



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE AGUA MIEL PARA RIEGO EN
PLANTILLAS DE CAFÉ EN EL BENEFICIO HÚMEDO COOPERATIVA NUEVO SENDERO
EN LA ALDEA CHAPAS, NUEVA SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.**

Laura María Varela Palma

Asesorado por el Msc. Ing. Nery Augusto Paz Barrientos

Guatemala, marzo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE AGUA MIEL PARA RIEGO EN
PLANTILLAS DE CAFÉ EN EL BENEFICIO HÚMEDO COOPERATIVA NUEVO SENDERO
EN LA ALDEA CHAPAS, NUEVA SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LAURA MARÍA VARELA PALMA

ASESORADO POR EL MSC. ING. NERY AUGUSTO PAZ BARRIENTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León Paz
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE AGUA MIEL PARA RIEGO EN PLANTILLAS DE CAFÉ EN EL BENEFICIO HÚMEDO COOPERATIVA NUEVO SENDERO EN LA ALDEA CHAPAS, NUEVA SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 22 de febrero de 2013



Laura María Varela Palma

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

ADSE-MEAPP-0013-2013

Guatemala, 22 de febrero de 2013.

Director:
Víctor Manuel Monzón Valdez
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Laura María Varela Palma** con carné número **2004-12357**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

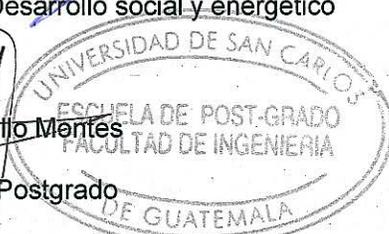
"Id y enseñad a todos"

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

Msc. Ing. Nery Augusto Paz Barrientos
Asesor (a)
Ing. Agr. M.I. Nery Paz
Colegiado 1997

Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la estudiante, **LAURA MARÍA VARELA PALMA**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **“DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE AGUA MIEL PARA RIEGO EN PLANTILLAS DE CAFÉ EN EL BENEFICIO HÚMEDO COOPERATIVA NUEVO SENDERO EN LA ALDEA CHAPAS, NUEVA SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.”**.
Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo 2013

Cc: Archivo
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 182 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE AGUA MIEL PARA RIEGO EN PLANTILLAS DE CAFÉ EN EL BENEFICIO HÚMEDO COOPERATIVA NUEVO SENDERO EN LA ALDEA CHAPAS, NUEVA SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.,** presentado por la estudiante universitaria: **Laura María Varela Palma,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 8 de marzo de 2013

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el centro de mi vida y guía de mi camino.
Mi mamá	Magdalena Palma de Varela, por su infinito amor, compañía inigualable, por ser mi consejera y soporte en momentos difíciles.
Mi papá	José Manuel Varela, por su ejemplo de lucha, perseverancia y fortaleza. Sin su ayuda no lo hubiera logrado.
Mis hermanos	Alejandro José y Luis Ernesto Varela Palma, porque el ejemplo que me han dado ha hecho de mí una mejor persona.
Mis abuelos	Carlos Palma y María Marroquín por su cariño e inspiración en mi vida.
Mi familia	Por ser testigos de cada etapa de mi vida y alentarme a seguir creciendo.
Marilena Varela	Por su bondad y gran corazón.

Mis amigos de la facultad

Por caminar junto a mí este trayecto y compartir conmigo su cariño y amistad. En especial Alejandra Córdova

Mis amigos de ANALAB

Ana López, Gabriela Calderón, Sheymi Hernández, Astrid Aguirre, César Chávez, Rafael Sicajú, Eder Gonzalez y demás compañeros de trabajo por el ánimo y consejos en momentos difíciles.

Mis amigos de maestría

Por hacer más entretenidos esos sábados de convivencia.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por iluminar cada paso de mi caminar y permitirme culminar esta fase de mi vida.
Mis padres	Por creer en mí y apoyarme incondicionalmente a pesar de las adversidades.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrir sus puertas para forjar las bases de mi profesión.
Facultad de Ingeniería	Por formarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. OBJETIVOS	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
6. ALCANCES	17
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	19
7.1. Beneficio húmedo de café	19
7.1.1. Beneficio tradicional (alta utilización de agua)	19
7.1.2. Beneficio semitecnificado (mediana utilización de agua)	19
7.1.3. Beneficio tecnificado (baja utilización de agua)	20
7.1.4. Beneficio artesanal	20
7.1.5. Beneficio comercial	20

7.2.	Tratamiento de aguas residuales del beneficiado de café	21
7.2.1.	Tratamiento primario	21
7.2.2.	Tratamiento secundario.....	21
7.3.	Necesidad nutricional del cafeto	22
7.3.1.	Elementos primarios.....	23
7.3.2.	Elementos secundarios	23
7.3.3.	Elementos menores	23
7.4	Técnicas de riego.....	24
7.5	El uso del agua residual tratada en la agricultura	24
8.	HIPÓTESIS.....	27
9.	CONTENIDO	29
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	31
10.1.	Delimitación de campo de estudio	31
10.2.	Población	31
10.3.	Diseño experimental.....	31
10.4.	Unidad experimental	33
10.5.	Análisis estadístico.....	33
10.6.	Variables respuesta.....	33
11.	CRONOGRAMA	35
12.	RECURSOS.....	37
12.1.	Recursos humanos disponibles	37
12.2.	Recursos materiales disponibles.....	37
12.2.1.	Equipo de medición de campo	37
12.2.2.	Materiales para la toma de muestras de agua	37

12.2.3.	Materiales para la toma de muestras de suelo	38
12.3.	Recursos financieros	38
BIBLIOGRAFÍA.....		39
APÉNDICE.....		41
ANEXOS.....		43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Plano de campo	32
2.	Unidad experimental	33

TABLAS

I.	Cronograma de actividades de investigación	35
----	--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Al	Aluminio
Ca	Calcio
Zn	Cinc
P	Fósforo
Fe	Hierro
Kg	Kilogramo
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
N	Nitrógeno
ppm	Partes por millón
K	Potasio
%	Tanto por ciento
T1	Tratamiento 1
T2	Tratamiento 2
T3	Tratamiento 3
T4	Tratamiento 4

GLOSARIO

Acuerdo Gubernativo 236-2006	Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.
Agua miel	Agua residual proveniente del beneficiado de café
ANACAFE	Asociación Nacional del Café.
ANALAB	Laboratorio de Anacafé.
Conductividad eléctrica (CE)	Medida de la concentración total de sales solubles ionizadas.
Demanda bioquímica de oxígeno	Es la cantidad de oxígeno requerida para degradar la materia orgánica mediante la acción de microorganismos en 5 días. Se abrevia DBO ₅ .
Demanda química de oxígeno	Es la cantidad de oxígeno requerida para degradar la materia orgánica por medios químicos
Materia orgánica (MO)	Materia conformada por constituyentes orgánicos, material vegetal, tejidos animales sin degradar, productos de descomposición parcial y biomasa del suelo.
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Sólidos Suspendidos Totales (STS) Partículas orgánicas e inorgánicas con un diámetro mayor a 1.2 micras que se encuentran dispersas en solución: sedimentables, coloidales o suspendidas.

RESUMEN

El presente diseño de investigación, se realizó con el objetivo de aprovechar el alto contenido de nutrientes del agua miel proveniente del proceso de beneficiado húmedo de café, para riego en plantillas de café y de esta forma poder establecer un método de reuso del agua residual, para evitar su vertido en cuerpos receptores.

Dicho estudio se está llevando actualmente en la época de cosecha (noviembre 2012 a marzo 2013), en el que se establecieron cuatro tipos de tratamiento. Los tratamientos consisten en riego de plantillas de café con agua miel cruda, agua miel tratada, agua limpia (agua potable) y un último tratamiento en el que no se está utilizando riego. La frecuencia de riego consiste en un período de 15 días y una dosis de riego de un litro a cada plantilla.

Se determinarán las características fisicoquímicas del agua utilizada en cada aplicación de riego, y se comparará el efecto de utilizar riego de agua miel cruda y agua miel tratada sobre el desarrollo de plantillas de café, según los parámetros de interés establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y las necesidades nutricionales del cafeto.

Para ello, se empleará un el Análisis De Varianza (ANDEVA) con el paquete estadístico de MSTAT para determinar la diferencia entre tratamientos.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país productor de una de las mejores calidades de café a nivel mundial, cuyo proceso de producción requiere del uso indispensable del recurso hídrico del país.

Los beneficios húmedos de café se han ubicado cerca de fuentes de agua ya que su proceso de producción requiere del uso de grandes volúmenes de agua. El proceso tradicional utiliza entre 2,000 y 3,000 litros de agua para procesar un quintal de café pergamino seco (80 libras de café oro), lo cual es una cantidad exuberante del recurso hídrico. Con el desarrollo de tecnologías se ha reducido el uso de agua de manera significativa de hasta un 90% de menos de agua que el beneficio tradicional, recirculando el agua del despulpado y lavado; estos beneficios tecnificados utilizan de 150 a 300 litros de agua para procesar un quintal de café pergamino seco.

Al tratar beneficiados húmedos de café tecnificados, el agua residual generada se traslada a una planta de tratamiento, donde se lleva a cabo el tratamiento primario que consiste en la remoción de sólidos, y el tratamiento secundario que consiste en un tratamiento químico, en el cual se lleva a cabo un agregado de cal que favorece el precipitado de compuestos en suspensión y aumento del pH de 4,5 a rangos por encima de 9. Al finalizar el tratamiento se cuenta con fosas donde se dispone el agua tratada diariamente, que permiten la infiltración de las mismas desde la superficie hasta el nivel freático, permitiendo el paso del agua hasta los cuerpos receptores. Durante la época de lluvia estas fosas se desbordan transportando la carga contaminante a los subsuelos y superficie de cuerpos receptores.

Las aguas residuales del beneficiado húmedo del café, comúnmente conocida como agua miel se consideran como una de las mayores contaminaciones orgánica en el sector cafetalero. El proceso de despulpado y lavado de 1 kilogramo de café genera una cantidad de agua y material contaminante equivalente a aquella producida por 6 personas en un día (Pujol et al., 2001; Hernández et al., 2000). Por lo que pueden alterar el equilibrio ambiental y poner en peligro la calidad de vida del ser humano, generando problemas de contaminación de agua, aire y suelo.

Es de suma importancia encontrar un método para disposición final del agua que sale de la planta de tratamiento, para evitar la contaminación de cuerpos receptores y de esta forma cumplir con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala. Al mismo tiempo, se pretende contribuir con la economía de la industria caficultora, al aprovechar el agua tratada rica en nutrientes para regar plantillas de café, reduciendo así la necesidad del uso de fertilizantes, y hacer de un desecho un subproducto aprovechable.

El capítulo uno del documento hace referencia a la información básica del proyecto abordando antecedentes y la problemática que dió origen a la creación del mismo.

El capítulo dos abarca generalidades acerca del proceso de beneficiado de café en el que se da a conocer el aporte de la carga orgánica en el recurso hídrico utilizado en la industria cafetalera, para continuar, en el próximo capítulo con el tratamiento del agua residual obtenida después del beneficiado.

El capítulo cuatro hace referencia a los parámetros fisicoquímicos que se deben tomar en cuenta para la reutilización del agua miel según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Los métodos y las técnicas a utilizar para llevar a cabo el proyecto se describen en el capítulo cinco.

2. ANTECEDENTES

El beneficiado húmedo consiste en procesar café maduro y transformarlo en café pergamino seco, cuyo proceso requiere del uso de un elevado volumen agua para las etapas de despulpado, lavado y transporte. A través de los años, preocupados por la conservación del recurso hídrico, se ha mejorado la tecnología con el fin de reducir el consumo de agua. El beneficio tradicional utiliza de 2 000 a 3 000 litros de agua para procesar un quintal de café pergamino seco, con el paso del tiempo se redujo el consumo de agua de 1 000 a 1 500 litros de agua para procesar un quintal de café, nombrándolo beneficio semitecnificado. Más adelante se redujo aún más el consumo de agua de 150 a 300 litros de agua para procesar el mismo quintal de café pergamino seco.

El artículo 20 del Acuerdo Gubernativo no. 236 - 2006 trata sobre los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores; y el artículo 35 trata sobre los parámetros y límites máximos permisibles para reuso, (Acuerdo Gubernativo no. 236-2006).

En 1960 es creada la Asociación Nacional del Café, ANACAFE, la cual ha promovido los más altos estándares en cada aspecto de la producción del grano, respecto a su fortalecimiento local como para exportaciones.

Las mejoras tecnológicas en el beneficiado húmedo, han permitido reducir el uso de agua introduciendo cambios en los sistemas de recibo del café, transporte y proceso, siendo la recirculación del agua el corazón de un sistema que utiliza entre 150 y 200 litros de agua, para el proceso de un quintal de café pergamino seco (más de 90 % de reducción del agua utilizada en el proceso

tradicional). Se redujo el uso de agua, pero quedan aguas residuales más cargadas de materia orgánica, las cuales son manejadas en sencillas plantas de tratamiento de aguas denominadas PTAR, acción que debe ser acompañada de una disposición y utilización de los subproductos con responsabilidad ambiental, (ANACAFÉ, 2006).

En Moshi, Tanzania, la finca Uru & Machare, ha creado un canal para la conducción de aguas mieles a través del área de cultivo, hasta llegar a una zona donde se cultiva plátano. Esto ayuda a humedecer la zona de cultivo, al filtrarse el agua miel por las paredes de los canales.

En Nicaragua los proyectos para la disposición de aguas mieles, ha consistido en el aprovechamiento de los nutrientes que presenta para el riego en suelos infértiles, (Investigación llevada a cabo por estudiantes UNI Norte).

En Cuba, La Habana 2006, se realizó un estudio sobre el uso de aguas residuales del afluente Luyanó para el riego de cultivos de zanahoria, rábano y flor de Marigold. En las primeras cosechas se mostró que es posible alcanzar en ellas altos rendimientos agrícolas, dado el valor fertilizante de estas aguas residuales. Los resultados de la cosecha de rábano no mostraron ningún tipo de contaminación. El suelo y el entorno agrícola tampoco presentaron afectaciones, (Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 2006).

En 2012 se realizó una investigación que consistió en la evaluación del transporte de nutrientes y materia orgánica a través del subsuelo y en el flujo de agua de las fosas de infiltración, en un beneficio húmedo de café de la aldea San Antonio Chacayá, Santiago Atitlán, Sololá. En la investigación se recomienda evaluar el reuso del efluente con fines de riego, debido a que su

alto contenido de nutrientes, mediante la infiltración a través del suelo, incrementa las concentraciones disponibles para la planta, (Doris Vega, 2012).

3. OBJETIVOS

General

Evaluar el agua miel proveniente del proceso de beneficiado húmedo para riego de plantillas de café, en la Cooperativa Nuevo Sendero en la Aldea Chapas, Nueva Santa Rosa, Guatemala, C.A.

Específicos

1. Establecer un método para reuso de agua residual cruda y/o tratada generada en el beneficiado de café, para evitar su vertido en cuerpos receptores.
2. Evaluar las características fisicoquímicas del agua miel tratada y cruda sobre el desarrollo de plantillas de café.
3. Comparar el efecto de utilizar riego de agua potable, agua miel cruda y agua miel tratada sobre el desarrollo de plantillas de café.

4. JUSTIFICACIÓN

El café en Guatemala, constituye uno de los cultivos principales y representa un papel crucial en la economía agrícola por el valor de la producción y la cantidad de divisas, generando un beneficio económico para 1,7 millones de personas. Sin embargo, su procesamiento se enfrenta al reto de producir café de alta calidad sin alterar el equilibrio medioambiental, es por ello la importancia en el manejo adecuado de los subproductos del café.

En el beneficiado húmedo de café se utiliza agua como medio facilitador o de transporte para la clasificación de café, el despulpado, desmucilaginado y clasificación final. El impacto ambiental que conlleva la producción de café se debe principalmente a la pulpa y mucílago, residuos que representan un 40% y entre 15.5-22% en peso del fruto fresco, respectivamente. Para éste proceso se requiere agua con condiciones óptimas, la cual es degradada con los compuestos que se adicionan en el despulpe y lavado del café, en estos procesos se posee la relación de 1 kilogramo de café, genera una cantidad de agua y material contaminante equivalente a aquella producida por 6 personas en un día (Pujol et al., 2001; Hernández et al., 2000), por lo cual se transforma en agua residual con elevada carga orgánica (azúcares reductoras y no reductoras, ácido clorogénico, ácido cafeico, taninos, cafeína, aminoácidos y lisina) es por ello que a estas aguas residuales se le denominan aguas mieles.

El 10% de los beneficios húmedos de café con proceso tradicional ha sido reconvertido a beneficios tecnificados, reduciendo el uso de agua de 2 000 - 3 000 a 150 - 200 litros de agua para procesar un quintal de café pergamino seco (ANEXO 1). El resultado son aguas residuales más cargadas de materia

orgánica que son manejadas en sencillas plantas de tratamiento de aguas. Mientras que los beneficios que no son tecnificados descargan el agua residual a cuerpos receptores sin previo tratamiento.

El agua residual tratada posee un alto contenido nutricional que es aprovechado por los plantillas de café al utilizarla como riego. De esta manera resultaría una disminución en la necesidad de utilizar productos químicos y por ende una disminución en costos de fertilización, al mismo tiempo que se reduce el impacto ambiental que se produce al verter dichas aguas en cuerpos receptores.

Durante la etapa de plantilla la planta de café, se encuentra delicada, susceptible a varias enfermedades o deformaciones de las cuales se deben prevenir con un adecuado manejo de fertilización. Por lo que es de suma importancia no disminuir la aplicación de nutrientes para que las plantillas se encuentren en buena forma, vigorosas y libre de plagas y enfermedades.

A raíz de la gran preocupación existente por la dificultad para el cumplimiento del artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006, Límites Máximos Permisibles de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores; y de trabajos de investigación anteriores que recomiendan: evaluar el reuso del efluente con fines de riego, debido a que su alto contenido de nutrientes, mediante la infiltración a través del suelo, incrementa las concentraciones disponibles para la planta (Doris Vega, 2012); se ha propuesto apoyar el monitoreo de los efluentes residuales con tratamiento y sin tratamiento, y estudiar tecnologías apropiadas, integrales y eficientes para el reuso de éstos con fines de riego en plantilla de café, pues la fertilización o nutrición del suelo es fundamental para el desarrollo de cada una de las etapas

fenológicas de los cultivos. Al mismo tiempo se reducen costos en la fertilización de plantillas de café.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para las aguas residuales de un beneficio tecnificado como el de Cooperativa Nuevo Sendero, puede obtenerse una demanda química de oxígeno (DQO) 13 000 - 30 000 ppm; y en general se obtiene un pH ácido. Actualmente el proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficiado de café consiste en tratamiento primario para remoción de sólidos y tratamiento secundario que consiste en fosas de infiltración, que retiene primitivamente el residual, provocando que en época de lluvia las lagunas se desborden, escapándose la carga contaminante, afectando a las aguas superficiales y del subsuelo. Con este tratamiento, se logra eliminar entre un 50-65% de los sólidos suspendidos, entre un 45-50% de DQO y se logra aumentar el pH por encima de 9; valores que no son suficientes para cumplir con el artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 Límites Máximos Permisibles de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores.

Lo descrito anteriormente hace surgir las siguientes interrogantes:

¿Es posible utilizar el agua miel proveniente del proceso de beneficiado húmedo de café con tratamiento y sin tratamiento, para riego de plantillas de café?

¿Existe un método para reuso de agua residual cruda y/o tratada generada en el beneficiado de café para evitar su vertido en cuerpos receptores

¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua miel tratada y cruda sobre el desarrollo de plantillas de café?

¿Qué diferencia existe entre utilizar riego de agua potable, agua miel cruda y agua miel tratada sobre el desarrollo de plantillas de café?

6. ALCANCES

En esta investigación se analizará la calidad del agua miel tratada y cruda destinada para reuso como riego en plantillas de café, según los parámetros de interés establecidos en el artículo 34, del Acuerdo Gubernativo 236-2006; en la Cooperativa Nuevo Sendero ubicada en la Aldea Chapas, Nueva Santa Rosa, Guatemala.

Se realizará una caracterización de las aguas mieles crudas, tratadas y agua limpia para conocer sus propiedades fisicoquímicas e identificar la influencia de éstas en el desarrollo de plantillas de café.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

7.1. Beneficio húmedo de café

La caracterización del parque de beneficios se ha dividido en los siguientes cinco tipos:

7.1.1. Beneficio tradicional (alta utilización de agua)

Este tipo de beneficio fue construido al final del siglo XIX. Generalmente, se encuentra ubicado en lugares que presentan una red hídrica con bastante caudal. Su característica principal es que debido a su diseño, requiere para su operación de grandes volúmenes de agua, la que es utilizada tanto para el procesamiento del grano como para la generación de energía hidráulica de operación. Se estima que estos beneficios utilizan alrededor de 2 000 a 3 000 litros de agua para procesar un quintal de café pergamino seco (80 libras de café oro). Esta cantidad de agua utilizada sale hacia fuentes de agua, arrastrando subproductos del café, como mucílago y pulpa, provocando contaminación, (ANACAFE 2006).

7.1.2. Beneficio semitecnificado (mediana utilización de agua)

Se ubica por lo general cerca de una fuente de abastecimiento de agua, ya que el proceso es el mismo de un beneficio tradicional con una reconversión gradual, principalmente en la recirculación del agua, logrando una disminución de hasta un 50%. Se estima que estos beneficios utilizan alrededor de 1 000 y

1 500 litros de agua para procesar un quintal de café pergamino seco, (ANACAFE 2006).

7.1.3. Beneficio tecnificado (baja utilización de agua)

Estos beneficios pueden estar ubicados en cualquier lugar de la finca, no necesariamente a orillas de un cuerpo de agua. El desarrollo tecnológico ha permitido crear sistemas que tienden a minimizar aún más la cantidad de agua por utilizar, reduciendo los volúmenes hasta en un 90% en comparación con el proceso del beneficio tradicional. Debido a las mínimas cantidades de agua utilizadas, estas pueden manejarse de una mejor forma al momento de salir del beneficio y evitar con ello la contaminación. Se estima que estos beneficios utilizan alrededor de 150 a 300 litros de agua para procesar un quintal de café pergamino seco, (ANACAFE 2006).

7.1.4. Beneficio artesanal

Están distribuidos regularmente dentro de las parcelas y/o viviendas de los pequeños productores, se ubican principalmente en los departamentos de Chiquimula, Zacapa, Alta y Baja Verapaz, Jalapa y Huehuetenango. Realizan la mayoría de las operaciones en forma manual. En este tipo de beneficio, con relación a la disposición y uso de los subproductos del beneficiado húmedo del café, deberán cumplir con los mismos requerimientos de un beneficio tecnificado, (ANACAFE 2006).

7.1.5. Beneficio comercial

Se ubican en zonas de gran concentración de producción y comercialización del producto. Estos beneficios encajan en cualquiera de los

tipos mencionados con anterioridad con excepción del artesanal. Los propietarios no necesariamente son productores de café, (ANACAFE 2006).

7.2. Tratamiento de aguas residuales del beneficiado de café

El tratamiento de aguas residuales del beneficiado de café conlleva como primera condición la recirculación del agua utilizada en el beneficio húmedo. Posteriormente le siguen los siguientes pasos: tamizado, neutralización, homogenización, floculación, decantación y filtración.

7.2.1. Tratamiento primario

Tamizado: consiste en una cámara para atrapar y eliminar físicamente las partículas gruesas como trazas de pulpa y otros, por medio de tamices con orificios de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ y $\frac{1}{16}$ de pulgada. Los tamices pueden ser de 0,20 X 0,47m insertados en una hendidura con una inclinación de 60°. El piso de la cámara tendrá una pendiente inversa al flujo de 3% para que el agua pierda velocidad e incremente la eficiencia de atrape. Luego el agua se conduce a un homogeneizador.

7.2.2. Tratamiento secundario

Reducción de la acidez: se agrega una solución de 2% de hidróxido de calcio (cal) dependiendo de la cantidad de agua residual disponible (3 a 6 gr/Lt). Con el fin de elevar el pH. Al mismo tiempo se genera el efecto de la floculación y decantación.

Decantación: consiste en dos o más pilas para que se realice la floculación. El tiempo de residencia hídrica será de 24-48 horas. El piso tiene

una pendiente de 15% para que el agua pase por escorrentía. La expectativa de eficiencia en la reducción de carga orgánica de estas pilas será eliminar entre el 50-65% de los sólidos suspendidos y 45-50% de DQO, (ANACAFE, 2006).

Drenaje con golpeteo para dar aireación: consiste en un canal que conduce al agua clarificada a las fosas de infiltración. El canal cuenta con topes formados con piedra pomes para provocar que el agua golpee y así darle aireación, (ANACAFE, 2006).

Fosas de infiltración: el tiempo de residencia hídrica es toda la época posterior a la finalización de la temporada del beneficiado. La pulpa es transportada hidráulicamente hacia fosas de infiltración, en donde puede separarse el agua que sirve como vehículo de la pulpa y verterla hacia zanjones naturales, dentro de las fincas. El caso extremo a evitar, es que ambos subproductos vayan directamente hacia el cuerpo receptor. El agua proveniente del proceso de lavado y clasificación es generalmente, canalizada con el agua de despulpado. En el caso de los beneficios tradicionales la carga contaminante se reduce por dilución, debido a los altos volúmenes de agua utilizada en el proceso, (Doris Vega, 2012).

7.3. Necesidad nutricional del cafeto

El conocimiento de la función de cada uno de los nutrientes en la nutrición del café nos permite reconocer la importancia de mantener, ya sea en el suelo y/o a través del tejido foliar, niveles adecuados de estos, para contribuir a la obtención de buenas cosechas y de alta calidad.

7.3.1. Elementos primarios

Son los que absorben en altas cantidades, tal como el nitrógeno, fósforo, potasio, por lo general la mayoría de los suelos cafetaleros del país son deficientes en nitrógeno. En algunos suelos, derivados de cenizas volcánicas o con valores de PH. Menores a 5.5, pueden estar también deficientes en Fósforo, en cambio al potasio, se le encuentra en niveles adecuados, (Guerra, 2006).

7.3.2. Elementos secundarios

Se absorben en cantidades intermedias, como el calcio, magnesio y azufre. Son llamados elementos secundarios; no por menos importantes, sino porque se requieren en menores cantidades. Estos tres nutrientes son agregados al suelo cuando se aplican (N-P-K), en las fórmulas completas, ya que forman iones acompañantes, como es el caso del sulfato de amonio $(\text{NH}_4)^2\text{SO}_4$, que además de nitrógeno lleva azufre; o cuando se usa como material de relleno sustancias que contienen considerables cantidades de calcio y/o magnesio, (Guerra, 2006).

7.3.3. Elementos menores

La planta los absorbe en pequeñas cantidades y son: boro, zinc, cobre, hierro, manganeso, cloro y molibdeno. También son llamados los micronutrientes, por ser requeridos por las plantas en mínimas cantidades, ya que no forman parte estructural de los tejidos, (Guerra, 2006).

7.4. Técnicas de riego

La época más adecuada para establecer las plantillas es al final de la época lluviosa; para la mayoría de regiones, a partir de septiembre, aunque esto tiene que ver mucho con la edad, tamaño y época en que se desea trasplantar a campo definitivo. El agua es de vital importancia, la de lluvia se complementa con el riego en los días secos de invierno, así mismo durante todo el verano. Se recomienda la supervisión del riego para que se realice en forma correcta. Debe ponerse especial atención en la penetración adecuada del agua en la bolsa, La frecuencia depende del suelo y del ambiente, se debe tener cuidado con la compactación de la bolsa, (ANACAFE, 2006).

7.5. El uso de agua residual tratada en la agricultura

La utilización de las aguas residuales tratadas en la agricultura constituye una herramienta muy valiosa, que poseen los países en vías de desarrollo, para contrarrestar la gran contaminación causada por las aguas residuales, haciendo así un recurso muy valioso y muy importante para el incremento de la producción agrícola. Esta fuente hídrica puede constituir en un problema sanitario, pero a su vez es un recurso muy apreciado para el riego y la piscicultura. Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos, estos nutrientes se conservan en el protoplasma de las algas al tratar las aguas residuales en lagunas de estabilización, (Sáenz, 2002).

Los usos de las aguas residuales pueden ser: silvicultura, forrajes, hierbas, alfalfa, etc. maíz, trigo, cebada, caña de azúcar, remolacha, menta, algodón, tabaco y sólo con buen manejo y alto grado de tratamiento, en frutas y vegetales.

La utilización de aguas residuales sin tratar o con un tratamiento inadecuado en la agricultura, implica riesgos para la salud de los trabajadores agrícolas y sus familias, lo mismo que para la población en general que consume los productos. Se presentan altas tasas de enteritis o enfermedades diarreicas, provenientes de las aguas residuales. El bajo grado de saneamiento ambiental, y el uso de aguas residuales crudas en riego sin control, es causa de la alta incidencia de enfermedades entéricas causadas por bacterias (salmonellas, shigellas, *Vibrio cholerae*), parásitos y virus, (Sáenz, 2002).

8. HIPÓTESIS

El agua miel con tratamiento posee características fisicoquímicas para riego que beneficiarán el desarrollo de platillas de café.

9. CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. BENEFICIADO DE CAFÉ

2.1. Proceso de beneficiado húmedo de café

2.2. Importancia del uso del recurso hídrico en el beneficiado de café

3. TECNOLOGÍA BÁSICA DE TRATAMIENTO PARA REUSO DE AGUA
MIEL

3.1. Tratamiento primario

3.2. Tratamiento secundario

4. CALIDAD DEL AGUA MIEL DESTINADA PARA REUSO COMO RIEGO
EN PLANTILLAS DE CAFÉ

4.1. Uso de agua residual tratada en la agricultura

4.2. Importancia del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 en la industria
cafetalera

4.3. Macronutrientes

4.4. Micronutrientes

4.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

5. METODOLOGÍA

6. RESULTADOS

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Los métodos y técnicas aplicadas para el desarrollo del estudio son las siguientes:

10.1. Delimitación de campo de estudio

- Área: Calidad del agua para riego.
- Proceso: Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Etapa del proceso: Agua residual del beneficiado de café y agua del tratamiento secundario, fosas de infiltración.
- Ubicación: El muestreo se realizará en un beneficio húmedo de café tecnificado ubicado en Aldea Chapas, Nueva Santa Rosa, Santa Rosa, Guatemala. Los análisis respectivos se realizarán en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (ANALAB) de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE).

10.2. Población

La población consiste en 16 parcelas constituidas por 12 plantillas de café cada una. Para la población neta se requerirán 192 plantillas de café de la variedad caturra, las cuales se encontrarán sembradas en campo definitivo, con tipo de suelo arcilloso.

10.3. Diseño Experimental

Se utilizara un diseño experimental de 4X4 distribuido en bloques al azar, formado por 4 tratamientos con cuatro repeticiones.

- T1: riego 100 % con agua miel cruda.
- T2: riego 100% con agua miel tratada, de la PTAR
- T3: riego con agua limpia (testigo absoluto)
- T4: sin riego

El T1 será identificado con cinta color naranja, el T2 con cinta color amarillo, el T3 con cinta color rojo y el T4 con cinta color blanco

Figura 1. Plano de campo

Lagunas de Oxidación

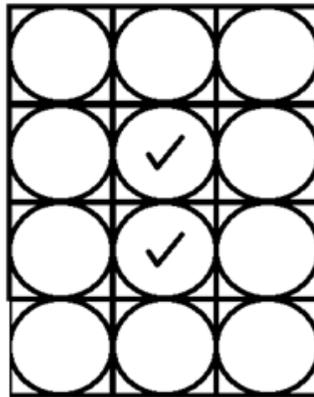
	T-2	T-1
	T-4	T-3
	T-1	T-4
	T-3	T-2
	Repetición 3	Repetición 4
Cafetal	T-4	T-3
	T-2	T-1
	T-3	T-2
	T-1	T-4
	Repetición 1	Repetición 2
	Potrero	

Fuente: elaboración propia.

10.4. Unidad experimental

Cada unidad experimental está representada por 9 plantillas de café sembradas en campo definitivo, de las cuales se tomará en cuenta la plantilla central que constituye la unidad experimental neta.

Figura 2. Unidad experimental



Fuente: elaboración propia.

10.5. Análisis estadístico

Se realiza el Análisis De Varianza (ANDEVA) con el paquete estadístico de MSTAT para determinar la diferencia entre tratamientos. Se obtendrán los resultados a través de gráficos y tablas.

10.6. Variables respuesta

Análisis según Acuerdo Gubernativo 236-2006 para reuso de aguas residuales.

- Análisis del agua para fines de riego: pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, cobre, hierro, manganeso, zinc, boro, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, razón de adsorción de sodio, conductividad eléctrica, dureza , alcalinidad, DQO, DBO, ST, STS, N total. Se realizará cada 15 días, durante 5 meses.

Análisis para determinar la respuesta del cultivo al agua miel.

- Altura de planta (cm): la toma de datos se realizará al inicio y al final del experimento, la altura se tomará a partir de 0.5 cm por encima del nivel del suelo hasta el meristema apical.
- Diámetro de tallo de planta (mm): la toma de datos se realizará al inicio y al final del experimento, el diámetro se tomará 5 cm por encima del nivel del suelo.
- Nivel nutricional del sustrato: (análisis de suelo pH, M.O.,CE, Al, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn). Este se realizará al inicio y al final de cada tratamiento.
- Nivel nutricional del plantilla: (análisis foliar N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn). Este se realizará únicamente al finalizar el experimento.

11. CRONOGRAMA

A continuación se presentan las actividades programadas, para la recolección, aplicación de metodología y análisis de resultados. A fin de obtener un informe final.

Tabla I. **Cronograma de actividades de investigación**

	NOVIEMBRE							DICIEMBRE							ENERO							FEBRERO							MARZO																				
	Semana 1			Semana 3				Semana 1			Semana 3				Semana 1			Semana 3				Semana 1			Semana 3				Semana 1			Semana 3																	
	5	6	7	8	9	19	20	21	22	23	3	4	5	6	7	17	18	19	20	21	7	8	9	10	11	21	22	23	24	25	4	5	6	7	8	18	19	20	21	22	4	5	6	7	8	18	19	20	21
Recolección de agua residual cruda	■					■					■					■					■				■					■					■					■					■				
Tratamiento de agua (48 hrs.)	■	■				■	■				■	■				■	■				■	■			■	■				■	■				■	■				■	■				■	■			
Riego de plantillas de café (agua limpia, agua residual cruda, agua residual tratada)																																																	
Toma de muestras para análisis (agua limpia, agua residual cruda, agua residual tratada)																																																	

Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS

Los recursos utilizados para la investigación son:

12.1. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Laura María Varela Palma
- Asesor: Ing. M.Sc. Nery Paz
- Colaboradores: Ing. M.Sc. Edgar López
Ing. Agrónomo Roberto Soto
Ing. Qco. Humberto Jiménez
- Laboratorio de ANACAFE (ANALAB).

12.2. Recursos materiales disponibles

Los recursos y materiales empleados son:

12.2.1. Equipo de medición en campo

- Cinta métrica
- Vernier

12.2.2. Materiales para toma de muestras de agua

- Hieleras para transporte de muestras

- Recipientes plásticos con capacidad de 2 litros par toma de muestra
- Etiquetas
- Guantes latex
- Papel mayordomo

12.2.3. Materiales para toma de muestras de suelo

- Bolsas de papel kraft para muestra de suelo
- Caja plástica
- Barreno
- Machete

12.3. Recursos financieros

Los análisis de suelo y aguas se realizarán y serán financiados por el Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas (ANALAB) de Asociación Nacional del Café (ANACAFE).

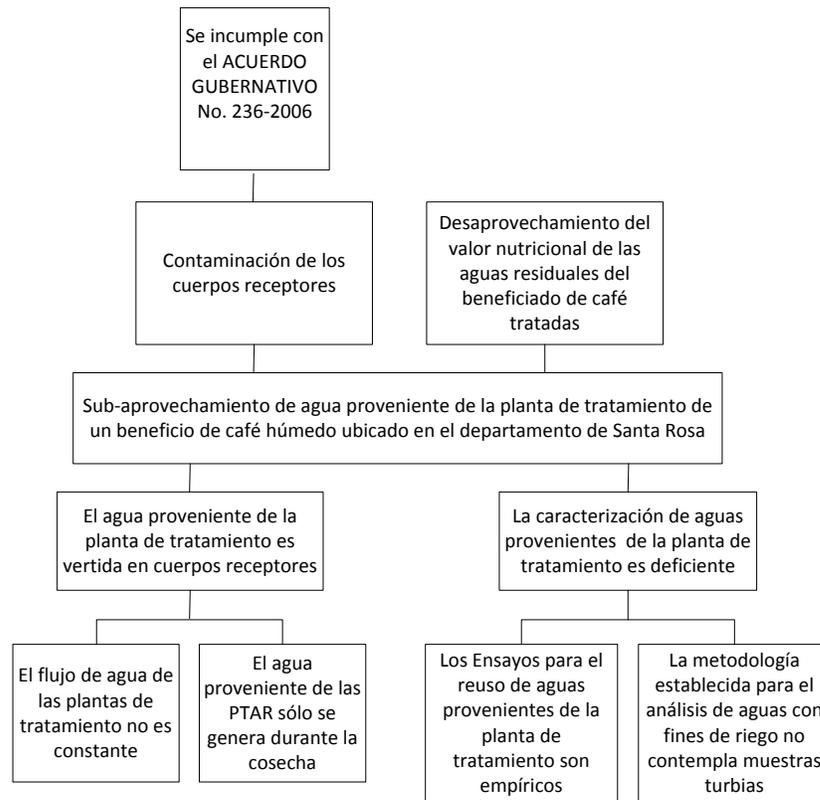
BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE. (1986). Manual de Caficultura, Asociación Nacional del Café. Guatemala.
2. ANACAFE. (1991). Manual de Caficultura, Asociación Nacional del Café. Guatemala.
3. ANACAFE. (1998). Manual de Caficultura, Asociación Nacional del Café. Guatemala.
4. ANACAFE. (1999). Manual de Caficultura, Asociación Nacional del Café. Guatemala.
5. ANACAFE. (2006). *Guía Técnica de Caficultura*. Guatemala.
6. Ayers, R.S; Westcot, D.W. (2010). Calidad del agua para la agricultura. Roma.
7. Gil Pichado, Dario; et al. *Estudio sistema de tratamiento de las aguas mieles en Salcedo, República Dominicana*. República Dominicana.
8. Guerra, Marco Tulio. (2006). Sistematización de las experiencias Obtenidas en las Aplicaciones Foliaras de Boro (B), Zinc (Zn), Potasio (K) y sus Mezclas, en el Cultivo de Café (*Coffea Arabica*). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

9. Matos, A., Pinto, A., & Borges, J. (1999). Caracterizacáo das águas residuárias de lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro e possibilidade de seu uso na fertirrigacáo. Londrina (Brasil).
10. Matuk V., V.; Puerta Q., G.I.; Rodriguez V., N. (1996). El impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo de café. Chinchiná (Colombia), CENICAFE.
11. Méndez Marcial, Pérez Jeny, et. Al. Uso de las Aguas Residuales para el Riego de Cultivos Agrícolas en la Agricultura Urbana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 15, número 003. Universidad Agraria de La Habana. La Habana, Cuba.
12. Solórzano Ponce, Rita Yesenia. (2005). Determinación de la Calidad del Agua para Consumo Humano y Uso Industrial Proveniente de la Planta De Tratamiento la Carbonera, Municipio De Sanarate, Departamento de El Progreso, Guatemala. Guatemala.
13. Suárez Montes, J.G. (1977). Calidad del agua para riego. Bogotá (Colombia). Instituto Colombiano Agropecuario.
14. Vega, D. (2012). Evaluación del Transporte De Nutrientes y Materia Orgánica a Través del Subsuelo y en el Flujo De Agua De La Fosa De Infiltración De Un Beneficio Húmedo de Café, Ubicado en la Aldea San Antonio Chacayá, Santiago Atitlán, Sololá. Guatemala.
15. Zambrano F., D.A.; et al. (1999). Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Colombia.

APÉNDICE

Apéndice I. Árbol de Problemas



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo I. Evaluación Ambiental Aplicada a Beneficios Húmedos de Café

Equipo Técnico de Postcosecha
Evento de Capacitación sobre "Instrumentos de Evaluación Ambiental Aplicados a Beneficios Húmedos de Café - Mayo de 2011

Consolidación Nacional de Beneficios Húmedos de Café - Por Tipo

		Bajo uso de agua	Mediano uso de agua	Alto uso de agua	TOTAL	Comerciales
		"Tecnificado"	"Semi-Tecnificado"	"Tradicional"		
		100-250 litros/qq cps	1,500-2,500 litros/qq cps	3,000-5,000 litros/qq cps		
Versión Actual	NACIONAL	412	619	3,094	4,125	20
		10%	15%	75%		
Actualización 2011	REGIÓN I	26	35	486	547	6
		5%	6%	89%		
Actualización 2011	REGIÓN II	46	13	261	320	17
		14%	4%	82%		
Actualización 2011	REGIÓN III	50	66	146	262	12
		19%	25%	56%		
Actualización 2011	REGIÓN IV	351	446	286	1083	57
		32%	41%	27%		
Actualización 2011	REGIÓN V	48	47	66	161	1
		30%	29%	41%		
Actualización 2011	REGIÓN VI	33	68	98	199	16
		17%	34%	49%		
Actualización 2011	REGIÓN VII	115	90	22	227	28
		47%	43%	10%		
Consolidado Nacional		669	765	1365	2,799	137
Actualización 2011		24%	27%	49%		

Fuente: proporcionada digitalmente por ANACAFE.

Anexo I. **Regiones cafetaleras de Guatemala**

REGIÓN	DEPARTAMENTOS
Región I	Quetzaltenango y San Marcos
Región II	Suchitepéquez, Retalhuleu, Sololá y Pochuta Chimaltenango
Región III	Guatemala, Chimaltenango, Escuintla, Sacatepéquez, El Progreso
Región IV	Santa Rosa, Jalapa y Jutiapa
Región V	Huehuetenango y Quiché
Región VI	Alta Verapaz, Baja Verapaz y El Estor, Izabal
Región VII	Calle Principal, Barrio El Centro, La Unión, Zacapa

Fuente: proporcionada por ANACAFE.