúcares reductores	12,4
Azúcares no reductores	2,0
Cafeína	1,3
Ácido clorogénico	2,6
Ácido caféico total	1,6

Fuente: ELÍAS, Luiz. G. *Composición química de la pulpa del café y otros subproductos.* p 21.

Tabla V. **Composición química del mucílago del fruto del café**

Compuesto	Porcentaje
Sustancias pécticas totales	35,8
Azúcares totales medios	45,8
Azúcares no reductores	20,0
Azúcares reductores	30,0
Celulosa (cenizas)	17,0

Fuente: CARBONELL, A.; VILANOVA, M. *Beneficiado rápido y eficiente del café mediante el uso de soda cáustica.* p 23.

### **2.3.1. Qué es el mucílago**

El mucílago es una capa de aproximadamente 0,5 a 2 mm de espesor que está fuertemente adherida a la cáscara del grano de café. Desde el punto de vista físico, el mucílago es un sistema coloidal líquido, liofílico, siendo por lo tanto un hidrogel. Químicamente, el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos.

Durante la maduración del grano de café el pectato de calcio, localizado en la laminilla media y la protopectina de la pared celular, es convertido en pectinas.

Esta transformación o hidrólisis de las protopectinas resulta en la desintegración de la pared celular, dejando un plasma celular libre. En este plasma, además de pectinas, se encuentran azúcares y ácidos orgánicos derivados del metabolismo y la conversión del almidón

### **2.3.2. El pergamino del café**

El pergamino del café o cascarilla es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginososa, y representa alrededor de 12% del grano de café en base seca.

La concentración proteínica es similar entre los tres subproductos, mientras que el contenido de fibra cruda es significativamente mayor en el cascabillo de café. El contenido de extracto libre de nitrógeno del pergamino del café es el más bajo.



### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo de estudio**

La investigación estuvo dirigida a determinar la eficacia del esquema de un sistema de tratamiento de aguas mieles, el más habitual de los beneficios húmedos de café de la cuenca del lago de Atitlán. Dicho estudio se realizó en un beneficio, ubicado en San Juan la Laguna, Sololá.

El estudio se orientó a determinar la eficacia del esquema del sistema de tratamiento bajo las condiciones de operación actuales, es decir, no se realizaron variaciones de flujo o tiempos de retención a propósito, de manera que esas fluctuaciones fueran el producto del flujo natural del proceso.

La forma de análisis del problema que mejor se acopla a las condiciones y requerimientos del estudio es la metodología de investigación descriptiva.

#### **3.1.1. Universo de estudio y selección de muestra**

A continuación se muestran los criterios para determinar la muestra, y se describe el universo de estudio.

##### **3.1.1.1. Población de estudio**

El universo de estudio es el sistema de tratamiento de aguas mieles del beneficio húmedo de café.

### **3.1.2. Selección de la muestra**

Se estableció un período de muestreo que permitió la evaluación de la eficacia tres veces. Para esto se realizaron tres muestreos en proceso continuo y uno más en el sedimentador (punto 2), para determinar la tercera eficacia, pero en proceso estacionario.

Registros con los que cuenta Anacafé muestran que la calidad del agua es muy regular en los beneficios de café, criterio que se tomó en cuenta para establecer el número de muestras a trabajar.

Se tuvieron 6 puntos de muestreo, para los cuales se determinaron distintos parámetros químicos y físicos de calidad del agua, dependiendo de su función en el sistema de tratamiento a fin de medir su eficacia. Tanto para el agua que entra como sale del sistema de tratamiento se determinaron los parámetros 1 al 9 del Art. 10, Acuerdo Gubernativo 12-2011.

### **3.1.3. Determinación de la calidad del agua de lavado de café**

Se tomó una muestra del agua que se utiliza en el procesamiento de café, para determinar la concentración inicial de componentes químicos en dicha agua, a fin de conocer el aporte real de componentes químicos en el manejo y procesamiento del café. Esto es establecer un parámetro inicial de referencia de la calidad del agua del proceso.

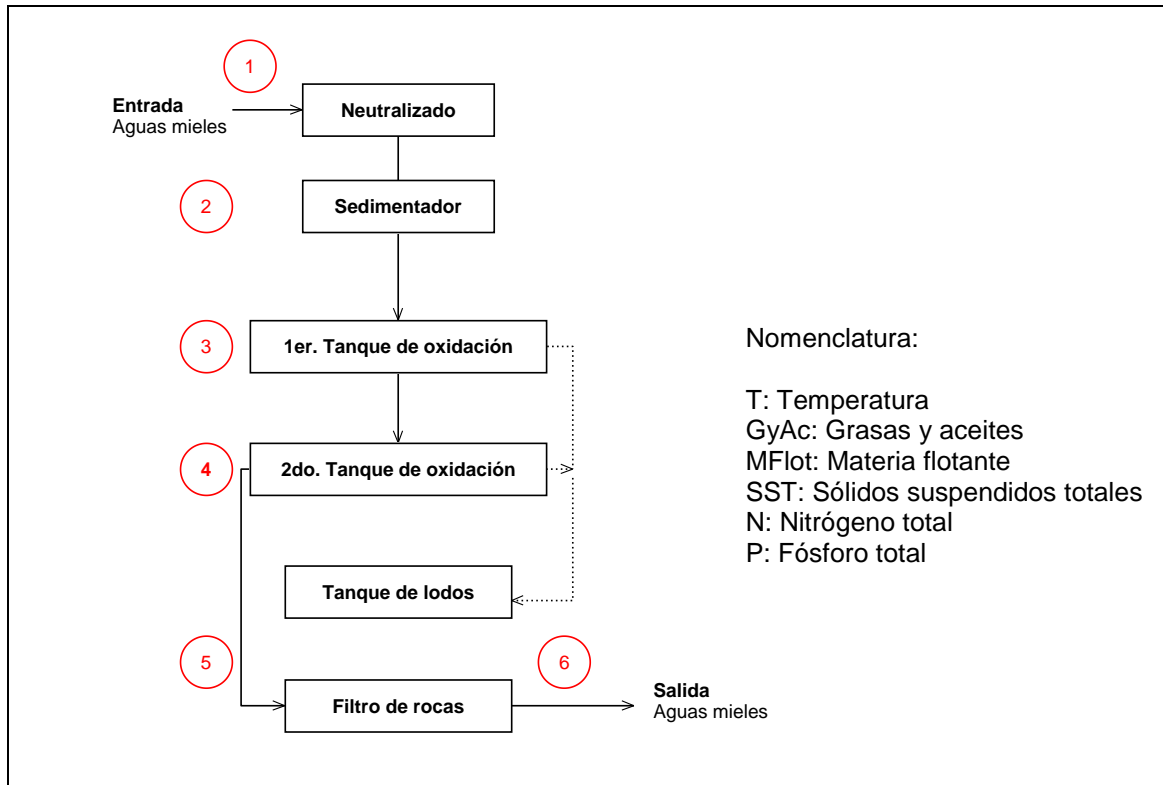
#### **3.1.4. Elección de los puntos de muestreo**

La elección de los puntos de muestreo, así como los parámetros a determinar en éstos, están en función del trabajo que se realiza en dicho punto.

Es decir, que en el caso del sedimentador, se considera una unidad crítica en la eliminación de sólidos suspendidos, y es crítica porque repercute en la eficacia de los oxidadores posteriores, que a su vez son una unidad crítica porque al final del tratamiento se desea eliminar la mayor cantidad de contaminación orgánica, y esto se logra en esa unidad.

La figura 1 muestra los puntos de muestreo en el sistema de tratamiento, además se especifican juntamente los parámetros fisicoquímicos a evaluar.

Figura 1. Puntos de muestreo en el sistema de tratamiento



Punto	Parámetros a medir	Objetivo
1	T, pH, MFlot, SST, SDT DQO, DBO, N, P	Determinar la concentración inicial de componentes químicos, junto con la relación DQO/DBO
2, 3 y 4	pH, T, O.D. MFlot, SST, SDT	Calcular la eficacia en reducción de sólidos sedimentables; y para 3) y 4) evaluar las condiciones en la que se desarrollan los micro-organismos
5	pH, T, DBO, DQO, N, P, SST, SDT	Determinar la eficacia de los tanques de oxidación (solo al inicio de la investigación)
6	T, pH, MFlot, SST, SDT, DQO, DBO, N, P	Determinar la eficacia conjunta de los tanques de oxidación-sedimentación y el filtro de agua clarificada; determinar la eficacia global del sistema de tratamiento.

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Recurso humano disponible**

- Investigador: William Antonio Xil Barrios
- Asesor de investigación: Ing. José Manuel Tay Oroxom
- Asesor del MARN, Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas: Ing. Guillervin Adolfo Macario Castro
- Representante post cosecha de Anacafé: Ing. Luis Roberto Soto Fuentes
- Analistas del laboratorio: Laboratorio de Anacafé, Analab

### **3.3. Recurso material disponible**

Comprenden los equipos y materiales para las mediciones en campo.

#### **3.3.1. Equipo de medición en campo**

- Potenciómetro
- Sonda para medición de T y pH
- Sonda para medición de oxígeno disuelto (OD)
- Solución buffer pH 4 y pH 7
- Solución para calibración de electrodo de OD

#### **3.3.2. Material de muestreo**

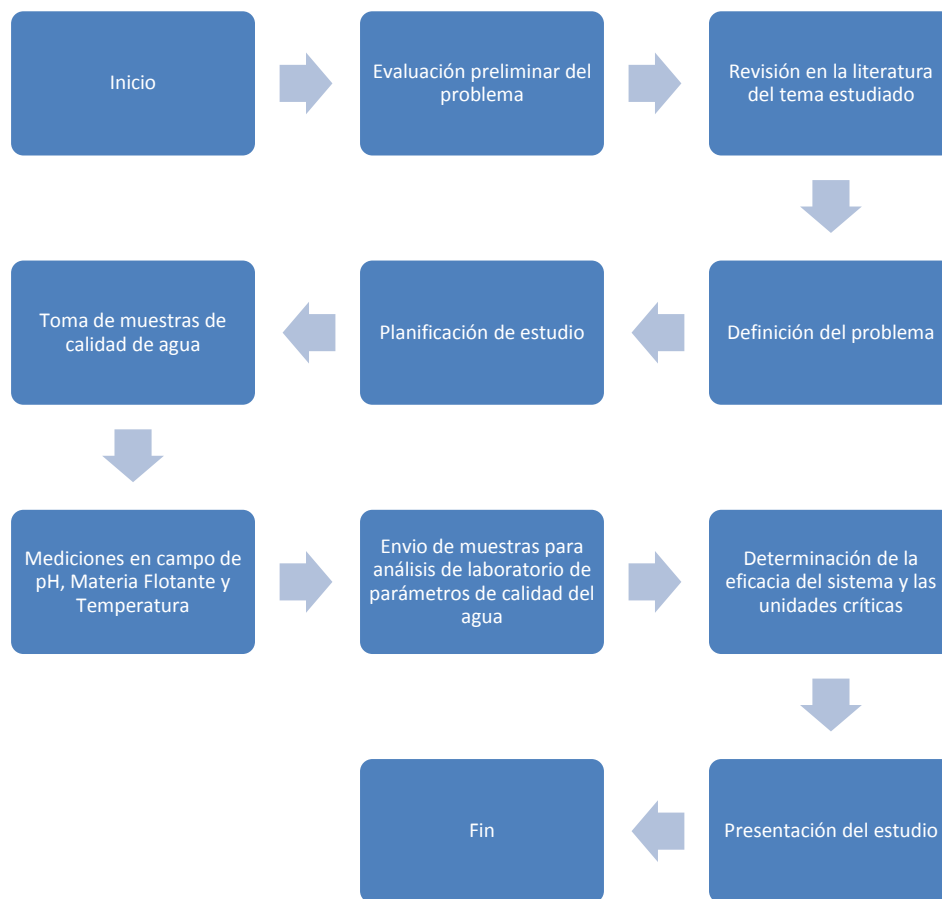
- Recipientes plásticos con capacidad de 2 litros
- Guantes látex
- Papel mayordomo
- Hieleras para transporte de muestras



### 3.4. Técnica cuantitativa y cualitativa

El estudio se llevó a cabo mediante mediciones cualitativas y cuantitativas. En campo se realizaron mediciones cualitativas que ayudaron a comprender mejor las condiciones de operación del SDT de AM, mientras que las mediciones cuantitativas de determinación de los parámetros de calidad se realizaron en el laboratorio Analab. La figura 2 muestra el diseño.

Figura 2. **Diagrama de flujo del diseño preliminar de investigación**



Fuente: elaboración propia.

### **3.5. Recolección y ordenamiento de la información**

A continuación se describe la técnica muestreo y recolección de datos.

#### **3.5.1. Muestreos simples**

Este tipo de muestreo es el que mejor se acopla a la forma de operación de un beneficio de café según lo muestra el Acuerdo Gubernativo 236-2006<sup>3</sup>.

- Consideraciones para la toma de muestras de agua (según el Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Las muestras se tomaron de acuerdo a los siguientes pasos:

- a) En el centro del flujo, donde la velocidad es mayor y la posibilidad de asentamiento de sólidos es menor, cuando era posible
- b) Donde se presentaba la menor turbulencia
- c) En curvas o en pendientes mayores al 5%
- d) Sin presencia de espuma
- e) Evitando agua de la superficie o del fondo de la corriente
- f) Unificando caudales para asegurar la uniformidad del efluente
- g) Asegurando que no se tomara aguas arriba donde se acumulan sólidos o aguas abajo donde haya presencia de grasas y aceites.

---

<sup>3</sup> Capítulo II, Toma de muestras de aguas residuales, del Manual general del reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006, 24 p.

### **3.5.2. Procedimiento para recolección de muestras**

A continuación se muestran los pasos a seguir para la correcta recolección de muestras de agua residual:

- a) Identificar el recipiente antes de la toma de muestras.
- b) Lavar el recipiente plástico con el agua a recolectar antes de tomar la muestra.
- c) Tomar la muestra de la parte media del lugar de recolección.
- d) Tomar las mediciones en campo, pH, T y materia flotante.
- e) Aforar el recipiente con la muestra.
- f) Cerrar el recipiente.
- g) Almacenar muestras en hielera.

#### **3.5.2.1. Recipientes para toma de muestras**

Las muestras se captaron en recipientes plásticos de dos litros de capacidad.

#### **3.5.2.2. Parámetros de medición en campo**

Los parámetros medidos en campo, *in situ*, fueron pH, temperatura (T) y materia flotante (MFlot). Éstos se realizaron inmediatamente después de la toma de la muestra, en el punto de recolección. Las mediciones se realizaron con un equipo calibrado para medición en campo.

### **3.5.2.3. Determinación de caudal de agua residual**

El caudal diario generado de aguas residuales en el beneficio es en promedio el mismo todos los días, en la mayoría de los casos es independiente de la cantidad de café maduro procesado, variando por ende la concentración de parámetros de calidad del agua residual. Se estima que el caudal diario es 3 metros cúbicos: dos para el despulpado, uno para lavado y arrastre.

### **3.5.2.4. Obtención de resultados de análisis de laboratorio**

Las muestras tomadas se enviaron al laboratorio de Analab para el análisis de los parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos. Para garantizar la calidad de los resultados, los muestreos se realizaron entre semana, para que el análisis de los parámetros fuera realizado en no más de 24 horas después de tomada la muestra.

### **3.5.2.5. Procedimientos para garantizar aspectos éticos en la investigación**

Se cuentan con registros de toma de muestras, en los cuales está la firma y nombre de quién realizó el muestreo, juntamente con la firma y nombre del encargado del sistema de tratamiento.

Además se cuentan con fotografías en digital e impresas con fecha y hora de la toma de muestra.

Asimismo, se cuenta con los reportes impresos de los análisis de calidad del agua del laboratorio, con logotipo y firma del encargado del laboratorio.

### **3.6. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

A continuación se presenta la forma de determinar la eficacia y los valores utilizados para describir el comportamiento del sistema de tratamiento.

#### **3.6.1. Eficacia global y de las unidades individuales del sistema de tratamiento**

De los análisis de calidad del agua de los 6 puntos que se indicaron en el inciso 3.1.4, se obtuvieron los parámetros para determinar tanto la eficacia global del sistema, así también, la eficacia de las unidades individuales.

La eficacia en reducción de componentes químicos se calculó de acuerdo a la ecuación:

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{dato de entrada} - \text{dato de salida}}{\text{dato de entrada}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

En donde:

Eficacia: medida del cumplimiento de los valores máximos de concentración de los parámetros de calidad del agua que exige el Acuerdo Gubernativo 12-2011. Numéricamente es la fracción eliminada de un componente, medido según un parámetro de control determinado, en cada sistema de tratamiento a eliminar.

Dato de entrada: valor del parámetro a estudiar a la entrada del sistema de tratamiento, obtenido de los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales.

Dato de salida: valor del parámetro a estudiar a la salida del sistema de tratamiento, obtenido de los análisis fisicoquímicos de las agua de desfogue.

En la tabla VI se muestra la utilización de los parámetros medidos en cada punto del sistema de tratamiento.

Tabla VI. **Utilización de los parámetros medidos en los puntos del sistema de tratamiento**

Entre	Descripción	Parámetros	Uso de los parámetros
1 y 6	Entrada de agua miel al SDT y desfogue respectivamente	T, pH, MFlot	Describir las condiciones de entrada y salida al sistema de tratamiento, in situ <sup>4</sup>
		GyAc, , SST, SDT	Evaluar la eficacia global en eliminación de sólidos orgánicos
		DQO, DBO, N, P	- Evaluar la eficacia global en eliminación de materia orgánica y química - Evaluar la relación inicial y final de DQO/DBO
2, 3 y 4	Conjunto de sedimentadores y los tanques de oxidación secundarios	pH, T, OD, MFlot	Descripción de las condiciones de operación de los sedimentadores secundarios: aerobio, y otros
		SST, SDT	Evaluación de la eficacia en reducción de sólidos en cada sedimentador, y la de los puntos 2 y 4
		DQO y DBO	Evaluación de la eficacia en eliminación de materia orgánica y química

<sup>4</sup>T, pH y MFlot se midieron en campo, al momento de la toma de muestras.

Continuación de la tabla VI.

2 y 5	Entrada y salida al conjunto de sedimentadores	DBO, DQO, N, P	Evaluar la eficacia en reducción de estos parámetros por el conjunto de sedimentadores
		SST, ST, SDT	Evaluar la eficacia en reducción de sólidos por el conjunto de sedimentadores
2 y 6	Desde el sedimentador hasta el filtro de grava	DBO, DQO, N, P	Evaluar la eficacia en reducción de estos parámetros por el conjunto de sedimentadores y el filtro de grava
		SST, ST, SDT	Evaluar la eficacia conjunta del filtro y el conjunto de sedimentadores

Fuente: elaboración propia.

### 3.6.2. Tablas de ordenamiento de datos

El ordenamiento de los datos recolectados se llevó a cabo por medio de tablas, VII, VIII, IX, X y XI, que se muestran a continuación.

Tabla VII. **Ordenamiento de datos, relación DQO/DBO en distintos puntos del SDT**

Punto	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	Relación DQO/DBO
1	Agua de lavado			
2	Sedimentador			
5	Salida del 2do. T. de Ox.			
6	Salida del filtro de rocas			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Ordenamiento de datos, relación de nutrientes en distintos puntos del SDT**

Punto	Descripción	N [mg/l]	P [mg/l]	Relación N/P
1	Agua de lavado			
2	Sedimentador			
5	Salida del 2do. T. de Ox.			
6	Salida del filtro de rocas			

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Ordenamiento de datos, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, sedimentables y disueltos totales en los tanques de sedimentación**

Punto	Descripción	SST [mg/l]	ST [mg/l]	SDT [mg/l]
2	Sedimentador			
3	1er. T. de Ox.			
4	2do. T. de Ox.			

Fuente: elaboración propia.



Tabla X. **Ordenamiento de datos, sólidos suspendidos totales, sedimentables y disueltos totales en los tanques de sedimentación y parámetros de medición *in situ***

Forma de obtención de datos		In situ			En laboratorio		
Punto	Descripción	pH	T [°C]	MFlot	SST [mg/l]	ST [mg/l]	SDT [mg/l]
1	Agua de lavado						
2	Sedimentador						
3	1er. T. de Ox.						
4	2do. T. de Ox.						
5	Salida del 2do. T. de Ox.						
6	Salida del filtro						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Ordenamiento de datos, eficacia global del SDT de AM en reducción de concentración de materia orgánica, nutrientes, grasas y aceites**

Puntos	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	N [mg/l]	P [mg/l]	GyAc [mg/l]
1	Agua de lavado					
6	Salida del filtro de rocas					
1 y 6	Eficacia					

Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Análisis estadístico**

Dentro del análisis estadístico de la investigación se determinaron valores promedio y desviaciones estándar, y se calcularon según el procedimiento siguiente.

#### **3.7.1. Valor promedio**

Este valor permite agrupar los resultados de eficacia del sistema de tratamiento a través de las corridas realizadas.

El valor promedio ( $\bar{x}$ ) se calcula según la ecuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

En donde:

$\bar{x}$ : valores promedio de las mediciones

$x_i$ : cada una de las mediciones

$n$ : número de muestras

#### **3.7.2. Desviación estándar**

Es una medida de la dispersión de los valores medidos respecto del valor promedio. La desviación estándar ( $S$ ) servirá como indicador de la variación natural de los datos en el SDT de AM.

La desviación estándar ( $S$ ) se calcula según la ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |\bar{x} - x_i|}{n}} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

En donde:

$\bar{x}$ : valores promedio de las mediciones

$x_i$ : cada una de las mediciones

$n$ : número de muestras

### **3.8. Plan de análisis de resultados**

A continuación se describen las herramientas utilizadas para el manejo de los datos recolectados, el procedimiento computacional de los mismos y el esquema de la representación gráfica.

#### **3.8.1. Herramientas tecnológicas para creación de base de datos**

De los reportes obtenidos del laboratorio se creó una base de datos, en los programas de Microsoft Office para manejar la información completa de los análisis de calidad de agua de las muestras analizadas.

### **3.8.2. Análisis computacional de datos**

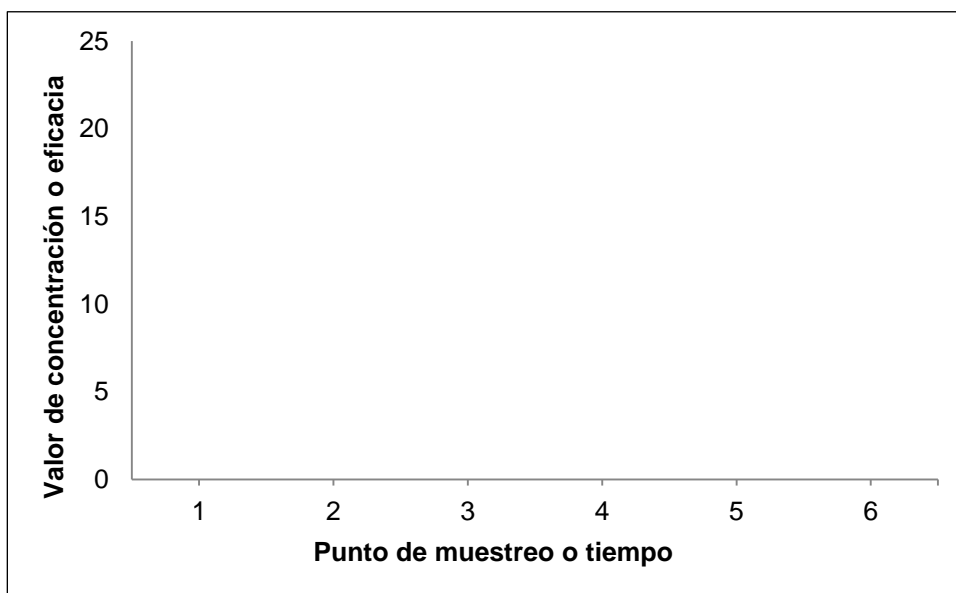
Para el manejo de datos se realizaron:

- Creación de una base de datos en Microsoft Excel
- Ordenamiento de la base de datos, según la sección 3.6.2.
- Calcular la eficacia global del sistema de tratamiento
- Calcular la eficacia de los sedimentadores del sistema de tratamiento
- Determinar valores medios, desviaciones estándar y diferencias entre las eficacias en los distintos tiempos de muestreo
- Presentar los resultados gráficamente con ayuda de un software especial, sea éste Microsoft Excel o equivalente

### 3.8.3. Representación gráfica

El formato general básico que se utilizó para la elaboración de gráficos en Microsoft Excel es el siguiente:

Figura 3. **Formato básico para representación gráfica de eficacias**



Fuente: elaboración propia.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización de las aguas mieles del procesamiento de café

Para caracterizar el agua del proceso de lavado de café se utilizaron cinco indicadores, los cuales son el caudal promedio generado, la cantidad de cal utilizada para la neutralización, la calidad del agua de lavado antes y después del procesamiento de café, así como el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en cada etapa del procesamiento.

#### 4.1.1. Caudal diario promedio generado

El caudal diario de aguas residuales generado en el despulpado y lavado de café fue en promedio el mismo durante las cuatro semanas en las que fueron tomadas las muestras.

Caudal promedio [ $m^3/día$ ]: 3

#### 4.1.2. Cal agregada en la neutralización

La dosificación de cal en la neutralización de las aguas mieles fue la misma durante las cuatro semanas en las que fueron tomadas las muestras.

Concentración de cal [ $g/m^3$ ]: 450

### 4.1.3. Calidad del agua de lavado de café

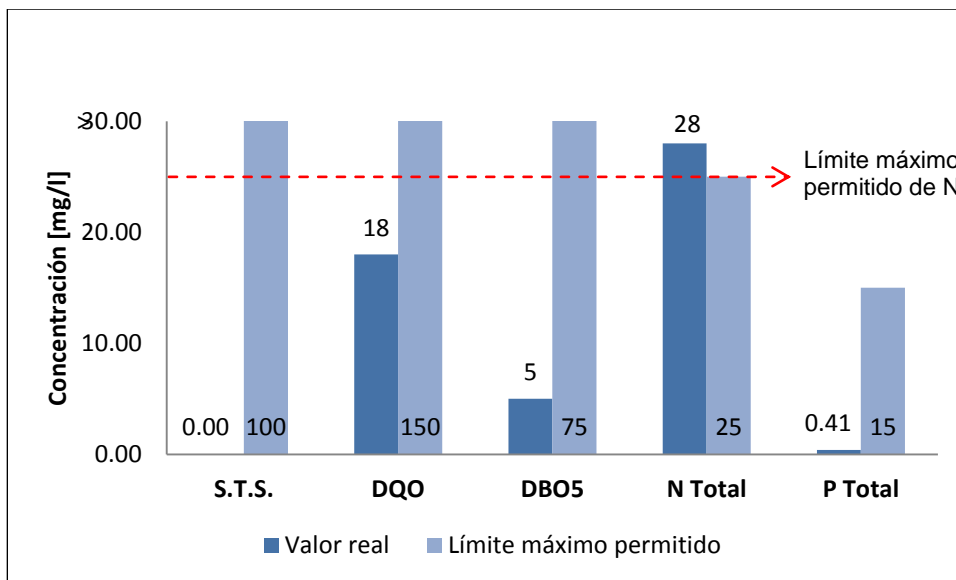
Se muestran los valores de calidad del agua utilizada en el procesamiento del grano de café, así como el valor del límite máximo permisible de los parámetros mencionados en la normativa.

Tabla XII. **Parámetros de calidad del agua de lavado de café**

pH	Parámetros [mg/l]						
	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	DQO	DBO5	N total	P total
7,40	200,00	200,00	0,00	18,00	5,00	28,00	0,41

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 6, tabla C.

Figura 4. **Límites máximos permitidos y valores reales de los parámetros fisicoquímicos del agua de lavado de café**



Fuente: elaboración propia, con base en el anexo 1 y apéndice 6, tabla C.

#### 4.1.4. Resultados de mediciones *in situ* en los puntos del sistema de tratamiento

En esta sección se muestran las tablas XIII, XIV y XV con los valores de los parámetros medidos en campo que requiere la normativa (pH, temperatura y materia flotante), para las fechas del periodo de muestreo.

Tabla XIII. **Resultados de mediciones *in situ* de la primera semana de muestreo**

Fecha de muestreo			26 de enero de 2011		
No.	Código	Descripción	pH	T [°C]	MFlot
1	2601P1	Punto 1: Agua del lavado de café	4,16	19,20	Sí
2	2601P2	Punto 2: Sedimentador	3,96	19,10	Sí
3	2601P3	Punto 3: 1er. Tanque de oxidación	3,80	18,30	Sí
4	2601P4	Punto 4: 2do. Tanque de oxidación	3,79	17,80	Sí
5	2601P5	Punto 5: Salida del 2do. Tanque de oxidación	3,81	22,30	Sí
6	2601P6	Punto 6: Salida del filtro	ND <sup>Ω</sup>	ND	ND
7	SC <sup>φ</sup>	Verificación de pH después del neutralizado	5,94	19,60	Sí

<sup>Ω</sup> ND: No determinado. <sup>φ</sup> SC: Sin código

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 9, figura A.



Tabla XIV. **Resultados de mediciones *in situ* de la segunda semana de muestreo**

Fecha de muestreo			02 de febrero de 2011		
No.	Código	Descripción	pH	T [°C]	MFlot
1	0202P1	Punto 1: Agua del lavado de café	4,22	17,40	Sí
2	0202P2	Punto 2: Sedimentador	4,18	17,00	Sí
3	0202P3	Punto 3: 1er. Tanque de oxidación	4,38	16,50	Sí
4	0202P4	Punto 4: 2do. Tanque de oxidación	4,55	16,20	Sí
5	0202P5	Punto 5: Salida del 2do. Tanque de oxidación	4,56	16,30	Sí
6	0202P6	Punto 6: Salida del filtro	4,81	18,10	No
7	SC <sup>φ</sup>	Verificación de pH después del neutralizado	4,87	18,10	Sí
<sup>φ</sup> SC: Sin código					

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 9, figura B.

Tabla XV. **Resultados de mediciones *in situ* de la tercera semana de muestreo**

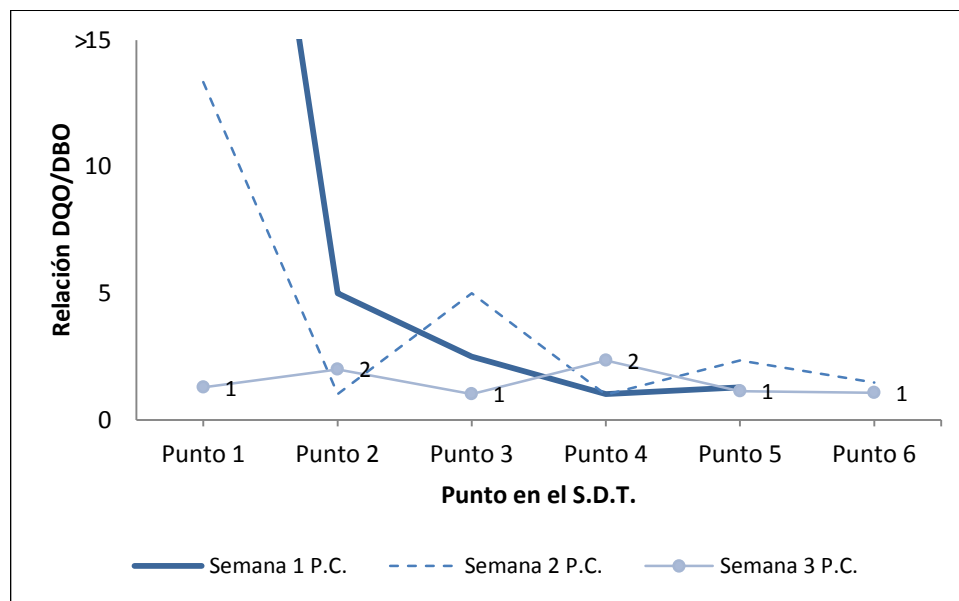
Fecha de muestreo			09 de febrero de 2011		
No.	Código	Descripción	pH	T [°C]	MFlot
1	0902P1	Punto 1: Agua del lavado de café	4,24	18,10	Sí
2	0902P2	Punto 2: Sedimentador	3,97	16,80	Sí
3	0902P3	Punto 3: 1er. Tanque de oxidación	4,11	16,80	Sí
4	0902P4	Punto 4: 2do. Tanque de oxidación	4,07	15,80	Sí
5	0902P5	Punto 5: Salida del 2do. Tanque de oxidación	4,14	16,00	Sí
6	0902P6	Punto 6: Salida del filtro	4,22	16,90	No
7	SC <sup>φ</sup>	Verificación de pH después del neutralizado	12,11	18,10	Sí
8	SC <sup>φ</sup>	Agua limpia para lavado de café	6,85	18,10	Sí
<sup>φ</sup> SC: Sin código					

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 9, figura C.

#### 4.1.5. Relaciones DQO/DBO5 y N/P en los puntos del sistema de tratamiento

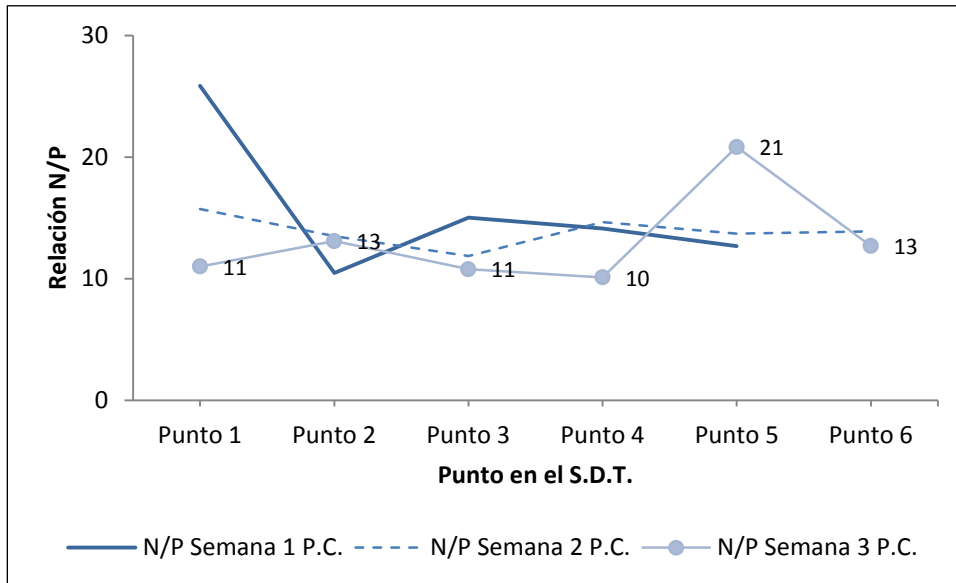
En esta sección se presentan dos gráficos para mostrar el comportamiento de las relaciones DQO/DBO5 y N/P a través de los seis puntos del sistema de tratamiento.

Figura 5. **Gráfico de DQO/DBO5 en los puntos del sistema de tratamiento**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla D a F.

Figura 6. **Gráfico de N/P en los puntos del sistema de tratamiento**

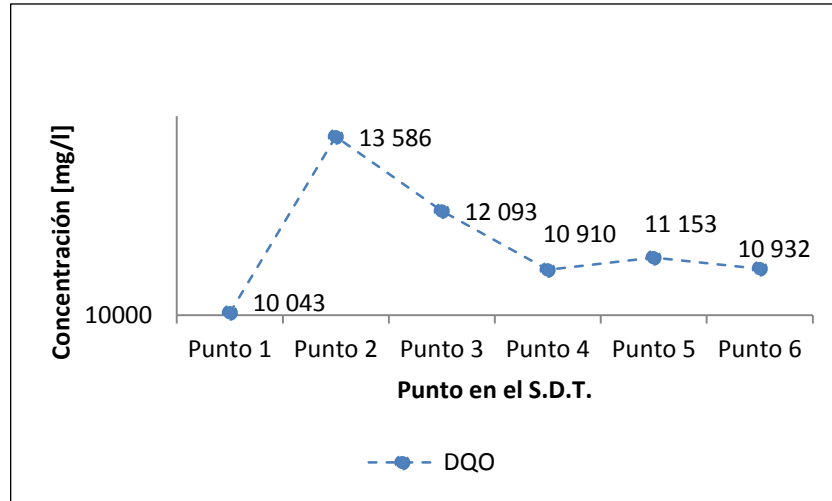


Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla H a K.

#### 4.1.6. **Concentración de DQO, N total, P total y sólidos en los puntos del sistema de tratamiento**

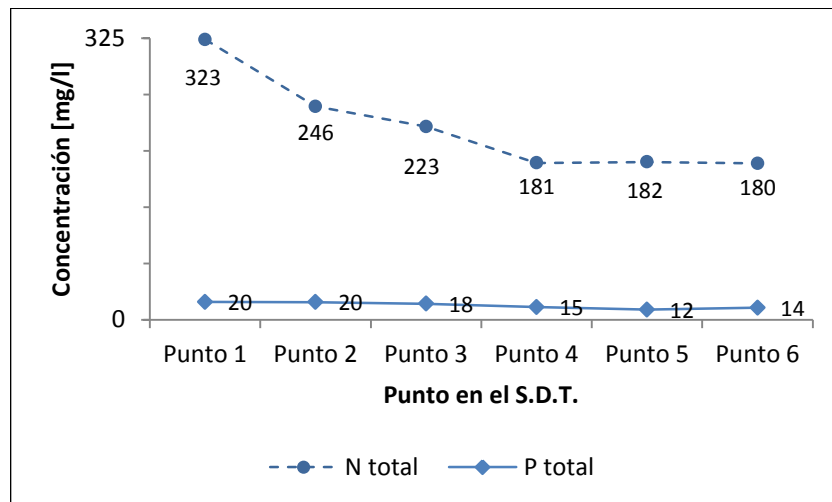
En ésta sección se muestra el comportamiento de cuatro parámetros fisicoquímicos a lo largo del sistema de tratamiento, es decir, en cada una de las unidades del mismo. El tipo de gráfico permite visualizar la tendencia del comportamiento de cada parámetro.

Figura 7. **Gráfico de concentración promedio de DQO en los puntos del sistema de tratamiento**



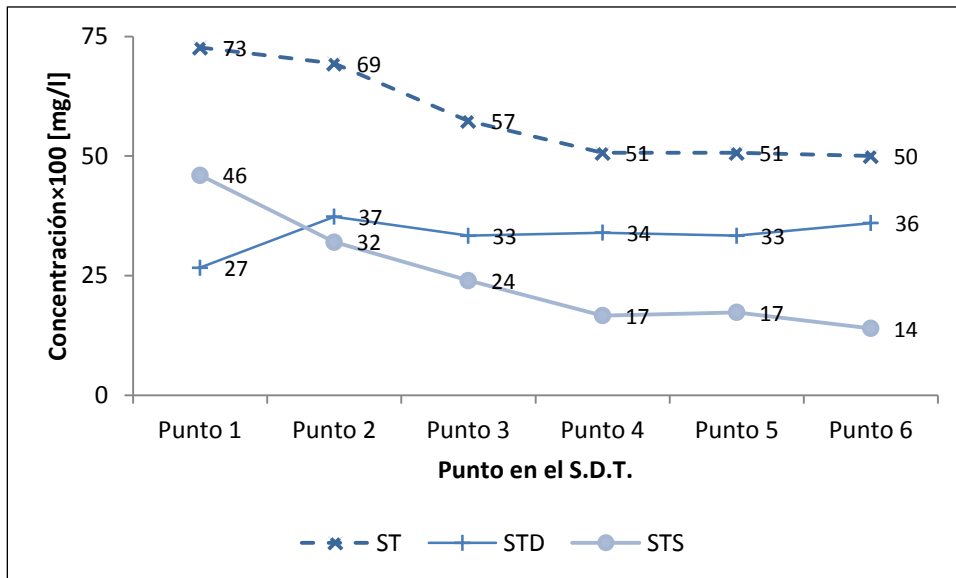
Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 6, tabla A.

Figura 8. **Gráfico de concentración promedio de N y P en los puntos del sistema de tratamiento**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 6, tabla A.

Figura 9. **Gráfico de concentración promedio de sólidos totales en los puntos del sistema de tratamiento**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 6, tabla A.

## 4.2. Eficacias del sistema de tratamiento

Esta sección muestra los valores de eficacias globales e individuales de las unidades del sistema de tratamiento, para sistema continuo y estacionario.

### 4.2.1. Eficacia global del sistema de tratamiento

Se muestran tres valores de eficacias globales, que corresponden a cuatro semanas de muestreo, como se observa en la primera columna de las tablas de esta sub sección. La tabla XVI muestra la eficacia global con un tiempo de una semana entre un muestreo y otro, mientras que la tabla XVII muestra la eficacia global para un mismo día de muestreo del afluente al efluente del SDT.

Tabla XVI. **Eficacia global del sistema de tratamiento para una semana de operación**

Fecha	Proceso	Parámetros [mg/l]						
		ST	STD	STS	DQO	DBO5	N Total	P Total
Del 26/01 al 02/02 <sup>Ω</sup>	Continuo	22%	<RD	71%	8%	<RD	43%	-6%
Del 02/02 al 09/02 <sup>Ω</sup>	Continuo	42%	-5%	71%	-2%	<RD	57%	47%
Del 22/02 al 27/02	Estacionario	67%	25%	91%	62%	45%	84%	88%

<sup>Ω</sup> Se utilizó el filtro en dichas semanas. <RD: significa menor del rango de determinación.

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla M.

Tabla XVII. **Eficacia global del sistema de tratamiento para un día de operación**

Fecha	Proceso	Parámetros [mg/l]						
		ST	STD	STS	DQO	DBO5	N Total	P Total
26 de enero	Continuo	19%	-40%	53%	-05%	<RD	42%	-19%
02 de febrero	Continuo	58%	16%	84%	29%	<RD	70%	67%
09 de febrero	Continuo	09%	-82%	57%	-65%	-97%	00%	13%

<RD: significa menor del rango de determinación.

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla N.

#### 4.2.2. Eficacia a través de las unidades del sistema de tratamiento

Las tablas XVII a XX muestran la eficacia en reducción de concentración de DQO, N y P total a través de cada punto del sistema de tratamiento.

##### 4.2.2.1. Eficacia en reducción de DQO

La tabla XVIII muestra la eficacia en reducción de DQO en cada punto del sistema de tratamiento para las tres semanas de muestreo.

Tabla XVIII. **Eficacia en reducción de DQO, a través del tiempo en proceso continuo**

Punto	Primera semana		Segunda semana		Tercera semana	
	Reducción	Aumento	Reducción	Aumento	Reducción	Aumento
1	DI	DI	DI	DI	DI	DI
2	NR	-39,33%	NR	-21,25%	NR	-52,83%
3	19,99%	NA	19,01%	NA	NR	-9,35%
4	10,99%	NA	14,37%	NA	4,46%	NA
5	NR	-5,38%	1,25%	NA	NR	-2,75%
6	NR	<RD	14,62%	NA	NR	-0,37%

NR: hay reducción; NA: hay aumento. <RD: significa menor del rango de determinación.  
DI: dato inicial.

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla D a L.

##### 4.2.2.2. Eficacia en reducción de N total

La tabla XIX muestra la eficacia en reducción de N total en cada punto del sistema de tratamiento para las tres semanas de muestreo.

Tabla XIX. **Eficacia en reducción de N total, a través del tiempo en proceso continuo**

Punto	Primera semana		Segunda semana		Tercera semana	
	Reducción	Aumento	Reducción	Aumento	Reducción	Aumento
1	DI	DI	DI	DI	DI	DI
2	4,05%	NA	47,28%	NA	NR	-6,56%
3	18,31%	NA	26,53%	NA	NR	-20,00%
4	20,69%	NA	7,27%	NA	25,64%	NA
5	6,52%	NA	7,84%	NA	NR	-13,79%
6	NA	<RD	10,64%	NA	7,58%	NA

NR: hay reducción; NA: hay aumento. <RD: significa menor del rango de determinación.

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla D a L.

#### 4.2.2.3. Eficacia en reducción de P total

La tabla XX muestra la eficacia en reducción de P total en cada punto del sistema de tratamiento para las tres semanas de muestreo.



Tabla XX. **Eficacia en reducción de P total, a través del tiempo en proceso continuo**

Punto	Primera semana		Segunda semana		Tercera semana	
	Reducción	Aumento	Reducción	Aumento	Reducción	Aumento
1	DI	DI	DI	DI	DI	DI
2	NR	NA	38,52%	NA	10,45%	NA
3	43,10%	NA	16,51%	NA	NR	-45,72%
4	15,68%	NA	24,95%	NA	20,68%	NA
5	NR	-4,21%	1,40%	NA	44,83%	NA
6	NR	NA	11,82%	NA	NR	-51,85%

NR: hay reducción; NA: hay aumento. <RD: significa menor del rango de determinación.

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla D a L.

#### 4.2.2.4. Eficacia de remoción, en el punto 2 del sistema de tratamiento en proceso estacionario

Las tablas XXI, XXII y XXIII muestran los valores de eficacia del sedimentador para una semana de tiempo de retención en proceso estacionario.

Tabla XXI. **Eficacia de remoción de la DQO y DBO5 en el sedimentador, en proceso estacionario**

Fecha	Punto	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]
22/02/2011	2	Sedimentador	10 043,00	2420,93
27/02/2011	2	Sedimentador	3806,00	1330,00
Reducción			62%	45%

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla O a Q.

Tabla XXII. **Eficacia de remoción del nitrógeno y fósforo totales en el sedimentador, en proceso estacionario**

Fecha	Punto	Descripción	N [mg/l]	P [mg/l]	Relación N/P
22/02/2011	2	Sedimentador	323,17	20,35	15,88
27/02/2011	2	Sedimentador	52,50	2,39	21,97
Reducción			84%	88%	

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla O a Q.

Tabla XXIII. **Eficacia de remoción de sólidos en el sedimentador, en proceso estacionario**

Fecha	Punto	Descripción	SS [mg/l]	ST [mg/l]	STD [mg/l]	STS [mg/l]
22/02/2011	2	Sedimentador	0	7267	2667	4600
27/02/2011	2	Sedimentador	0	2400	2000	400
Reducción			-	67%	25%	91%

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 8, tabla O a Q.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Caracterización de las aguas mieles y del sistema de tratamiento

Se determinó que el caudal generado del despulpado y lavado de café fue en promedio el mismo para las cuatro semanas, la variación de la eficacia del tratamiento está en función de la cantidad procesada de grano de café y la cal agregada, según los datos obtenidos de grano procesado de café para los días de muestreo, según el apéndice 9.

La caracterización inicial del agua utilizada para el procesamiento de café, según la tabla XII, muestran que los parámetros fisicoquímicos de calidad están por debajo de los establecidos en el Acuerdo Gubernativo 12-2011, artículo 13, a excepción del nitrógeno total cuyo valor es de 28 g/ml y el límite máximo permitido es 25 mg/l, por lo tanto dicha agua no cumple con la normativa. Sin embargo, el valor de los demás parámetros como la DQO, DBO5 y P es muy bajo, 12%, 7% y 3% respectivamente del límite máximo permitido, por la normativa.

Mencionado lo anterior, puede establecerse que la calidad del agua para procesamiento de café es aceptable y no incidirá significativamente en los valores de los parámetros de calidad de la normativa, a excepción del nitrógeno total, como antes se mencionó.

Como resultado de la descripción del proceso de tratamiento de aguas mieles, se obtuvo que no hay una persona específica para la dosificación de la cal, según se observa en el apéndice 9.

Además, según las tablas XIII a XV los valores de pH *in situ* variaron entre 4,87 y 12,11; y tomando en cuenta que el rango de aceptación de la normativa es de 6 a 9 unidades de pH, se puede establecer que la dosificación de cal no es la adecuada, o se está realizando de una manera inadecuada. En dichas tablas, también se muestra que a través de tres semanas de proceso continuo en los diferentes puntos del SDT hay presencia de materia flotante, a excepción en la salida del filtro de grava, por lo que esta unidad es indispensable para cumplir con la normativa.

- Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos a través del sistema de tratamiento

Las figuras 4 y 5 muestran una disminución en la relación DQO/DBO5 a través de los distintos puntos del SDT sin embargo, la relación N/P no corresponde a este comportamiento, con una desviación estándar para los valores de la primera semana de 5,97% y un valor promedio de 15,62. Sin embargo, al analizar individualmente el comportamiento del N total, sí hay una disminución continua del 51% desde el punto 1 al punto 5, lo que indica que el comportamiento de P y N a lo largo del sistema es parecido.

Como se observa en la figura 8, para la primera semana los sólidos totales, también muestran una disminución a lo largo del sistema, con una remoción del 32%, pero esto no asegura la eficacia del sistema de tratamiento, ya que el valor más bajo obtenido en S.T. es de 5 000 mg/l, que corresponde a un valor de 1 400 mg/l de sólidos suspendidos, cuyo valor está fuera del rango de la normativa, se puede decir entonces, que la operación del sistema no está siendo eficaz.

- Eficacias del sistema de tratamiento

De las tablas XVI y XVII se tomaron los parámetros de ST, DQO y N total, para determinar un aumento de eficacia para los ST de 22% en proceso continuo hasta 67% en proceso estacionario. Para el DQO desde 8% en proceso continuo hasta 62% en proceso estacionario. Y para el N total desde 43% en proceso continuo, hasta 84% en proceso estacionario.

Dicho aumento de eficacia de un proceso continuo a un proceso estacionario refleja la necesidad de un tiempo de retención óptimo mayor que permita la disminución de los parámetros fisicoquímicos. Aún cuando un valor de eficacia de 84% en reducción de nitrógeno parezca alto, no necesariamente quiere decir que cumpla con la normativa, dicho valor final de concentración de N es 52,5 mg/l, que está por arriba del permitido por la normativa que es 25 mg/l.

Si bien el valor numérico de eficacia no refleja el cumplimiento con la normativa, sí refleja el avance en la correcta operación del sistema de tratamiento, y esto se corrobora según la tabla XVII, en donde la eficacia global determinada en un mismo día de operación continua para el N total disminuye de 42% en la primera semana hasta 0% en la tercera semana. Esto quiere decir que no es posible aumentar la eficacia del sistema de tratamiento si no se tiene una correcta operación, con dosis óptimas de cal, tiempo de retención, etc.

Las tablas XXI a XXIII listan los valores de eficacia de remoción de DQO, DBO5, N, ST, etc., en el sedimentador del sistema, para una semana de tiempo de retención. Y para un valor inicial de DQO de 10 042 mg/l se obtuvo un valor final de 3806 mg/l, N inicial de 323 mg/l con valor final de 52 mg/l, y de la misma manera para los demás parámetros.

Pero esa reducción, con valores de eficacia de hasta 91% está ligada a la evaluación de la normativa, base sobre la cual se determina si la operación del sistema es eficiente o no lo es.

## CONCLUSIONES

1. Los parámetros de operación en el sistema de tratamiento de aguas mieles fueron ineficaces durante el período de la investigación, según lo muestran los resultados de las eficacias calculadas.
2. La eficacia en reducción de concentración de parámetros fisicoquímicos fue mayor para el proceso estacionario, con tiempo de retención de una semana en el sedimentador. En este punto se obtuvieron eficacias de reducción de nitrógeno de 4% y 84% en procesos continuo y estacionario, respectivamente.
3. El caudal promedio generado de agua miel fue el mismo durante las cuatro semanas de estudio, con dosis variadas de cal no efectivas de acuerdo al rango de variación de pH de la normativa, dando valores desde 5 a 12.
4. El pH del agua miel generada en el procesamiento de café para las cuatro semanas fue en promedio 4,07 con desviación estándar de 27%.
5. La calidad inicial del agua para procesamiento de café no representa una carga contaminante significativa; sin embargo, la concentración inicial de nitrógeno con un valor de 28 mg/l está por arriba del normado que es 25 mg/l, es desde allí que dicha agua contiene contaminación orgánica.
6. La variación de la eficacia de tratamiento está en función de la cantidad procesada de grano de café, la cal agregada y el tiempo de retención en las unidades del sistema de tratamiento.



7. Las unidades críticas del sistema de tratamiento son el sedimentador y el filtro de grava, y sin el funcionamiento de esta última se presenta materia flotante en el efluente del sistema de tratamiento.

## RECOMENDACIONES

1. Asegurar la asignación de recursos económicos y de personal para garantizar la viabilidad del sistema de tratamiento de aguas mieles, su correcta operación y mantenimiento.
2. Realizar una prueba de jarras, tanto para ajustar el pH como para establecer el tiempo de sedimentación, dado que la dosis actual de cal no es la óptima en la neutralización, tampoco así el tiempo de retención dentro del sedimentador, y las demás unidades del sistema de tratamiento.
3. Hacer una correlación para las diferentes dosis de cal versus la cantidad de grano de café procesado, dado que el caudal generado de aguas mieles es aproximadamente el mismo.
4. Utilizar todos los tanques del sistema de tratamiento, a fin de aumentar el tiempo de retención de un volumen de agua miel dentro del sistema, para que así el filtro de grava reciba agua depurada y aumente su efectividad.
5. Establecer el procedimiento y la frecuencia de lavado del filtro de grava.
6. Realizar pruebas para determinar cuál es el tiempo de retención adecuado en las unidades del sistema de tratamiento dado que se determinó que para una semana de tiempo de retención en proceso estacionario se obtuvieron mayores valores de eficacia que en proceso continuo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Nacional del Café. *Greenbook (Libro verde): Guatemalan Coffees*. Guatemala: Anacafé, versión en español, 2007. 49 p.
2. BRESSANI, Ricardo. *Subproductos del fruto del café*. Guatemala: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), 1993. 152 p.
3. CARBONELL, A.; VILANOVA, M. *Beneficiado rápido y eficiente del café mediante el uso de soda cáustica: Justificación de un proyecto para investigar la obtención de pectina a partir del mucílago del café*. San José, Costa Rica: Departamento de Estudios Técnicos y Diversificación. Proyecto 1. Subproyecto 5. Oficina del Café, 1974. 38 p.
4. CHANG, Raymond. *Química*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2003. 1063 p.
5. CORREAL CUERVO, Rodrigo. *Tratamiento y postratamiento de aguas residuales*. Colombia: UniBoyacá, 2002. 320 p.
6. CRITES, Ron; TCHOBANOGLOUS, George. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, 2000. 776 p. ISBN: 958-41-0042-4.

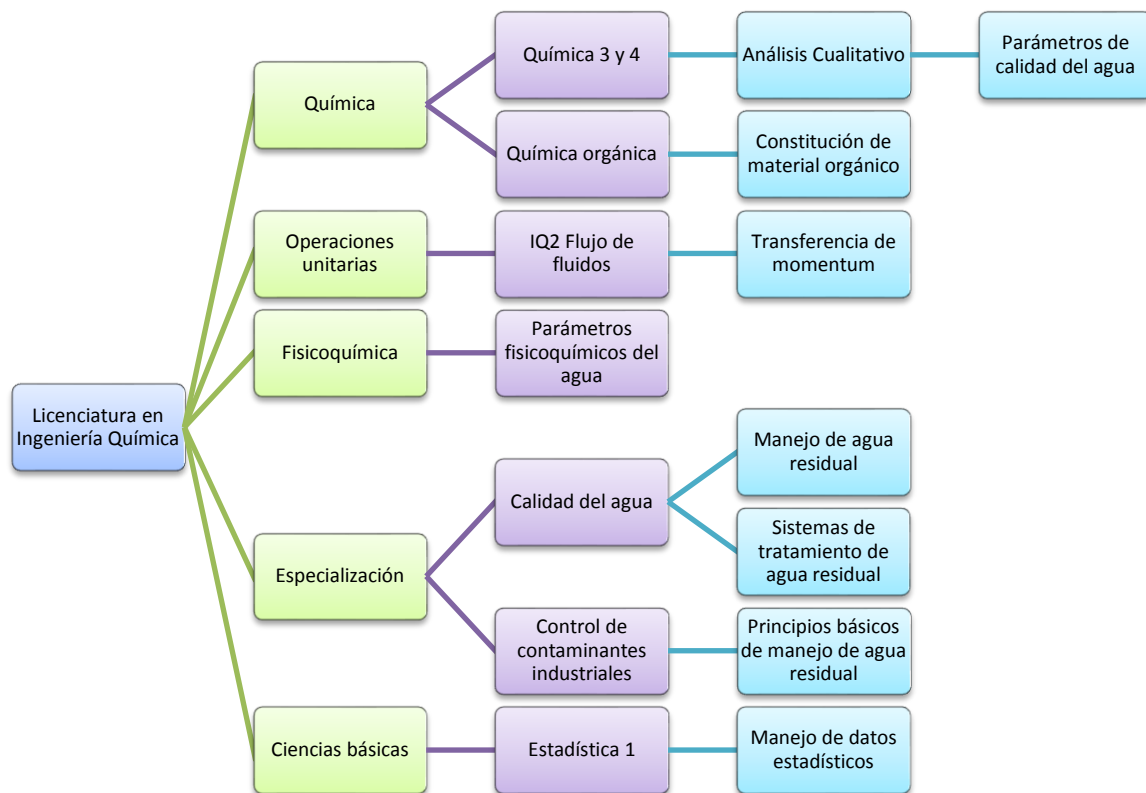
7. ELÍAS, Luiz G. *Composición química de la pulpa del café y otros subproductos*. Guatemala: División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), 1993. 152 p.
8. POLO FERRER, José; SECO TORRECILLAS, Aurora. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. España: Alfaomega, 2008. 188 p. ISBN: 978-970-15-1423-8.
9. RAMALHO, R. S. *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté, 1996. 705 p.
10. RAMÍREZ B., Waleska. *Determinación en la reducción de carga contaminante en una planta de tratamiento de efluentes orgánicos*. Trabajo de graduación de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas, 2008. 76 p.
11. RANCAÑO, Amador; GARRIDO CASTILLO, María Josefa. Caracterización de la biodegradación de las aguas residuales de la industria conservera, en reactores discontinuos secuenciales. *Tecnología del agua*. Vol. 24, No. 249. 96 p. ISSN: 0211-8173.
12. RODRÍGUEZ, J., Sánchez, E. *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Panajachel, Sololá*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 80 p.

13. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del agua*. 3a ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. 484 p.
  
14. \_\_\_\_\_. *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. 3a ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010. 1248 p. ISBN: 958-8060-13-3.



# APÉNDICES

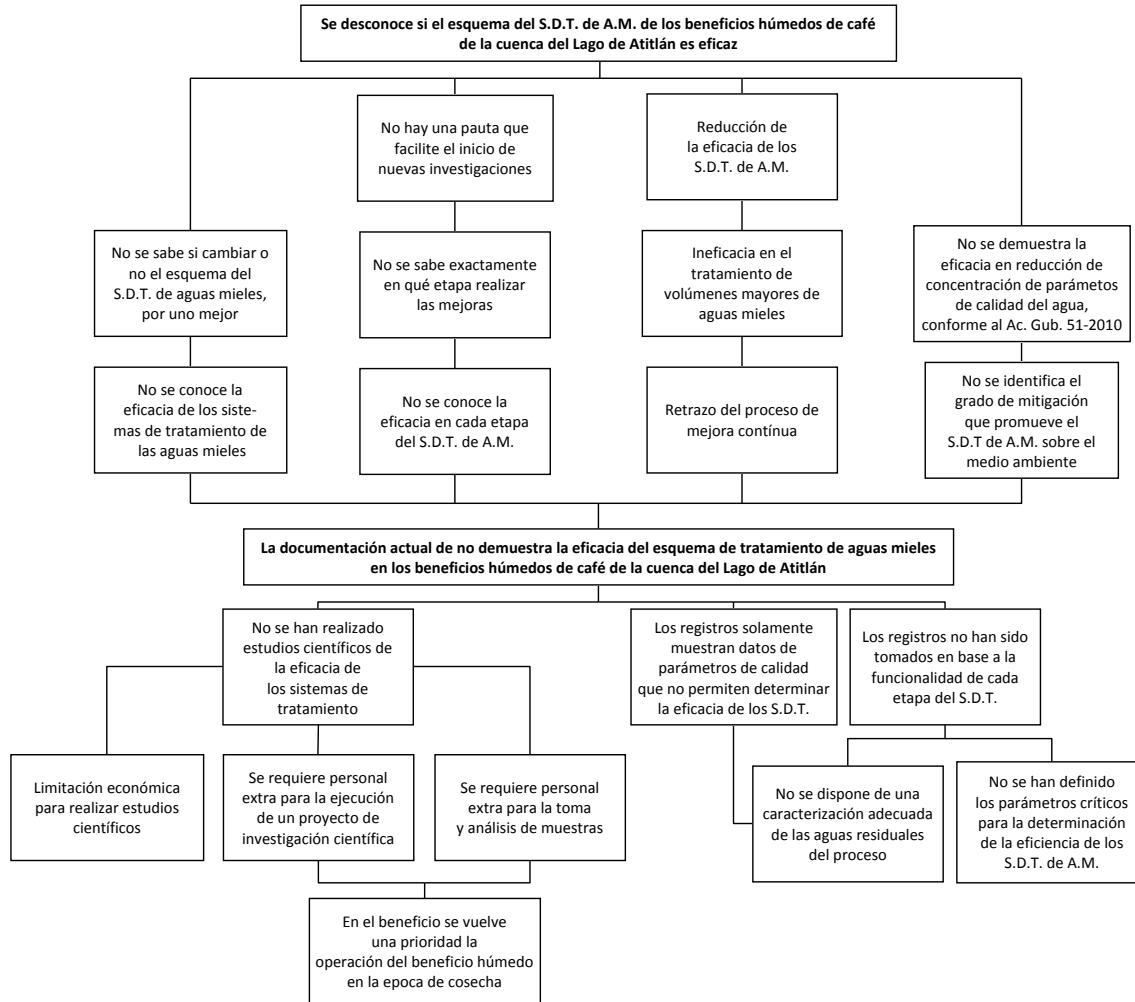
## Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia, con base al pènsum de Ingeniería Química.



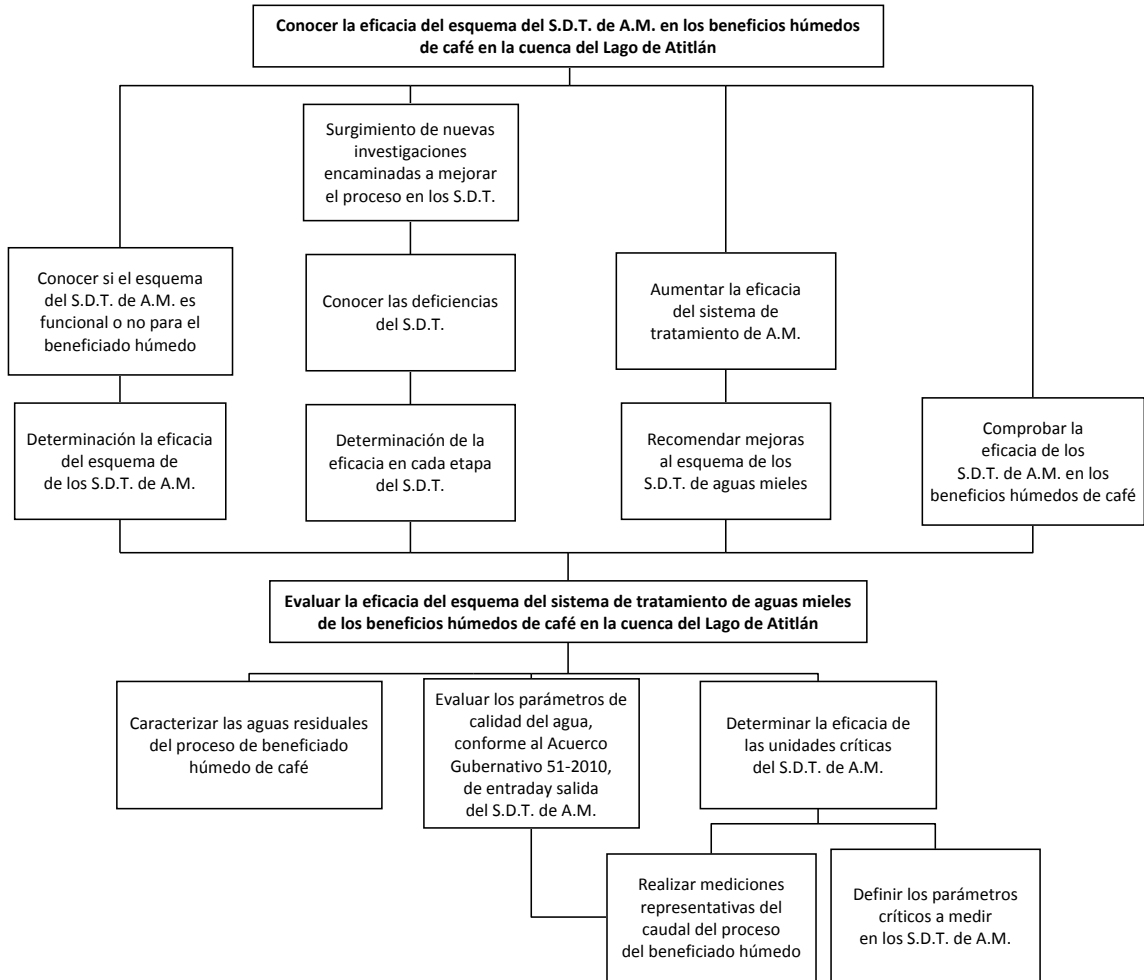
## Apéndice 2. Árbol de problemas



Nota:  
S.D.T.: Sistemas de tratamiento  
A.M.: Aguas mieles

Fuente: elaboración propia.


### Apéndice 3. Árbol de objetivos



Nota:  
 S.D.T.: Sistemas de tratamiento  
 A.M.: Aguas mieles

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Etiquetas para toma de muestras**

<b>Proyecto: Evaluación de eficacia del sistema de tratamiento de aguas mieles</b>			
Nombre del beneficio:	Cooperativa La Voz que Clama en el Desierto		
Lugar de muestreo:	Ejemplo: punto 1: agua de lavado, antes de alcalinizado		
Fecha y hora de muestreo:	_____ de _____ 2011. _____ : _____ horas		
Código de muestra:	Ejemplo: ddmmP1		
pH: _____	T: _____ °C	MFlot: _____ (Presente/Ausente)	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Registro de toma de muestras

REGISTRO DE TOMA DE MUESTRAS					
Proyecto: Evaluación de la eficacia del sistema de tratamiento de aguas miales					
Nombre del beneficio:					
Datos de las muestras					
No.	Código	Descripción	pH <sup>1</sup>	T [°C]	MFlot
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

MFlot: Materia Flotante

Datos de muestreo	
Fecha:	
Hora:	
Nombre del muestreador:	
Firma del muestreador:	
Nombre del encargado del S.D.T. de A.M.	
Firma del encargado del S.D.T. de A.M.	

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Los parámetros de pH, temperatura y materia flotante se realizan in situ.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Resultados de análisis del laboratorio**

Tabla A. **Resultados de laboratorio, de las muestras en proceso**  
**continuo**

Orden:		26 de enero				Descripción: semana 1 (P.C.)			
		miligramos/litro						ppm	
No.	pH	S.S.	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	DQO	DBO5	N Total	P Total
4496	4,40	0,00	5400,00	2000,00	3400,00	9672,00	241,80	259,00	10,02
4497	4,20	0,00	5400,00	2400,00	3000,00	13476,00	2692,00	248,50	23,76
4498	4,30	0,00	4400,00	2800,00	1600,00	10782,00	4312,80	203,00	13,52
4499	4,40	30,00	4200,00	3000,00	1200,00	9597,00	9340,50	161,00	11,40
4500	4,40	6,00	4400,00	2800,00	1600,00	10113,00	7827,50	150,50	11,88
Orden:		02 de febrero				Descripción: semana 2 (P.C.)			
		miligramos/litro						ppm	
No.	pH	S.S.	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	DQO	DBO5	N Total	P Total
5083	3,90	0,00	10000,00	3800,00	6200,00	12609,00	945,00	497,00	31,62
5084	4,00	0,00	8200,00	4400,00	3800,00	15288,00	14898,00	262,00	19,44
5085	4,40	0,00	5400,00	3400,00	2000,00	12381,00	2476,00	192,50	16,23
5086	4,40	0,00	4600,00	3400,00	1200,00	10602,00	10600,00	178,50	12,18
5087	4,40	0,00	4800,00	3200,00	1600,00	10470,00	4445,50	164,50	12,01
5088	4,60	0,00	4200,00	3200,00	1000,00	8939,00	6021,00	147,00	10,59
Orden:		09 de febrero				Descripción: semana 3 (P.C.)			
		miligramos/litro						ppm	
No.	pH	S.S.	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	DQO	DBO5	N Total	P Total
6742	4,10	0,00	6400,00	2200,00	4200,00	7848,00	6076,00	213,50	19,42
6743	3,90	0,00	7200,00	4400,00	2800,00	11994,00	5990,00	227,50	17,39
6744	4,30	0,00	7400,00	3800,00	3600,00	13116,00	12788,10	273,00	25,34
6745	4,30	0,00	6400,00	3800,00	2600,00	12531,00	5321,00	203,00	20,10
6746	4,30	0,00	6000,00	4000,00	2000,00	12876,00	11252,50	231,00	11,09
6747	4,30	0,00	5800,00	4000,00	1800,00	12924,00	11951,00	213,50	16,84

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de Analab.

Continuación del apéndice 6.

Tabla B. **Resultados de laboratorio, de las muestras en proceso estacionario**

Orden:	22 de febrero				Descripción: semana 1 (P.E.)					
		miligramos/litro						ppm		
Número	pH	SS	ST	STD	STS	DQO	DBO5	N Total	P Total	
2958	4,13	0,00	7266,67	2666,67	4600,00	10043,00	2420,93	323,17	20,35	
Orden:	27 de febrero				Descripción: semana 2 (P.E.)					
		miligramos/litro						ppm		
Número	pH	SS	ST	STD	STS	DQO	DBO5	N Total	P Total	
8438	3,60	0,00	2400,00	2000,00	400,00	3806,00	1330,00	52,50	2,39	

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de Analab.

Tabla C. **Resultados de análisis de laboratorio del agua para lavado de café**

Orden:	09 de febrero				Descripción: Calidad del agua de lavado de café					
		miligramos/litro						ppm		
Número	pH	SS	ST	STD	STS	DQO	DBO5	N Total	P Total	
6748	7,40	0,00	200,00	200,00	0,00	18,00	5,00	28,00	0,41	

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de Analab.

## Apéndice 7. Muestra de cálculo

- Cálculo de la eficacia global y de las unidades individuales del sistema de tratamiento

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Dato de entrada} - \text{Dato de salida}}{\text{Dato de entrada}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

En donde:

Eficacia: fracción eliminada de un componente, medido según un parámetro de control determinado. Adimensional

Dato de entrada: valor del parámetro a estudiar a la entrada del sistema de tratamiento, obtenido de los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales [mg/l]

Dato de salida: valor del parámetro a estudiar a la salida del sistema de tratamiento, obtenido de los análisis fisicoquímicos de las agua de desfogue [mg/l]

Ejemplo: se determinó la eficacia global en reducción de sólidos totales, para una semana de operación, con datos de entrada y salida de 5400 y 4200 mg/l respectivamente.

$$\text{Eficacia} = \frac{5400 - 4200}{5400} = 0,22 = 22\%$$

De la misma manera se determinaron las eficacias globales y de las unidades individuales, según las tablas M a la Q, del apéndice 8.

Continuación del apéndice 7.

- Cálculo de las relaciones DQO/DBO5 y N/P

$$\text{Relación} = \frac{\text{D.PA}}{\text{D.PB}} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

En donde:

Relación: Razón numérica adimensional

D.PA: Dato del parámetro "A" analizado, [mg/l]

D.PB: Dato del parámetro "B" analizado, [mg/l]

Ejemplo: se determinó la relación DQO/DBO5 en el punto 4 para la primera semana en proceso continuo, con datos de DQO y DBO5 de 9597 y 9340 mg/l respectivamente.

$$\text{DQO/DBO5} = \frac{9597}{9340} = 1,03$$

De la misma manera se determinaron las relaciones DQO/DBO5 y N/P en el sistema de tratamiento, según las tablas D a la L, del apéndice 8.



Continuación del apéndice 7.

- Determinación de promedios y variación estándar

La desviación estándar  $S$  se calcula según la ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |\bar{x} - x_i|}{n}} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

En donde:

$\bar{x}$ : Es el valor promedio de las mediciones

$x_i$ : Es cada una de las mediciones

$n$ : Es el número de muestras

Ejemplo: se determinó la desviación estándar en las relaciones N/P a través de los cinco puntos del sistema de tratamiento, para la primera semana y los valores son: 25,85, 10,46, 15,01, 14,12 y 12,67.

Primero: se calcula el promedio:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{25,85 + 10,46 + 15,01 + 14,12 + 12,67}{5} = 15,62$$

Continuación del apéndice 7.

Segundo: se calcula la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n |\bar{x} - x_i|}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{|15,62 - 25,25| + |15,62 - 10,46| + |15,62 - 15,01| + |15,62 - 14,12| + |15,62 - 12,67|}{5}}$$

$$= 5,97$$

Los valores de las relaciones N/P, valor promedio y desviación estándar se muestran en la tabla S del apéndice 8.

Apéndice 8. **Datos calculados**

Tabla D. **Relación DQO/DBO5 en los puntos del S.D.T. Primera semana en P.C.**

Punto	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	Relación DQO/DBO
1	Agua de lavado	9672,00	241,80	40,00
2	Sedimentador	13 476,00	2692,00	5,01
3	Primer Tanque de Oxidación	10 782,00	4312,80	2,50
4	Segundo Tanque de Oxidación	9597,00	9340,50	1,03
5	Salida del 2do. Tanque de Oxidación	10 113,00	7827,50	1,29

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 2 del apéndice 7.

Tabla E. **Relación DQO/DBO5 en los puntos del S.D.T. Segunda semana en P.C.**

Punto	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	Relación DQO/DBO
1	Agua de lavado	12 609,00	945,00	13,34
2	Sedimentador	15 288,00	14 898,00	1,03
3	Primer Tanque de Oxidación	12 381,00	2476,00	5,00
4	Segundo Tanque de Oxidación	10 602,00	10 600,00	1,00
5	Salida del 2do. Tanque de Oxidación	10 470,00	4445,50	2,36
6	Salida del Filtro de Rocas	8939,00	6021,00	1,48

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 2 del apéndice 7.

**Tabla F. Relación DQO/DBO en los puntos del S.D.T. Tercera semana en P.C.**

Punto	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	Relación DQO/DBO
1	Agua de lavado	7848,00	6076,00	1,29
2	Sedimentador	11 994,00	5990,00	2,00
3	Primer Tanque de Oxidación	13 116,00	12 788,10	1,03
4	Segundo Tanque de Oxidación	12 531,00	5321,00	2,36
5	Salida del 2do. Tanque de Oxidación	12 876,00	11 252,50	1,14
6	Salida del Filtro de Rocas	12 924,00	11 951,00	1,08

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 2 del apéndice 7.

**Tabla G. Relación DQO/DBO en el punto 2 del S.D.T. Primera y segunda semana en P.E**

Primera Semana: 22 de febrero (Proceso Estacionario - P.E.)				
Punto	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	Relación DQO/DBO
2	Sedimentador	10 043,00	2420,93	4,15
Segunda Semana: 27 de febrero (Proceso Estacionario - P.E.)				
Punto	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	Relación DQO/DBO
2	Sedimentador	3806,00	1330,00	2,86

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 2 del apéndice 7.

Tabla H. **Relación N/P en los puntos del S.D.T. Primera semana en P.C.**

Punto	Descripción	N [mg/l]	P [mg/l]	Relación N/P
1	Agua de lavado	259,00	10,02	25,85
2	Sedimentador	248,50	23,76	10,46
3	Primer Tanque de Oxidación	203,00	13,52	15,01
4	Segundo Tanque de Oxidación	161,00	11,40	14,12
5	Salida del 2do. Tanque de Oxidación	150,50	11,88	12,67

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 2 del apéndice 7.

Tabla J. **Relación N/P en los puntos del S.D.T. Segunda semana en P.C**

Punto	Descripción	N [mg/l]	P [mg/l]	Relación N/P
1	Agua de lavado	497,00	31,62	15,72
2	Sedimentador	262,00	19,44	13,48
3	Primer Tanque de Oxidación	192,50	16,23	11,86
4	Segundo Tanque de Oxidación	178,50	12,18	14,66
5	Salida del 2do. Tanque de Oxidación	164,50	12,01	13,70
6	Salida del Filtro de Rocas	147,00	10,59	13,88

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 2 del apéndice 7.

Tabla K. **Relación N/P en los puntos del S.D.T. Tercera semana en P.C.**

Punto	Descripción	N [mg/l]	P [mg/l]	Relación N/P
1	Agua de lavado	213,50	19,42	10,99
2	Sedimentador	227,50	17,39	13,08
3	Primer Tanque de Oxidación	273,00	25,34	10,77
4	Segundo Tanque de Oxidación	203,00	20,10	10,10
5	Salida del 2do. Tanque de Oxidación	231,00	11,09	20,83
6	Salida del Filtro de Rocas	213,50	16,84	12,68

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 2 del apéndice 7.

Tabla L. **Relación N/P en los puntos del S.D.T. Primera Semana en P.E.**

Primera Semana: 22 de febrero (Proceso Estacionario - P.E.)				
Punto	Descripción	N [mg/l]	P [mg/l]	Relación N/P
2	Sedimentador	323,17	20,35	15,88
Segunda Semana: 27 de febrero (Proceso Estacionario - P.E.)				
Punto	Descripción	IN [mg/L]	P [mg/l]	Relación N/P
2	Sedimentador	52,50	2,39	21,97

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 2 del apéndice 7.

Tabla M. **Eficacia de remoción global del sistema de tratamiento, durante una semana de operación**

		Parámetros [mg/l]						
Fecha	Proceso	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	DQO	DBO5	N Total	P Total
Del 26/01 al 02/02*	Continuo	22%	<RD	71%	8%	<RD	43%	-6%
Del 02/02 al 09/02*	Continuo	42%	-5%	71%	-2%	<RD	57%	47%
Del 22/02 al 27/02	Estacionario	67%	25%	91%	62%	45%	84%	88%

\*Se utilizó filtro de grava. <RD: significa menor del rango de determinación.

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 1 del apéndice 7.

Tabla N. **Eficacia de remoción global del sistema de tratamiento, para una fecha puntual**

		Parámetros [mg/l]						
Fecha	Proceso	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	DQO	DBO5	N Total	P Total
Del 26 de enero	Continuo	19%	-40%	53%	-5%	<RD	42%	-19%
Del 02 de febrero	Continuo	58%	16%	84%	29%	<RD	70%	67%
Del 09 de febrero	Continuo	9%	-82%	57%	-65%	-97%	0,00%	13%

Fuente: elaboración propia, según la ecuación 1 del apéndice 7.

Tabla O. **Eficacia de remoción de la DQO y DBO5 en el punto 2, en proceso estacionario**

Fecha	Punto	Descripción	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	Relación DQO/DBO5
22/02/2011	2	Sedimentador	10 043,00	2420,93	4,15
27/02/2011	2	Sedimentador	3806,00	1330,00	2,86
Reducción			62%	45%	

Fuente: elaboración propia, según ecuaciones 1 y 2 del apéndice 7.

Tabla P. **Eficacia de remoción del Nitrógeno y Fósforo totales en el sedimentador, en proceso estacionario**

Fecha	Punto	Descripción	N [mg/l]	P [mg/l]	Relación N/P
22/02/2011	2	Sedimentador	323,17	20,35	15,88
27/02/2011	2	Sedimentador	52,50	2,39	21,97
Reducción			84%	88%	

Fuente: elaboración propia, según ecuaciones 1 y 2 del apéndice 7.

Tabla Q. **Eficacia de remoción de sólidos en el sedimentador, en proceso estacionario**

Fecha	Punto	Descripción	SS [mg/l]	ST [mg/l]	STD [mg/l]	STS [mg/l]
22/02/2011	2	Sedimentador	0	7267	2667	4600
27/02/2011	2	Sedimentador	0	2400	2000	400
Reducción			<RD	67%	25%	91%

Fuente: elaboración propia, según ecuaciones 1 y 2 del apéndice 7.

Tabla R. **Valor promedio de los valores de pH *in situ*, para las primeras tres semanas de operación del sistema**

No.	Descripción	Promedio
1	Punto 1: Agua del lavado de café	4,21
2	Punto 2: Sedimentador	4,04
3	Punto 3: 1er. Tanque de oxidación	4,10
4	Punto 4: 2do. Tanque de oxidación	4,14
5	Punto 5: Salida del 2do. Tanque de oxidación	4,17
6	Punto 6: Salida del filtro	4,51
7	Verificación de pH después del neutralizado	7,64

Fuente: elaboración propia, en base al apéndice 9.



Tabla S. **Desviación estándar de las relaciones N/P para la primera semana de tratamiento**

Punto	Relación N/P	Promedio	S
1	25,85	15,62	5,97
2	10,46		
3	15,01		
4	14,12		
5	12,67		

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 9.

## Apéndice 9. Datos originales

**Figura A. Registro de toma de muestras y mediciones *in situ* de la primera semana**

REGISTRO DE TOMA DE MUESTRAS					
					Reg. 01_2011
Evaluación de la eficacia del sistema de tratamiento de aguas mieles					Ver. 01
Nombre del beneficio: Cooperativa la Voz que Clama en el Desierto					
Datos de las muestras					
No.	Código	Descripción	pH <sup>1</sup>	T [°C]	MFlot
1	2601P1	Punto 1: Agua del lavado de café	4.16	19.2	5T
2	2601P2	Punto 2: Sedimentador	3.96	19.1	5T
3	2601P3	Punto 3: 1er. Tanque de Oxidación	3.80	18.3	4T
4	2601P4	Punto 4: 2do. Tanque de Oxidación	3.70	17.8	5T
5	2601P5	Punto 5: Salida del 2do. T. de Ox.	3.81	22.3	5T
6		Punto 6: Salida del filtro			
7					
8					
9	X	Verificación de pH después de alcalinizado	5.94	19.6	5T

MFlot: Materia Flotante

Datos de muestreo	
Fecha:	26 de enero de 2011.
Hora:	8:30
Nombre del muestreador:	William Xil
Firma del muestreador:	<i>[Firma]</i>
Nombre del encargado del S.D.T. de A.M.	Pedro Ixtamer Ujfan
Firma del encargado del S.D.T. de A.M.	<i>[Firma]</i>

**Notas:** La dosificación de cal fue de 450 gramos por metro cúbico, el agua utilizada para despulpa y lavado fueron 3 m<sup>3</sup>. 105 g/l de café molido procesado, promedio la fecha 93 g/l. Operación por Pedro Ixtamer.

<sup>1</sup> Los parámetros de pH, temperatura y materia flotante se realizan *in situ*.

Fuente: elaboración propia.

Figura B. Registro de toma de muestras y mediciones *in situ* de la segunda semana

<b>REGISTRO DE TOMA DE MUESTRAS</b>	Reg. 01_2011
Evaluación de la eficacia del sistema de tratamiento de aguas mieles	Ver. 01

<b>Nombre del beneficio:</b> Cooperativa la Voz que Clama en el Desierto					
<b>Datos de las muestras</b>					
No.	Código	Descripción	pH <sup>1</sup>	T [°C]	MFlot
1	0202P1	Punto 1: Agua del lavado de café	4.22	17.4	Si
2	0202P2	Punto 2: Sedimentador	4.18	17.0	Si
3	0202P3	Punto 3: 1er. Tanque de Oxidación	4.38	16.5	Si
4	0202P4	Punto 4: 2do. Tanque de Oxidación	4.55	16.2	Si
5	0202P5	Punto 5: Salida del 2do. T. de Ox.	4.56	16.3	Si
6	0202P6	Punto 6: Salida del filtro	4.81	18.1	No.
7					
8					
9	X	Verificación de pH después de alcalinizado	4.87	18.1	Si.

MFlot: Materia Flotante

<b>Datos de muestreo</b>	
Fecha:	02 febrero 2011.
Hora:	8.00 horas
Nombre del muestreador:	William Xil
Firma del muestreador:	<i>[Firma]</i>
Nombre del encargado del S.D.T. de A.M.	Pedro Ixtamer Ujpan.
Firma del encargado del S.D.T. de A.M.	<i>[Firma]</i>

Notas: La densificación de cal fue 430 gramos por metro cúbico, y volumen de 3 m<sup>3</sup> para el lavado y despulpado de café. 2.01 qq de café molido procesado, promedio actual 94 qq. Operación por otro operario.

<sup>1</sup> Los parámetros de pH, temperatura y materia flotante se realizan in situ.

Fuente: elaboración propia.

Figura C. Registro de toma de muestras y mediciones *in situ* de la tercera semana

REGISTRO DE TOMA DE MUESTRAS	
Evaluación de la eficacia del sistema de tratamiento de aguas mieles	Reg. 01_2011 Ver. 01

Nombre del beneficio: Cooperativa la Voz que Clama en el Desierto					
Datos de las muestras					
No.	Código	Descripción	pH <sup>1</sup>	T [°C]	MFlot
1	0902P1	Punto 1: Agua del lavado de café	4.24	18.1	SI
2	0902P2	Punto 2: Sedimentador	3.97	16.8	SI
3	0902P3	Punto 3: 1er. Tanque de Oxidación	4.11	16.8	SI
4	0902P4	Punto 4: 2do. Tanque de Oxidación	4.07	15.8	SI
5	0902P5	Punto 5: Salida del 2do. T. de Ox.	4.14	16.0	SI
6	0902P6	Punto 6: Salida del filtro	4.22	16.9	SI
7	0902P7	Agua limpia del chorro.	6.85	16.9	No.
8					
9	X	Verificación de pH después de alcalinizado	12.11	18.1	SI

MFlot: Materia Flotante

Datos de muestreo	
Fecha:	09 de febrero de 2011
Hora:	8:00 horas
Nombre del muestreador:	William XI
Firma del muestreador:	<i>[Firma]</i>
Nombre del encargado del S.D.T. de A.M.	Pedro Estanislao Ujpan.
Firma del encargado del S.D.T. de A.M.	<i>[Firma]</i>

Notas: La dosificación de cal fue 470 gramos por metro cúbico, para un volumen de 3 m<sup>3</sup> de agua para lavado y después de 33.99 de café maduro procesado, promedio actual 96 gq. Operación por diferente operario al de la semana anterior.

<sup>1</sup> Los parámetros de pH, temperatura y materia flotante se realizan *in situ*.

Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

### Anexo 1. Límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales al subsuelo

**Artículo 13. Límites Máximos Permisibles para las Descargas al Subsuelo.** Los entes generadores que descarguen aguas residuales al subsuelo en la cuenca del lago de Atitlán, deben cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros que se indican a continuación:

Parámetros	Dimensionales	Fecha máxima de cumplimiento	
		Treinta y uno de agosto de dos mil once	Treinta de junio de dos mil trece
		Uno	Dos
Temperatura	Grados Celsius	Menor de 25	Menor de 25
Grasas y aceites	Miligramos por litro	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	75	50
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	150	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100	60
Nitrógeno total	Miligramos por litro	25	10
Fósforo total	Miligramos por litro	15	5
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6-9	6-9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Color aparente	Unidades platino cobalto	500	300

Fuente: Reglamento de descargas de aguas residuales en la cuenca del lago de Atitlán. Artículo 13 del Acuerdo Gubernativo 12-2011.

Anexo 2.

Resultados de análisis de laboratorio, primera semana

**Orden:** 18-552  
**Propietario:** Roberto Soto / PTAR  
**Finca:** Cooperativa La Voz que Ciama en el Desierto  
**Localización:** San Juan La Laguna Atitlán/ SOLOLÁ



Analisis de Aguas

No.	Identificación	ml/litro		miligramos/litro						
		S.S.	pH	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	D.O.O.	D.B.O. <sub>5</sub>	N total	P total
2958	Pila # 1 10:12 hrs. (1)	0.00	3.80	7,800.00	8,400.00	1,400.00	10,035.00	250.88	175.00	11.80
2959	Pila # 2 10:11 hrs.	0.00	4.10	5,400.00	4,200.00	1,200.00	8,111.00	230.25	147.00	7.30
2960	Pila # 3 10:05 hrs.	4.00	4.30	5,000.00	4,200.00	800.00	7,400.00	185.00	105.00	6.80
2961	Salida del Sistema 10:10 hrs.	0.40	4.40	5,000.00	4,400.00	600.00	9,982.00	348.10	135.00	6.25
2962	Segundo Lavado 10:45 hrs.	2.00	5.80	5,000.00	2,800.00	2,400.00	4,332.00	216.60	140.00	11.20

pH: Potencial de hidrogeno  
 S.S.: Sólidos Suspendidos  
 S.T.: Sólidos Totales  
 S.T.D.: Sólidos Totales Disueltos  
 S.T.S.: Sólidos Totales en Suspensión  
 D.O.O.: Demanda Oximétrica de Oxígeno  
 D.B.O.<sub>5</sub>: Demanda Biológica de Oxígeno  
 N total: Nitrogeno Total  
 P total: Fosforo Total

**Fecha de Ingreso:** Viernes, 07 de Enero de 2011  
**Fecha de Analisis:** Lunes, 10 de Enero de 2011  
**Fecha de Reporte:** Lunes, 17 de Enero de 2011

Los resultados de este informe son validos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.  
 El Laboratorio ANALAB no se responsabiliza por el uso incorrecto que se le de a este informe.  
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

Sta. calle 0-50, Zona 14, Guatemala, Guatemala, C.A.  
 25/03/2011 12:11 p.m.

E-mail: [analab@anacafe.org](mailto:analab@anacafe.org)      [www.laboratorioanalab.com](http://www.laboratorioanalab.com)

Teléfono y Fax: 337-4172  
 Página 1/1

Fuente: laboratorio de agua de Analab.

## Anexo 3. Resultados de análisis de laboratorio, segunda semana

Orden: 18-745  
 Propietario: Roberto Soto / PTAR 10-11  
 Finca: LA VOZ QUE CLAMA EN EL DESIERTO  
 Localización: San Pedro la Laguna, SOLOLA



### Análisis de Aguas

No.	Identificación	pH	S.S.			S.T.			S.T.D.			S.T.S.			D.O.O.			D.O.O.-L			N total			P total			
			S.S.	S.T.	S.T.D.	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	D.O.O.	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	D.O.O.	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	D.O.O.-L	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	N total	S.T.	S.T.D.	S.T.S.
4486	Punto 1 8:30 horas	4.40	0.00	5.400.00	2.000.00	5.400.00	2.000.00	3.400.00	3.400.00	9.672.00	241.80	259.00	10.02														
4487	Punto 2 9:30 horas	4.20	0.00	5.400.00	2.400.00	5.400.00	2.400.00	3.000.00	3.000.00	13.476.00	2.892.00	248.50	23.76														
4488	Punto 3 9:30 horas	4.30	0.00	4.400.00	2.800.00	4.400.00	2.800.00	1.600.00	1.600.00	10.782.00	4.312.80	203.00	13.52														
4489	Punto 4 9:30 horas	4.40	30.00	4.200.00	3.000.00	4.200.00	3.000.00	1.200.00	1.200.00	9.597.00	9.940.50	181.00	11.40														
4500	Punto 5 9:30 horas	4.40	6.00	4.400.00	2.800.00	4.400.00	2.800.00	1.600.00	1.600.00	10.113.00	7.827.50	150.50	11.88														

pH: Potencial de Hidrógeno  
 S.S.: Sólidos Suspendidos  
 S.T.: Sólidos Totales  
 S.T.D.: Sólidos Totales Disueltos  
 S.T.S.: Sólidos Totales en Suspensión  
 D.O.O.: Oxígeno Disuelto  
 N total: Nitrógeno Total  
 P total: Fosforo Total

Ing. Pablo Figueroa  
 ANALAB

Fecha de Ingreso: Jueves, 27 de Enero de 2011  
 Fecha de Reporte: Martes, 08 de Febrero de 2011

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.  
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.  
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.



# Anexo 4. Resultados de análisis de laboratorio, tercera semana

**Orden:** 18-1029  
**Propietario:** Roberto Soto / PTAR 10-11  
**Finca:** LA VOZ QUE CLAMA EN EL DESIERTO  
**Localización:** San Pedro La Laguna, SOLOLA

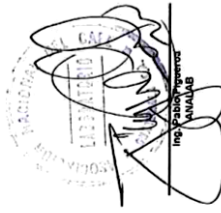


## Análisis de Aguas

No.	Identificación	pH	miligramos/litro			miligramos/litro			ppm		
			S.S.	S.T.D.	S.T.S.	D.O.O.	O.B.O.	N total	P total		
6742	Punto 1 8:00 horas 0902p1	4.10	0.00	2,200.00	4,200.00	7,848.00	6,076.00	213.50	19.42		
6743	Punto 2 8:30 horas 0902p2	3.90	0.00	7,200.00	4,400.00	2,800.00	11,994.00	5,990.00	227.50	17.39	
6744	Punto 3 8:45 horas 0902p3	4.30	0.00	7,400.00	3,800.00	3,600.00	13,116.00	12,798.10	273.00	25.34	
6745	Punto 4 8:15 horas 0902p4	4.30	0.00	6,400.00	3,800.00	2,600.00	12,531.00	5,321.00	203.00	20.10	
6746	Punto 5 10:00 horas 0902p5	4.30	0.00	6,000.00	4,000.00	2,000.00	12,876.00	11,252.50	231.00	11.09	
6747	Punto 6 10:15 horas 0902p6	4.30	0.00	5,800.00	4,000.00	1,800.00	12,824.00	11,951.00	213.50	18.84	
6748	Agua de 8:00 horas 0902p7	7.40	0.00	200.00	200.00	0.00	18.00	5.00	28.00	0.41	

**pH:** Potencial de Hidrógeno  
**S.S.:** Sólidos Sedimentables  
**S.T.D.:** Sólidos Totales Disueltos  
**S.T.S.:** Sólidos Totales Disueltos  
**D.O.O.:** Demanda Química de Oxígeno  
**N total:** Nitrogeno Total  
**P total:** Fósforo Total

**Fecha de Ingreso:** Martes, 15 de Febrero de 2011  
**Fecha de Reporte:** Lunes, 07 de Marzo de 2011



Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.  
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso indebido que se le de a este informe.  
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

Fuente: laboratorio de agua de Analab.

Anexo 5. Resultados de análisis de laboratorio, cuarta semana

**Orden:** 18-1277  
**Propietario:** Roberto Soto / PTAR 10-11  
**Finca:** LA VOZ QUE CLAMA EN EL DESIERTO  
**Localización:** San Juan La Laguna, SOLOLÁ



**Análisis de Aguas**

No.	Identificación	pH	miligramos/litro			miligramos/litro			ppm	
			S.S.	S.T.D.	S.T.S.	D.Q.O.	D.B.O. <sub>5</sub>	N total	P total	
8435	Calicata 2, 9:40 horas C2-2802	6.00	0.00	3,200.00	400.00	2,625.00	2,554.50	70.00	2.20	
8436	Pila de sedimentación, 12:12 horas 2802T1	4.30	8.00	5,600.00	800.00	10,344.00	258.50	129.50	6.26	
8437	Laguna de infiltración, 9:30 horas L1-2802	5.00	0.00	5,800.00	400.00	8,760.00	438.00	143.50	2.40	
8438	Punto 2, 2702P2	3.60	0.00	2,400.00	400.00	3,806.00	1,330.00	52.50	2.39	

pH: Potencial de Hidrógeno  
 S.S.: Sólidos Suspendidos  
 S.T.D.: Sólidos Totales Disueltos  
 S.T.S.: Sólidos Totales en Suspensión  
 D.Q.O.: Demanda Química de Oxígeno  
 D.B.O.: Demanda Bioquímica de Oxígeno  
 N total: Nitrógeno Total  
 P total: Fósforo Total



**Fecha de Ingreso:** Martes, 01 de Marzo de 2011  
**Fecha de Reporte:** Viernes, 18 de Marzo de 2011

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.  
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.  
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

5ta. calle 0-50, Zona 14, Guatemala, Guatemala, C.A.  
 29/03/2011 12:14 p.m.

E-mail: [analab@anacafis.org](mailto:analab@anacafis.org)      [www.laboratorioanalab.com](http://www.laboratorioanalab.com)

Teléfono y Fax: 337-4173  
 Página 1/2

Fuente: laboratorio de agua de Analab.

Anexo 6. Resultados de análisis de laboratorio, quinta semana

Orden: 18-336  
 Propietario: Roberto Soto / FTAR 10-11  
 Finca: LA VOZ QUE CLAMA EN EL DESIERTO  
 Localización: San Pedro la Laguna, SOLOLA

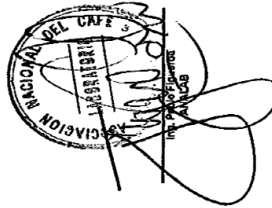


Análisis de Aguas

No.	Identificación	PH	mg/litro			mg/litro			ppm		
			S.S.	S.T.	S.T.D.	S.T.S.	D.O.	D.B.O.	N total	P total	
5082	Punto 1 8:00 horas 0209p1	3.90	0.00	10,000.00	3,600.00	6,200.00	12,896.00	944.00	497.00	31.62	
5084	Punto 2 8:45 horas 0209p2	4.10	0.00	8,200.00	4,400.00	3,800.00	15,288.00	1,658.00	282.00	19.44	
5085	Punto 3 8:45 horas 0209p3	4.40	0.00	5,400.00	3,400.00	2,000.00	12,381.00	2,476.00	192.50	16.23	
5086	Punto 4 8:30 horas 0209p4	4.40	0.00	4,800.00	3,400.00	1,200.00	10,802.00	10,800.00	178.50	12.18	
5087	Punto 5 8:20 horas 0209p5	4.40	0.00	4,800.00	3,200.00	1,600.00	10,470.00	4,446.50	184.50	12.01	
5088	Punto 6 8:05 horas 0209p6	4.60	0.00	4,200.00	3,200.00	1,000.00	8,839.00	6,021.00	147.00	10.59	

PH: Presión de hidrogeno  
 S.S.: Sólidos suspendidos  
 S.T.: Sólidos Totales  
 S.T.D.: Sólidos disueltos  
 S.T.S.: Sólidos suspendidos  
 D.O.: Oxígeno disuelto  
 D.B.O.: Demanda Biológica de Oxígeno  
 N total: Nitrógeno Total  
 P total: Fósforo Total

Fecha de ingreso: Jueves, 03 de Febrero de 2011  
 Fecha de Reporte: Viernes, 10 de Febrero de 2011



Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.  
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso indebido que se le de a este informe.  
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

5ta. calle 0-50, Zona 14, Guatemala, Guatemala, C.A.  
 09052011 11:28 a.m.

E-mail: analab@necafe.org www.laboratorionalab.com

Teléfono y Fax: 374173  
 Página: 1/1

Fuente: laboratorio de agua de Analab.