UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

EFECTO DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arabica* L) SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS, EN DOS LOCALIDADES DE ESQUIPULAS Y DOS DE QUEZALTEPEQUE, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2016

MIRNA LILIANA MORÁN VÁSQUEZ

CHIQUIMULA, GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

EFECTO DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arabica* L) SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS, EN DOS LOCALIDADES DE ESQUIPULAS Y DOS DE QUEZALTEPEQUE, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2016

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

MIRNA LILIANA MORÁN VÁSQUEZ

Al conferírsele el título de

INGENIERA AGRÓNOMA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

RECTOR
Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Representante de Profesores:	M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado
Representante de Profesores:	Lic. Zoot. Mario Roberto Suchini Ramírez
Representante de Graduados:	Lic. Zoot. Oscar Augusto Guevara Paz
Representante de Estudiantes:	Br. Carla Marisol Peralta Lemus
Representante de Estudiantes:	PAE. Alberto José España Pinto
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Coordinador de Carrera:	M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado
M.Sc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda

TERNA EVALUADORA

M. Sc. José Leonidas Ortega Alvarado
Ing. Agr. Edgar Jerónimo Lemus Sagastume
Ing. Agr. Reynaldo José Marroquín Castañeda

Guatemala, septiembre de 2016

Señores:
Miembros de Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad de Chiquimula

Honorables miembros

De conformidad por las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de graduación titulado:

EFECTO DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arabica* L) SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS, EN DOS LOCALIDADES DE ESQUIPULAS Y DOS DE QUEZALTEPEQUE, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2016.

Como requisito previo para optar al titulo de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

Atentamente,

MIRNA LILIANA MORÁN VÁSQUEZ
Carnet: 200540469

REF-PTG- JAUD-08-2016
Chiquimula, julio de 2016

MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación -PTG- de la carrera de Agronomía, para asesorar al estudiante, Mirna Liliana Morán Vásquez carné: 200540469, en el trabajo de investigación denominado **EFECTO DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ *Coffea arabica L.*, SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS, EN DOS LOCALIDADES DE ESQUIPULAS Y DOS DE QUEZALTEPEQUE, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2016".",** tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar al sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, en el Grado Académico de Licenciado.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. José Ángel Urzúa Duarte
Asesor Principal

CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
COORDINACIÓN DEL PROGRAMA
TRABAJOS DE GRADUACIÓN
AGRONOMÍA

cc. Archivo

CUNORI
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

D-TG-A-093/2016

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **MIRNA LILIANA MORÁN VÁSQUEZ** titulado **"EFECTO DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arabica* L) SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS, EN DOS LOCALIDADES DE ESQUIPULAS Y DOS DE QUEZALTEPEQUE, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2016",** trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Ingeniero Agrónomo. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **Ingeniera Agrónoma.**

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a nueve de agosto de dos mil dieciséis.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Oriente
Chiquimula
Dirección

MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
DIRECTOR
CUNORI - USAC

c.c. archivo
NWGC/ars

ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

Quien es el creador de todo lo existente, Él que da la Sabiduría para alcanzar el éxito en una meta, Dios es mi todo.

A MIS PADRES:

Mary Vásquez Sinay

Humberto Enrique Morán

Quienes con gran esfuerzo han luchado para ver este día hecho realidad. Quienes a cada momento me ha apoyado y muchas veces exigido con el fin de terminar la fase que un día se inicio. A quienes agradezco por ser los padres que nos han guiado con sus consejos a acercarnos con agradecimiento a Dios, quienes con sus exhortaciones me corrigen para hacer de mi una persona de bien.

A MI HERMANO:

Carlos Humberto Morán

Quien es mi ejemplo y el mayor regalo que Dios puso en mi familia. A quien admiro por su nobleza y rectitud de carácter.

A MIS PADRINOS DE GRADUACIÓN:

Dr. José Efraín Orellana

Dr. Guillermo Federico Catalán

Quienes son un ejemplo de personas y profesionales dignos de admirar e imitar, a ustedes también les dedico este acto porque son parte de mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Porque ser mi proveedor, la lumbrera que guía mi camino, mi fuerza, mi roca, mi escudo y castillo en quien me refugio en medio de la tempestad. A Él sea la gloria y la honra por siempre.

A MIS PADRES:

Por el apoyo que me brindaron todo el tiempo de la carrera y para realizar esta investigación, quienes se esforzaron cada día para ver de sus hijos unos profesionales para servir a Dios, a la nación.

A MI HERMANO:

Por ser la persona con la que puedo contar siempre pese a la situación se que siempre estarás ahí. Sos una bendición en mi vida.

A MIS PADRINOS DE GRADUACIÓN:

Dr. José Efraín Orellana

Dr. Guillermo Federico Catalán

Por recordarme siempre que debía de culminar esta etapa, quienes estuvieron pendientes de que este día llegara, les agradezco por las palabras de animo que han expresado a mi persona, por estar al cuidado de mi familia, se que siempre podré contar con ustedes, que en los momentos difíciles siempre estarán para tenderme la mano y sostenerme hasta que llega la calma.

A LAS FAMILIAS:

Villafuerte Pérez, Orellana Sandoval, López Recinos, Salazar Aguirre, Berganza Guerra, Catalán Jácome, Girón Girón, Argueta Duarte, Duarte Berganza. Por su cariño y amistad sincera

A MIS ASESORES:

Ing. Agr. José Ángel Úrzua

Por el apoyo brindado durante toda la fase de investigación.

A LOS CATEDRATICOS DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA:

Por formarme a través de los años de estudio, agradezco sus consejos y enseñanzas, muy en especial al Ing. Agr. Emerio Guevara, por el apoyo brindado al inicio de la carrera, al M.Sc. Hugo Villafuerte, por sus consejos que dejan enseñanza para la vida, quien también me brindo su apoyo incondicional en esta investigación.

A LA LICDA. INGRID PORTILLO:

Por creer en mí y ayudarme cada vez que lo necesite. Por brindarme su apoyo en mi carrera de emprendimiento.

AL AGRONOMO MARLON CETINO:

Por su apoyo incondicional en la fase de campo en la realización de esta investigación

ÍNDICE

Contenido **Página**

1. INTRODUCCIÓN 1
2. MARCO CONCEPTUAL 3
   2.1. Antecedentes 3
   2.2. Definición y delimitación del problema 4
   2.3. Justificación 5
3. MARCO TEORICO 6
   3.1. La caficultura de Guatemala 6
   3.2. Caficultura convencional 7
   3.3. Agricultura combinada 8
   3.4. Agricultura orgánica 9
   3.5. El suelo 10
   3.6. Calidad del suelo 10
      3.6.1. Las propiedad del suelo 11
      3.6.2. Propiedades físicas 11
      3.6.3. Propiedades químicas 12
      3.6.4. Propiedades biológicas 13
4. MARCO REFERENCIAL 17
   4.1. Localización 17
   4.2. Clima 18
   4.3. Zona de vida 18
   4.4. Suelos 18
5. MARCO METODOLÓGICO 19
   5.1. Objetivos 19
      General 19
      Específicos 19
   5.2. Área de muestreo 20
   5.3. Recolección de las muestras de suelo 20
   5.4. Variables estudiadas 20
   5.5. Procedimiento a nivel de laboratorio 21

5.6. Diseño experimental 23
5.7. Análisis económico 23
6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 24
6.1. Propiedades físicas 24
6.1.1. Textura 24
6.1.2. Densidad aparente 25
6.1.3. Capacidad de campo 26
6.1.4. Punto de marchitez permanente 27
6.1.5. Porcentaje de materia orgánica 28
6.1.6. Resistencia a la penetración de raíces 29
6.1.7. Síntesis de las propiedades físicas 29
6.2. Propiedades Químicas 30
6.2.1. Potencial de Hidrogeno (pH) 30
6.2.2. Fósforo 31
6.2.3. Potasio 32
6.2.4. Calcio 33
6.2.5. Magnesio 35
6.2.6. Zinc 36
6.2.7. Cobre 37
6.2.8. Hierro 38
6.2.9. Manganeso 39
6.2.10. Aluminio 40
6.2.11. Síntesis de las propiedades químicas 41
6.3. Propiedades biológicas 42
6.3.1. Población de artrópodos y lombrices 42
6.3.2. Síntesis de las propiedades biológicas 43
6.4. Síntesis de las propiedades físicas, químicas y biológicas 44
6.5. Análisis económico 45
7. CONCLUSIONES 47
8. RECOMENDACIONES 48
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 49
10. APENDICE 52
11. ANEXO 55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1.	Clasificación del pH del suelo	13
2.	Productores de 15 fincas en estudio en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas	17
3.	Métodos a utilizar para el análisis de las propiedades del suelo, en las fincas en estudio en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas	22
4.	Texturas de los suelos de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipio de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014	24
5.	Análisis de Varianza del pH del suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014	30
6.	Análisis de Varianza sobre el nivel de fósforo en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014	31
7.	Análilis de Varianza sobre el nivel de potasio en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014.	32
8.	Análisis de Varianza sobre el nivel de calcio en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipio de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014	33
9.	Análisis de Varianza sobre el nivel de magnesio en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014	34

10. Análisis de Varianza sobre el nivel de zinc en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014 35

11 Análisis de Varianza sobre el nivel de cobre en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014 36

12 Análisis de Varianza sobre el nivel de hierro en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014 37

13 Análisis de Varianza sobre el nivel de manganeso en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014 38

14 Análisis de Varianza sobre el nivel de aluminio en el suelo de 15 fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014 39

15 Costos de producción por hectárea de café variedad Catuaí con diferentes tipos de manejo en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014 42

16 Análisis de dominancia de tres diferentes manejos agronómicos para producción del cultivo de café variedad Catuaí, en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014 43

17 Calculo de la tasa marginal de retorno de tres diferentes manejos agronómico para la producción del cultivo de café variedad Catuaí, en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014. 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1	Comparación de la densidad aparente del suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.	25
2	Comparación de la capacidad de campo del suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.	26
3	Comparación del punto de marchitez permanente con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014	27
4	Comparación del porcentaje de materia orgánica en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.	28
5	Comparación de la resistencia a la penetración de raíces con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.	29
6	Comparación de niveles de pH en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.	31
7	Comparación del nivel de fósforo en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.	32
8	Comparación de los niveles de potasio en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.	33

9 Comparación de los niveles de calcio en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014. 34

10 Comparación de los niveles de magnesio en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014. 35

11 Comparación de los niveles de zinc en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

12 Comparación de los niveles de cobre en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014. 37

13 Comparación de los niveles de hierro en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014. 38

14 Comparación de los niveles de manganeso en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014. 39

15 Comparación de los niveles de aluminio en el suelo con diferentes manejos agronómicos en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014. 40

16 Comparación del número de artrópodos en el suelo en fincas productoras de café con diferentes manejos agronómicos, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014. 42

17 Comparación del número de artrópodos en el suelo en fincas productoras de café con diferentes manejos agronómicos, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014. 43

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, la producción de café enfrenta dificultades relacionadas a la variación del precio de venta del producto, el alza de costos en los insumos agrícolas y la amenaza de plagas y enfermedades propias del cultivo provocando incertidumbre entre los productores del oriente del país, además del deterioro que se genera en los suelos por la intensificación del cultivo.

En los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas del departamento de Chiquimula se observan plantaciones de café con sistemas de manejo convencional, combinado y orgánico. Cada uno de estos, a través del tiempo influye en la sostenibilidad de la producción e interviene en las propiedades físicas-químicas del suelo y descomposición de la materia orgánica, experimentando modificaciones en la fertilidad de los suelos, la producción y el ecosistema (Henríquez, citado por George 2006).

En el manejo convencional los caficultores se dedican a obtener alta producción, realizando fuertes aplicaciones de agroquímicos, no considerando implementar prácticas culturales que minimicen el impacto ambiental; manejo combinado considera realizar prácticas culturales, incorporando abonos orgánicos, repelentes y fungicidas naturales, alternados con la aplicación de agroquímicos. El manejo orgánico es donde se implementa todas las prácticas culturales, fertilización a base de abonos orgánicos, manejo de plagas y enfermedades a través de trampas, repelentes, fungicidas y control adecuado de la sombra de los árboles.

El presente estudio es seguimiento del trabajo realizado por Alarcón (2010), evaluando el efecto causado por los diferentes manejos agronómicos, para lo que se realizaron muestreos de suelos, análisis de laboratorio e interpretación de resultados, para determinar si existe diferencia entre cada manejo agronómico y su efecto en las propiedades físicas principalmente, textura, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y resistencia a la penetración de raíces; entre las propiedades químicas el pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, hierro, manganeso y aluminio; así también, las propiedades biológicas analizadas están la materia orgánica, población de artrópodos y número de lombrices.

En el primer estudio realizado en el año 2008, el manejo agronómico combinado obtuvo mayor concentración de potasio, calcio, magnesio y hierro, por lo que se interpretó que las actividades dirigidas al cultivo y especialmente la fertilización, influyeron en la concentración de cada elemento mencionado. En cuanto a las propiedades físicas, dicho manejo reportó mayores resultados en las variables densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y resistencia a la penetración de las raíces en el suelo.

Por otro lado, en el segundo estudio realizado en el 2014 el manejo agronómico combinado nuevamente obtuvo resultados que superaron a los obtenidos por el orgánico y convencional, con relación a las propiedades físicas del suelo. Además reportó mayor concentración de potasio, calcio, magnesio y zinc, con relación a los otros manejos estudiados.

La comparación de los resultados entre ambos estudios, permitió observar que en el manejo convencional únicamente el porcentaje de materia orgánica disminuyó a través del tiempo, en las demás propiedades se apreció un incremento. Los elementos calcio y magnesio mostraron menor concentración en el año 2014 en comparación al año 2008, para las demás variables restantes los resultados superaron al muestreo anterior.

Con base a las propiedades biológicas del suelo el manejo orgánico superó al combinado y convencional respecto al número individuos/m^2, en ambos estudios; por lo que se interpretó los resultados son producto del porcentaje de materia orgánica y la cantidad de agroquímicos utilizados en cada manejo agronómico.

Finalmente se realizó un análisis económico donde se comparó los ingresos netos y los costos totales (fijos y variables) de cada manejo agronómico para el año 2014, determinando que el manejo combinado representa una mejor opción para los caficultores de la región, debido a que ofrece la obtención de Q.13,39 por cada quetzal invertido en el manejo agronómico.

II. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

La introducción del cultivo de café en los municipios de Esquipulas y Quezaltepeque del departamento de Chiquimula ha experimentado un incremento de 0.35 ha hasta 3.5 ha/productor/año y se estima que se establecen cerca de 31.5 ha/año, especialmente de la variedad Catuaí (Marroquín 2002).

Según ANACAFÉ, citado por Alarcón (2010) las fincas del oriente de Guatemala han mostrado rendimientos superiores al promedio nacional, logrando entre 60-80 quintales de café pergamino seco/ha, principalmente en el municipio de Esquipulas.

Las investigaciones para el cultivo de café a nivel nacional en los últimos años se han enfocado a la calidad del grano, beneficiado húmedo del café y control de algunas plagas y enfermedades y muy pocas sobre los manejos agronómicos y su relación con la salud del suelo.

Alarcón (2010), realizó una comparación de tres sistemas de producción de café y su relación con la salud del suelo en donde se determinó y comparó las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en 15 fincas de café en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, encontrando valores de fertilidad similares en los manejos convencionales y sostenibles en el cual existe significancia, dado a que los sistemas convencionales siguen un programa de fertilización establecido, pero en resultados, reflejan una crisis en la baja de los precios por venta del café y el alto costo de los insumos.

Por otro lado, investigaciones que fueron consultadas anteriormente detallan el comportamiento de la producción de café en los últimos 10 años; reflejando la tendencia del manejo convencional a un sistema más diversificado, como un proceso sostenible (Marroquín 2002).

2.2 Definición y delimitación del problema

Cada año la caficultura local enfrenta desafíos relacionados con los niveles de daño provocados por la roya, el alza de costos por uso de insumos agrícolas y los precios del mercado internacional, reduciendo el margen de beneficio del productor, quien se limita a la ejecución de prácticas poco tecnificadas para el manejo de sus plantaciones (ANACAFÉ 2013).

En el departamento de Chiquimula se han realizado estudios enfocados al cultivo de café, sin embargo; los mismos no cuentan con un seguimiento o actualización, minimizando los alcances de la información para los procesos de transferencia de tecnología.

Por lo que se propuso el seguimiento al estudio realizado por Alarcón que en el año 2008 evaluó el efecto de tres manejos agronómicos en cultivo de café, sobre las propiedades físicas-químicas de los suelos en 15 fincas, ubicadas en dos localidades de Quezaltepeque y dos localidades de Esquipulas; con la finalidad de comparar los resultados obtenidos en la investigación de 2008 con los datos del año 2014, para determinar las modificaciones que muestran las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo con el manejo agronómico convencional, combinado y orgánico.

2.3 Justificación

En el 2008 (Alarcón 2010) desarrolló la evaluación de tres manejos agronómicos en el cultivo de café y su efecto en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, en 15 fincas ubicadas en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas. Con el propósito de proporcionar información técnica que contribuya a prevenir y corregir el deterioro del suelo, conservando sus propiedades naturales, además de la biodiversidad y sustentabilidad del agro ecosistema.

El trabajo de Alarcón representó un primer paso para la determinación de parámetros relacionados con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con relación a los tipos de manejo agronómico; planteando entre sus recomendaciones la continuidad y seguimiento de la investigación en un período posterior.

Por lo anterior, se propuso un segundo estudio considerando la evaluación de los mismos factores (tipos de manejo agronómico, fincas cafetaleras y variables de respuesta), para validar la importancia del suelo en el cultivo de café y el efecto de los tipos de manejo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

El conocimiento del comportamiento de las variables evaluadas en el manejo agronómico, contribuye a medir en forma comparativa la influencia en la calidad de los suelos, a través de los datos generados en el año 2008 y 2014, debido a que es necesario conocer el efecto causado sobre el suelo por el manejo químico convencional, el manejo con menor utilización de agroquímicos y con prácticas orgánicas, así como el manejo combinado, donde se implementa la incorporación alterna de productos químicos y orgánicos.

La investigación generó información base para la implementación de estrategias orientadas a corregir y prevenir el deterioro de la fertilidad de los suelos, lograr cosechas uniformes y estables; no necesariamente más altas, pero de buena calidad.

III. MARCO TEORICO

3.1 La caficultura de Guatemala

En Guatemala se cultivan variedades de la especie *Coffea arabica* y *Coffea canephora,* con Robusta, ésta última ha mostrado mayor tolerancia al daño causado por plagas y enfermedades representando únicamente el 1% del café exportado. Existen 12 variedades de café cultivadas, siendo las siguientes: Typica, Bourbón, Caturra, Catuaí, Pache Común, Pache Colís, Pacamara, Maragogype, Mundo Novo, Catimor, Robusta y Robusta Nemaya; de las cuales en la región oriental de Guatemala (Región VII ANACAFE) se cultivan las siguientes Typica, Caturra, Catuaí y Pacamara (ANACAFE 2006).

Las plantaciones de café se establecen considerando factores como temperatura media, precipitación pluvial, altitud sobre el nivel del mar, humedad relativa y los vientos. Los productores acostumbran realizar prácticas de conservación para mantener y mejorar las condiciones de los suelos, debido a que se reduce la acción de agentes erosivos, los cuales reducen la fertilidad natural del suelo.

Tradicionalmente el café se ha cultivado bajo sombra por factores eco-fisiológicos, económicos y de mercado. Sin embargo, la sombra densa tiene efectos negativos sobre la producción del cafeto y el exceso de radiación solar dificulta la producción sostenida, reduciendo la longevidad de la planta entre otros. La sombra permite regular el uso de insumos (herbicidas, fertilizantes, etc.) y además genera ingresos provenientes de subproductos (leña) (ANACAFÉ 2006).

La fertilización se realiza con base a un programa y la época de aplicación al inicio de las lluvias, utilizando una fórmula NPK o NP, según recomendaciones del laboratorio de suelos. También se recomienda una aplicación adicional con solo nitrógeno (urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio o nitrato de magnesio) entre los meses de octubre a noviembre antes de que finalicen las lluvias (ANACAFÉ 2006).

3.2 Caficultura convencional

La agricultura en su afán de suplir de alimento a la creciente población mundial, ha incrementado sus rendimientos gracias a los avances científicos e innovaciones tecnológicas como: el uso de nuevas variedades, fertilizantes, riego y plaguicidas para el control de plagas y enfermedades.

Este tipo de manejo considera la labranza intensiva del suelo, monocultivos con riego, aplicación de fertilizantes inorgánicos de rápidamente absorbidos, control químico contra plagas y enfermedades y por último el uso de plantas mejoradas genéticamente contra las condiciones adversas de clima. Lo anterior provoca problemas en el suelo relacionados a la salinización por el exceso de riego, compactación por labranza intensiva, pérdida de la capacidad de permeabilidad e incremento de escorrentía, contaminación por uso de agroquímicos, pérdida de materia orgánica y la fertilidad e incremento de la erosión.

El cultivo del café no fue la excepción, en el cambio a nuevas tecnologías agrícolas, el café a partir de la segunda guerra mundial cambio la forma de producción de un sistema agroforestal con bajo impacto en el ambiente, a una caficultura con alto impacto ambiental, donde se usaron variedades mejoradas, con mayores demandas de agroquímicos, sembradas a mayor densidad y con menos uso de árboles de sombra.

La eliminación de la sombra genera varios impactos negativos entre los cuales se pueden mencionar una mayor erosión del suelo por la pérdida de cobertura de la hojarasca proveniente de los árboles de sombra, un menor aporte de nutrientes al café por la falta de descomposición de esta misma, cambios en el microclima del cafetal, un incremento de plagas y enfermedades, perturbación del hábitat de especies como aves, mamíferos, insectos, anfibios y reptiles, menor diversidad funcional y una menor longevidad de la planta de café por sobre explotación de la misma (Uribe 1971).

3.3 Caficultura combinada

La caficultura combinada promueve la utilización de productos químicos con responsabilidad ya que se implementa bajo el concepto de sostenibilidad, ejecuta prácticas de conservación de suelos e incorporación de materia orgánica, manejo adecuado de árboles de sombra, uso de trampas con la finalidad de bajar el uso de insumos químicos, siendo la aplicación de los insumos químicos alternos con los productos orgánicos y así garantizar una producción a largo plazo sin causar mayores daños al medio ambiente o agotar los recursos naturales (Benzina, citado por Porras Vanegas 2006).

La agricultura combinada va con énfasis a la sostenibilidad siendo ecológicamente segura, económicamente viable, socialmente justa y culturalmente apropiada, donde el medio ambiente y los recursos naturales son la base de la actividad económica alterna los insumos sintéticos como complemento.

El manejo adecuado de sombra, la poda de los árboles de sombra es una práctica multipropósito que implementa la agricultura combinada ya que al reducir la sombra sirve para controlar la incidencia de enfermedades, estimular la floración y maduración de los frutos. La selección del árbol y manejo de la sombra es sumamente importante debido a que puede existir competencia excesiva entre el cafeto y el árbol o efectos alelopáticos entre ambos. La sombra puede disminuir el estrés hídrico, prolongar la vida del cultivo de café, reducir pérdidas de frutos, disminuir los requerimientos de insumos, preservar las propiedades naturales del suelo, agua, biodiversidad y mejorar la calidad del grano de café. (Muschler, citado por Alarcón 2010).

Otras ventajas según (Beer, JW. 1989) es que la sombra reduce la densidad de las malezas, diversifican los productos de la finca (árboles maderables, frutales, etc) y reduce de los niveles de daño causado por plagas y enfermedades.

3.4 Caficultura orgánica

Es un sistema productivo que excluye el uso de fertilizantes, pesticidas sintético, hormonas y reguladores de crecimiento para la producción agrícola.

Según la Internacional Federation of Organic Agriculture Movements, (IFOAM, citado por Porras Vanegas 2006), la producción orgánica es “un sistema holístico, basado en una serie de procesos que dan como resultado un ecosistema sostenible, alimentos seguros, buena nutrición, bienestar animal y justicia social”, esta definición comprende los principios siguientes; mantener e incrementar la fertilidad y la actividad biológica del suelo; mantener y fortalecer la biodiversidad natural mediante la protección de hábitat; promover el uso responsable y la conservación del agua; evitar la contaminación y el desperdicio de los recursos renovables; reconocer la importancia de proteger el conocimiento local y los sistemas tradicionales de producción.

(CENICAFE, citado por Delgado, et al. 2010), define el cultivo de café orgánico como “el café producido y procesado en un sistema sostenible (ambiental, técnico, social y económicamente viable), sin la utilización de químicos de síntesis”. Hay que tener presente que la producción de café orgánico no es sinónimo de cultivo abandonado, sino que este responde a recomendaciones técnicas bajo una conciencia orgánica.

La productividad en las fincas de café con manejo orgánico es limitada por varios factores tales como plagas, enfermedades, baja disponibilidad de nutrimentos y pobre control de malezas. Muchos de estos factores pueden ser corregidos por las aplicaciones de agroquímicos en las fincas convencionales para asegurar la cosecha. Bajo el manejo orgánico no existe esta opción de efecto inmediato y como consecuencia, la producción bajo este sistema podría ser entre 10 y 50 % menor que la producción convencional. (Sosa, citado por Alarcón 2010).

El fundamento detrás del uso de agroquímicos es siempre la relación costo-beneficio. Bajo el manejo convencional, los beneficios económicos derivados del uso de agroquímicos son generalmente mayores a los costos que implica su uso. (Sosa, citado por Alarcón 2010) afirman que el precio pagado por el producto orgánico final debe ser

mayor, para que los sistemas de producción orgánica sean tan rentables como los sistemas de producción que emplean agroquímicos.

3.5 El suelo

El suelo es una superficie, un recurso natural y un sistema dinámico y complejo, en el que se efectúan procesos que involucran componentes físicos, químicos, e incluso componentes vivos. Etimológicamente, esta palabra proviene del latín “solum”, cuya definición es: tierra, suelo o parcela.

3.6 Calidad del suelo

El concepto de calidad se refiere a “la habilidad de un suelo para soportar el crecimiento de un cultivo incluyendo factores como porcentaje de pendiente, agregación, contenido de materia orgánica, profundidad, capacidad de retención, tasa de infiltración, cambios de pH, contenido de nutrientes, entre otros” (Doran, citado por George 2006).

En 1991, Madison citado por Alarcón 2010, definió calidad como “la capacidad de un suelo para funcionar sosteniblemente considerando el recurso base, ambiente, plantas, animales y hombres”. Larson y Pierce en ese mismo año ampliaron que calidad de suelo es “la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema e interactuar positivamente con el ambiente externo al ecosistema”.

En 1994 Doran indicó que para definir la calidad del suelo se deben tener las siguientes características: 1) el suelo debe ser un medio para promover el crecimiento de plantas y animales (incluyendo humanos), regulando el flujo de agua en el ambiente; 2) el suelo debe ser un regulador ambiental que asimila y degrada componentes ambientalmente peligrosos (George 2006).

Cuantificar la calidad de un suelo se dificulta debido a que existen múltiples indicadores físicos, químicos y biológicos que controlan procesos biogeoquímicos y que además varían en tiempo, espacio e intensidad (Doran, citado por George 2006). Para medir la calidad de con precisión se pueden usar propiedades específicas del suelo a las que se le denominan indicadores los cuales medidos en conjunto darán una idea más cercana de cómo se encuentra el suelo.

El deterioro del suelo por sistemas de producción como la caficultura es importante dado a que es un cultivo perenne donde su influencia modificara las condiciones edáficas con el tiempo.

3.6.1 Propiedades del suelo

Las propiedades del suelo son una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades entre ellas físicas, químicas y biológicas.

3.6.2 Propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo son factores dominantes que determinan la disponibilidad de oxígeno y movimiento de agua, condicionando las prácticas agrícolas y la producción del cultivo. Sin embargo, estas propiedades no escapan de los efectos producidos por los distintos tipos de labranza originándose cambios en el ambiente físico del suelo, con importantes repercusiones en la bioquímica y su fertilidad.

Las variables evaluadas en el componente físico son: textura, densidad aparente (DA), resistencia a la penetración (RP) y retención de humedad (%H).

Textura se refiere a la proporción relativa de arena (a), limo (L) y arcilla (A) que existe en el suelo; esta caracterización se refiere a las partículas menores de 2 mm de diámetros. Determinando la textura se pueden ajustar las prácticas de manejo como labranza, riego y fertilización (Henríquez, citado por George 2006).

La densidad aparente su valor permite conocer el estado físico del suelo, refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad debido a que varía por la acción de agentes externos e internos como por ejemplo la compactación y la dispersión de las partículas respectivamente (Foth, citado por Castillo 2005).

La resistencia a la penetración Es un buen índice para evaluar problemas de restricción en el desarrollo radicular de los cultivos, por la presencia de capas compactas y/o baja porosidad. Esa resistencia no es propiedad particular del material, sino a la suma de efectos combinados por densidad aparente y contenido de humedad, debido a que éstos se relacionan con el tamaño y la distribución de partículas, estructura, composición mineral y orgánica presentes en el suelo.

3.6.3 Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los suelos nos permiten reconocer ciertas cualidades, cuando se provocan cambios o reacciones que alteran su composición y acción de los mismos, se relacionan con la nutrición de las plantas.

La fertilidad hace referencia a la cantidad de nutrientes que posee el suelo. Los nutrientes que las plantas requieren para su desarrollo son llamados nutrientes mayores o macronutrientes, dado q que las plantas lo necesita en mayor cantidad, siendo los siguientes: nitrógeno (N), carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) y los nutrientes menores o micronutrientes los cuales se requieren en menor cantidad y siendo éstos: boro (B), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y zinc (Zn).

El pH: es una medida de la acidez o alcalinidad, por lo general se considera como una propiedad muy importante ya que tiende a estar correlacionado con otras propiedades, tales como el grado de saturación de base. La determinación de iones hidronios (H^+) y iones hidrófilo (OH-) permite medir la acidez o alcalinidad del suelo. Mayor concentración de iones H^+ indica acidez pero si hay predominancia de iones OH- la relación es alcalina. Un pH neutro es cuando la concentración de iones H^+ es igual a la de iones OH- (Henríquez, citado por George 2006).

Un pH adecuado favorece la disponibilidad de nutrientes, controla la actividad de los microorganismos, determina la solubilidad de los nutrientes y la mineralización de la materia orgánica.

Cuadro 1. Clasificación del pH del suelo

Rango	Clasificación
< 4.6	Extremadamente ácido
4.6 – 5.2	Muy frecuentemente ácido
5.2 – 5.6	Fuertemente ácido
5.6 – 6.2	Medianamente ácido
6.2 – 6.6	Ligeramente ácido
6.6 – 6.8	Muy ligeramente ácido
6.8 – 7.2	Neutro
7.2 – 7.4	Muy ligeramente alcalino
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.8 – 8.4	Medianamente alcalino
8.4 – 8.8	Fuertemente alcalino
8.8 – 9.4	Muy frecuentemente alcalino
> 9.4	Extremadamente alcalino

Fuente: Quintana, citado por Domínguez Silva 2005

Capacidad de intercambio catiónico: se relaciona con la fertilidad del suelo considerando la estructura química, partículas de arcilla y la materia orgánica por su carga negativa neta. Esto significa que los cationes (iones con carga eléctrica positiva) son atraídos y retenidos sobre la superficie del suelo. La CIC es una medida de la cantidad de cationes que pueden ser absorbidos o retenidos por un suelo.

Los suelos contienen cantidades variables y clases diferentes de arcilla y materia orgánica, de modo que la CIC total varía ampliamente.

La materia orgánica tiene una CIC alta, por lo el suelo con un alto contenido de materia orgánica presentan mayor capacidad de intercambio comparado con suelos con bajo contenido de materia orgánica. Los cationes más importantes para las plantas son el calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^{+}), amonio (NH_4^{+}), sodio (Na^{+}) e hidrógeno (H^{+}).

3.6.4 Propiedades biológicas

Este indicador tiene influencia directa en la dinámica de la materia orgánica como regulador de las poblaciones microbianas, digestión de residuos e incrementando el área superficial para procesos microbiano.

La materia orgánica: es un indicador de calidad del suelo, ya que influye directamente en su agregación, estructura, friabilidad, capacidad de retención de humedad, regulación del aire, conservación de nutrientes.

Soil Science of América, define la materia orgánica como: "Fracción orgánica del suelo que incluye residuo vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y substancias producidas por los habitantes de suelo"

La materia orgánica ayuda a unir entre sí las partículas finas formando unidades estructurales (agregados), mejora la aireación, percolación, movimiento descendente del agua, ácido orgánicos, que son productos de la descomposición de la materia orgánica del suelo, solubilizan el fósforo y otros nutrientes, siendo asimilable para los cultivos (FAO, 2003).

La materia orgánica se divide en dos grandes componentes: 1) macro y microorganismos y raíces vivas de plantas; 2) residuos o compuestos en proceso de descomposición y el componente húmico (Meléndez, citado por Alarcón 2010).

Los microorganismos del suelo: el componente vivo de la materia orgánica del suelo está formado por varios grupos de organismos, incluyendo los virus, los hongos, los protozoarios, las bacterias, los pequeños y medianos artrópodos, las lombrices de tierra, los nematodos, siendo algunos de estos organismos fitoparásitos. (Magdoff, citado por Alarcón 2010).

Los organismos del suelo ocupan diferentes posiciones en la cadena trófica. Se tienen consumidores primarios, secundarios y terciarios. Los primeros utilizan los residuos orgánicos como fuente de energía. Muchos hongos, bacterias, nematodos y algunas lombrices de tierra también son considerados como consumidores primarios.

La actividad alimenticia de estos consumidores facilita el consumo de los residuos por los consumidores secundarios. Por ejemplo, los excrementos de las lombrices de tierra son mucho más ricos en nutrimentos que el suelo circundante y por lo tanto, representa

una fuente de nutrimentos para los organismos ubicados en el nivel superior de la cadena trófica (Magdoff, citado por Alarcón 2010).

Los consumidores secundarios son aquellos que se alimentan de los consumidores primarios. Este grupo incluye protozoarios, nematodos y ácaros, los cuales son bien conocidos como depredadores de bacterias y hongos. De acuerdo a Habte y Alexander, citado por Alarcón (2010) la presencia de poblaciones activas de consumidores de bacterias y hongos puede ayudar a mantener la diversidad de poblaciones de estos organismos en el suelo.

Los consumidores terciarios incluyen a los escarabajos de suelo, cien pies, hormigas, pseudoescorpiones, etc. La dieta principal de este grupo son otros microorganismos del suelo. La fracción de humus forma asociaciones de enlaces con partículas de arcilla, las cuales incrementan la agregación del suelo y la formación de micro-poros.

Una estructura mejorada del suelo resultará en mayor capacidad de infiltración y de retención del agua, limita la erosión superficial y previene el desecamiento y contracción del suelo (Vasst y Snoeck, citado por Alarcón 2010). La presencia de la MO del suelo favorece la actividad de la macrofauna, dado que sirve como fuente de alimento para las lombrices y muchos artrópodos.

La actividad biológica es mayor en las capas superficiales del suelo, que puede variar de unos pocos centímetros hasta 30 cm. La capa superficial y los componentes biológicos ocupan una proporción del 0.5 % del volumen total del suelo y menos del 10 % de la materia orgánica del total. Los microorganismos forman una gran parte de estos componentes biológicos del suelo y a pesar de su pequeño volumen son fundamentales para el ciclaje de nitrógeno, azufre, fósforo y la descomposición de MO.

En algunos casos, los cambios en las poblaciones microbianas o sus actividades pueden preceder cambios detectables en las propiedades físicas y químicas del suelo, y por lo tanto podrían ser usados como indicadores tempranos de la degradación o mejoramiento de los suelos.

Las lombrices de tierra: ayudan a mejorar las características físicas del suelo incrementando la porosidad, aireación, conductividad hidráulica, proveyendo así una mayor estabilidad estructural. A nivel químico ayudan a la dinámica de la materia orgánica y liberación de nutrientes (Jiménez, citado por Delgado et al. 2010). A nivel microbiológico estimulan el crecimiento vegetal.

Las lombrices de tierra influyen de manera significativa en los procesos formadores del suelo. Su presencia se relaciona con la calidad y fertilidad de suelo. (Blair, citado por Alarcón 2010). Las lombrices alteran significativamente la estructura, propiedades hidrológicas y aportan sustancialmente a la mineralización de los nutrimentos del suelo (Linden, citado por George 2006). Los túneles formados por las lombrices representan mayor capacidad de infiltración y mejor aireación, los macroporos creados sirven como vías de exploración para las raíces de las plantas en el suelo.

En suelos con problemas de compactación, estás vías son muy útiles para la captación de nutrimentos en los diferentes horizontes del suelo. Materiales orgánicos e inorgánicos son ingeridos, transportados y excretados por las lombrices y como consecuencia las propiedades del suelo son afectadas por estas actividades (Lavelle, citado por Alarcón 2010). La abundancia de lombrices dentro del perfil del suelo esta determinada por los contenidos de materia orgánica, textura, profundidad, pH, precipitación, temperatura, residuos de cultivo, sistemas de labranza, depredación y parasitismo (Jiménez, citado por Delgado et al. 2010). Las poblaciones varían en el espacio y en el tiempo y pudiendo cambiar según sea la disponibilidad de nutrientes, condiciones del ambiente y las especies vegetales involucradas (USDA, citado por Porras Vanegas 2006).

IV. MARCO REFERENCIAL

4.1 Localización de las áreas de estudio

El estudio se realizó en dos municipios del departamento de Chiquimula; siendo el primero Quezaltepeque en las comunidades de Puerta de la Montaña y Charagüín y el segundo en Esquipulas, en las comunidades de El Zapotal y El Duraznal. (Ver CUADRO 2). El área cafetalera se encuentra entre los 1,200 a 1,800 metros sobre el nivel del mar.

Cuadro 2. Productores y fincas del área de estudio en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014.

TRATAMIENTO	No. FINCA	CAFICULTOR	COORDENADAS UTM (WGS84)	LOCALIZACIÓN
SOSTENIBLE	1	Reginaldo Méndez	X = 241907	Puerta de La Montaña, Quezaltepeque
			Y = 1623726	
	2	Santos Genoveva Vásquez Pérez	X = 241971	
			Y = 1623683	
	3	Felipe Melchor	X = 244720	Charagüín, Quezaltepeque
			Y = 1622496	
	4	Antonio Mejía	X = 244806	
			Y = 1622528	
	5	Adelaida Díaz Felipe	X = 244348	
			Y = 1623367	
COMBINADO	6	Juan Antonio Arita	X = 260885	El Zapotal, Esquipulas
			Y = 1613787	
	7	Julio Arita	X = 260877	
			Y = 1613853	
	8	Miguel Ángel Arita	X = 261011	
			Y = 1614115	
	9	Juan José Salazar	X = 260527	
			Y = 1614867	
	10	José Luis Arita	X = 261070	
			Y = 1614434	
CONVENCIONAL	11	Vicente López Trigueros	X = 244576	El Duraznal, Esquipulas
			Y = 1605563	
	12	Cruz Trigueros	X = 244519	
			Y = 1605403	
	13	Petrona Cortez	X = 245565	
			Y = 1605377	
	14	Arcadio Súchite García	X = 246201	
			Y = 1605822	
	15	José Trigueros	X = 245151	
			Y = 1604754	

Fuente: Alarcón H. 2010

4.2 Clima

Esquipulas cuenta con una precipitación pluvial promedio anual de 1,500 a 2,000 mm; y Quezaltepeque de 1,100 a 1,400 mm; distribuidos en todo el año. Durante los meses de mayo a octubre, presentan un periodo de lluvia normal y de noviembre a enero, presenta un clima temporal con chubascos y cielo cerrado.

En los meses de febrero a abril muestra un periodo de verano no muy bien definido con lluvias esporádicas. La temperatura promedio anual oscila entre los 19º y 21º centígrados.

4.3 Zona de vida

Las zonas cafetaleras de los municipios de Esquipulas y Quezaltepeque se encuentran ubicados dentro de la zona de vida, Bosque húmedo subtropical templado (bh-S(t)). (De la Cruz 1982)

4.4 Suelo

Las fincas con manejo convencional de la zona cafetalera del municipio de Esquipulas se agrupan en el orden Andisoles y las fincas con manejo combinado pertenecen al Inceptisoles. En el municipio de Quezaltepeque las fincas cafetalera con manejo orgánico son del orden Entisoles (USDA, citado por Alarcón 2010).

V. MARCO METODOLÓGICO

5.1 Objetivos

General

- Evaluar el efecto de tres tipos de manejo para la producción de café (*Coffea arabica* L.) sobre las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, en dos localidades de Esquipulas y dos de Quezaltepeque, departamento de Chiquimula.

Específicos

- Determinar las diferencias entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, mediante la comparación de la información generada en el año 2008 y 2014 en los tres tipos de manejo del cultivo de café.

- Elaborar los costos de producción y los ingresos obtenidos en cada tipo de manejo agronómico, para determinar la rentabilidad de los sistemas de producción de café.

5.2 El área de muestreo

Se realizó un muestreo en 15 fincas de café, de las cuales 5 tienen manejo convencional, 5 manejo combinado y 5 son manejadas de forma orgánica. Se ubicó una parcela de 1000 m^2 (radio de 17.84m^2) en cada finca de estudio, la cual se encuentra georeferenciada, con una marca durable para actividades posteriores. El muestreo para las variables físico-químicas y biológicas se realizó una vez en los meses de Abril a Junio del año 2014.

5.3 Recolección de las muestras de suelo

Se ubicó la unidad de muestreo georeferenciada y se procedió a tomar las muestras de suelo para su análisis en el laboratorio y posterior comparación de datos.
La muestra fue conformada por 12 submuestras. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-30 cm del suelo y fueron colocadas en cubetas plásticas limpias, posteriormente se colocaron en bolsas de papel identificadas con la fecha y código de la finca.

5.4 Variables estudiadas

- Propiedades físicas: textura, densidad aparente, resistencia a la penetración y retención de humedad.

- Propiedades químicas: Materia Orgánica (MO), pH, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, Al

- Propiedades biológicas: poblaciones de artrópodos y número de lombrices de tierra.

5.5 Procedimiento a nivel de laboratorio

Textura: se utilizó el método granulométrico de Bouyoucos para determinar la cantidad relativa expresada en % de arena, % de limo y % de arcilla contenida en una porción de suelo.

Densidad aparente (DA): se utilizó un cilindro de volumen conocido para obtener la densidad aparente de las parcelas, así como la relación con la compactación del los mismos.

Resistencia a la penetración (RP): Se utilizó un penetrómetro para evaluar la RP de los suelos de cada sitio. Para la lectura se procedió a limpiar la superficie del suelo de piedras y material vegetal antes de efectuar el muestreo, se tomaron diez lecturas por cada parcela (Henríquez, citado por George 2006).

Los datos de las lecturas fueron convertidas de lb/pulg^2 a kilopascales (KPa) (1 KPa = 0.1450389 lb/pulg^2). Esto permitió obtener un parámetro físico adecuado para recabar información de la dinámica en el espacio y tiempo. Se hizo una relación con el crecimiento radicular, seleccionando plantas al azar y cavando un agujero a un costado de la misma para medir el desarrollo de las raíces. Para finalizar se realizó una comparación entre las lecturas del penetrómetro y la densidad aparente realizada con el método del Cilindro de Volumen para observar si existe variación en los métodos utilizados.

Retención de humedad (%H): La retención de humedad del suelo se determinó a través del método de Humedad Gravimétrica; el cual consiste en determinar el contenido de agua de una muestra en suelo mediante su desecación al horno. El contenido de humedad en % resulta de la eliminación del agua gravitacional y se denomina Capacidad de Campo CC. Las determinaciones de este parámetro en laboratorio se realizó con tensiones de 0.3 atm (pF = 2,5; 33 Kpa).

Las variables químicas fueron evaluadas mediante los estándares del laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Los elementos analizados fueron: MO, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Fe, Mn, Al.

Las variables biológicas: se utilizó para el muestreo un cuadrado de 25*25 cm realizando 3 muestreos por parcela para formar una muestra compuesta. Se escarbo en el área donde se encuentran plantas dentro del surco, para determinar la población de artrópodos. Se limpió el suelo de la hojarasca, luego se colocó un cuadrado de 25*25 cm y dentro de éste se realizó un recuento de los artrópodos que fueron observados a simple vista a una profundidad de 10 cm. Para realizar el muestreo se necesitó una pala, zaranda de 50 x 50 cm.

Para determinar el número de lombrices del suelo se utilizó el mismo método de muestreo para población de artrópodos, el cuadrado de 25 * 25 cm. realizando 3 muestreos por parcela. Las muestras fueron tomadas en forma triangular y se anotó el número total de lombrices encontradas en cada punto de muestreo, las lombrices fueron devueltas al suelo después de cada conteo.

Cuadro 3. Métodos utilizados para el análisis de las propiedades del suelo.

CARACTERÍSTICAS	INDICADORES	METODOS DE DETERMINACIÓN	LABORATORIO
FÍSICAS	✓ Textura ✓ Densidad Aparente ✓ Resistencia a la Penetración ✓ Retención de Humedad	Bouyoucos, Cilindro de Volumen Conocido, Penetrometro, Determinación de Humedad Gravimétrica y posiblemente parámetros de cc y pmp con Ollas de Presión	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE AGRONOMÍA LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
QUÍMICAS	✓ Niveles de Carbono Orgánico ✓ pH ✓ Concentración de Al	Análisis de Rutina de Laboratorio	
BIOLÓGICAS	✓ Poblaciones y diversidad de Artrópodos ✓ Número de Lombrices	Tropical Soil Biology and Fertility	

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Alarcón (2010).

5.6 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completamente al azar (DBCA) integrado por tres tipos de manejo agronómico y siete repeticiones. Este permite el análisis de las fuentes de variación como lo son los tipos de manejo agronómico y sus bloques.

El modelo estadístico propuesto fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + M_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Yij = la respuesta del i-ésimo tratamiento en j-ésimo repetición

μ = media general

Bi= efecto de los bloques

Mj = efecto de los manejos agronómicos

ε ijk = error experimental

5.7 Análisis económico

Se realizó el análisis mediante la elaboración de los costos de producción por hectárea; cuantificando el rendimiento, ingreso neto y costo total para cada tipo de manejo. Luego a través del análisis, se calculó el porcentaje de rentabilidad, con el propósito de identificar el tratamiento con mayor beneficio económico. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$\% \text{ Rentabilidad} = (\text{I. N.} / \text{C. T.}) * 100$$

Donde:

% Rentabilidad = Porcentaje de rentabilidad

I.N. = Ingreso neto

C.T. = Costo total

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presenta el resultado del análisis estadístico realizado a los datos obtenidos en la investigación, sobre el efecto de los manejos agronómicos orgánico, combinado y convencional en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, describiéndose de la manera siguiente:

6.1 Propiedades físicas

6.1.1 Textura

En el cuadro 4 se observan las texturas de los suelos que identifican a las fincas de los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, diferenciándose por el tipo de manejo agronómico; por lo que se muestran los resultados de los años 2008 y 2014.

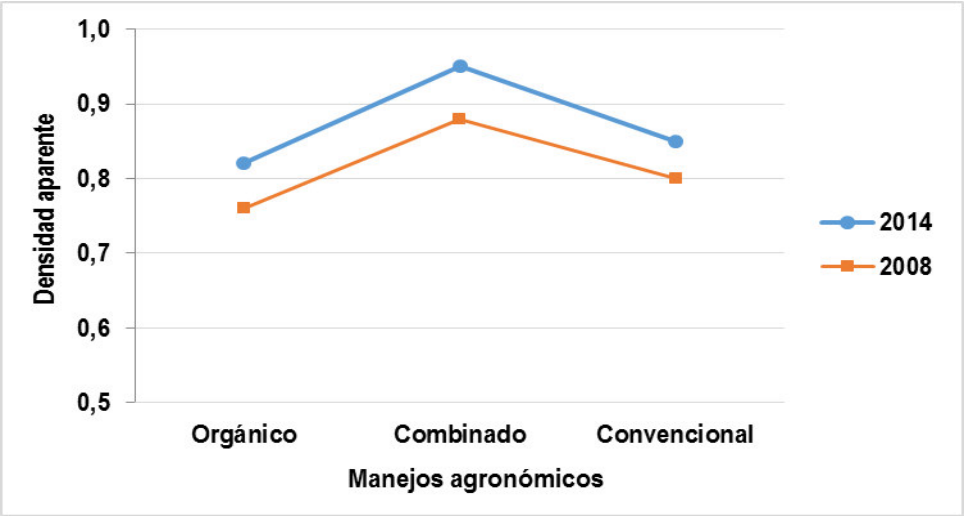
Cuadro 4. Texturas de los suelos de fincas productoras de café con diferentes tipos de manejo agronómico en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014.

Textura/manejo	Orgánico/ Quezaltepeque No. De Fincas		Combinado/ Esquipulas No. De Fincas		Convencional/ Esquipulas No. De Fincas	
Muestre/año	2008	2014	2008	2014	2008	2014
Franco-arcilloso	1	1	2	2	1	4
Franco-arcillo-arenoso	1	3	0	3	0	1
Franco-arenoso	0	1	0	0	0	0
Arcilloso	3	0	3	0	4	0

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Las diferencias observadas pueden relacionarse con las propiedades físico-biológicas del suelo y el tipo de manejo agronómico, observando que en el año 2014 los suelos modificaron gradualmente su textura mostrando una leve mejoría, debido a que son tres fincas con textura franco-arcillo-arenoso en el manejo agronómico orgánico y combinado respectivamente y una finca en el manejo convencional, reflejando una influencia positiva con relación al año 2008.

6.1.2 Densidad aparente



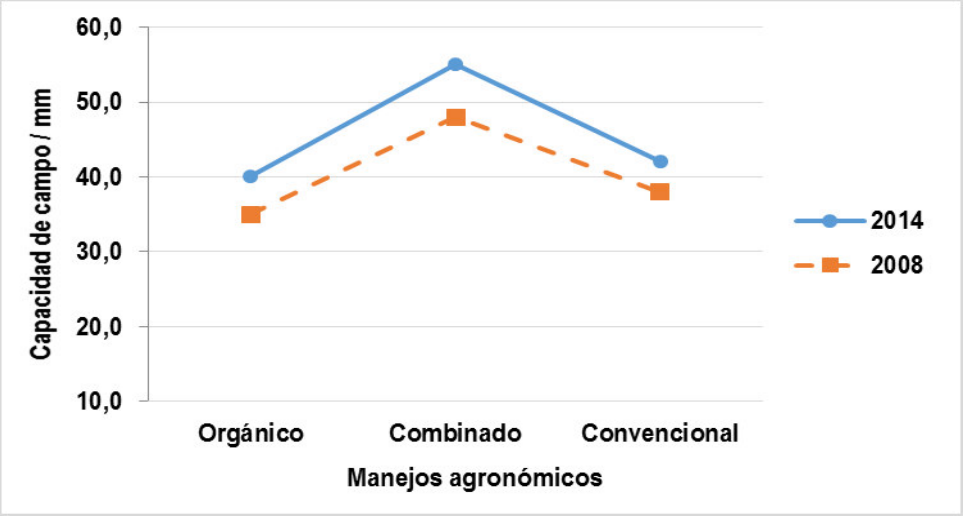
Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 1. Comparación de la densidad aparente del suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

En la figura 1 se indica que el manejo combinado mostró mayor densidad aparente (0,95 g/cc) seguido del convencional (0,87 g/cc) y finalmente el orgánico (0,82 g/cc). Las variaciones de la densidad aparente en el suelo pueden asociarse al grado humedad y textura, contenido de materia orgánica y manejo agronómico del cultivo. Los resultados en el caso del manejo combinado corresponden a un menor contenido de materia orgánica y mayor porcentaje de las partículas arenosas. Por lo que se pueden obtener beneficios como una mejor distribución del aire y humedad en el suelo, disminuyendo la resistencia a la penetración y por ende facilitando el crecimiento de las raíces.

6.1.3 Capacidad de campo

La figura 2 muestra el comportamiento de la variable capacidad de campo en los suelos con diferente tipo de manejo agronómico, adicionalmente se observan de forma comparativa los resultados obtenidos (Alarcón, 2010).



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

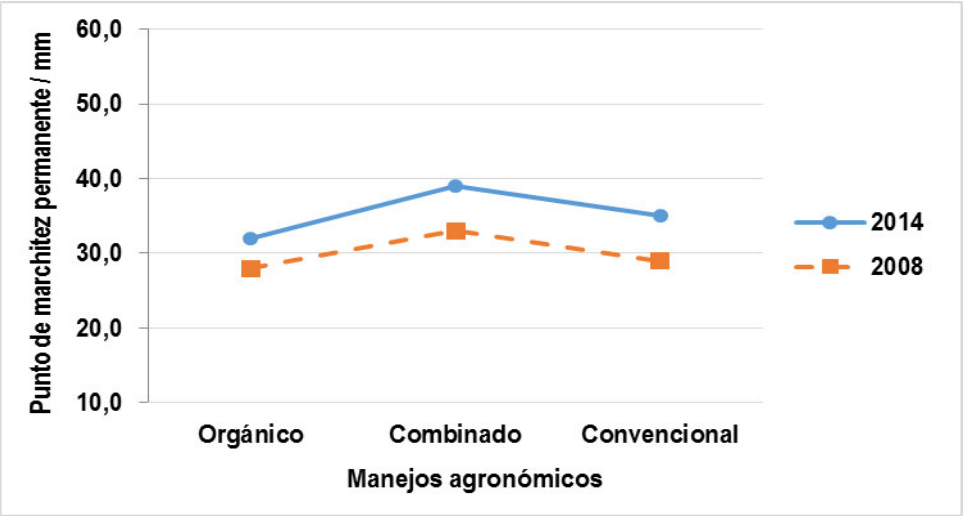
Figura 2. Comparación de la capacidad de campo del suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

La capacidad de campo, se refiere a la cantidad de agua que puede retener el suelo en sus poros, sin ser arrastrada por efecto de la gravedad. En la figura 2 se identificó que el manejo combinado (58 mm), superó al convencional (42 mm) y orgánico (40 mm) respectivamente. La presencia de árboles asociados al cultivo de café, elevan el porcentaje de humedad, debido a la sombra que éstos producen, reduciendo la tasa de evaporación del agua en el suelo. Además de considerar la textura, % materia de orgánica y grado de compactación por su relación con el grado de absorción del suelo.

6.1.4 Punto de marchitez permanente

Esta variable indica la humedad insuficiente en el suelo para las plantas, provocando su marchitez permanente. La figura 3 muestra que el manejo combinado (39 mm), superó al orgánico (35 mm) y convencional (31 mm).

Por lo que el manejo combinado ofrece condiciones más favorables para el cultivo de café, otorgando mayor aporte de humedad a las plantas. En el caso del manejo orgánico y convencional los aportes de agua que reciben sus suelos, la evaporación y extracción de las raíces reducen el volumen que puede almacenar hasta llegar a un nivel donde las raíces no pueden extraer más agua del suelo.

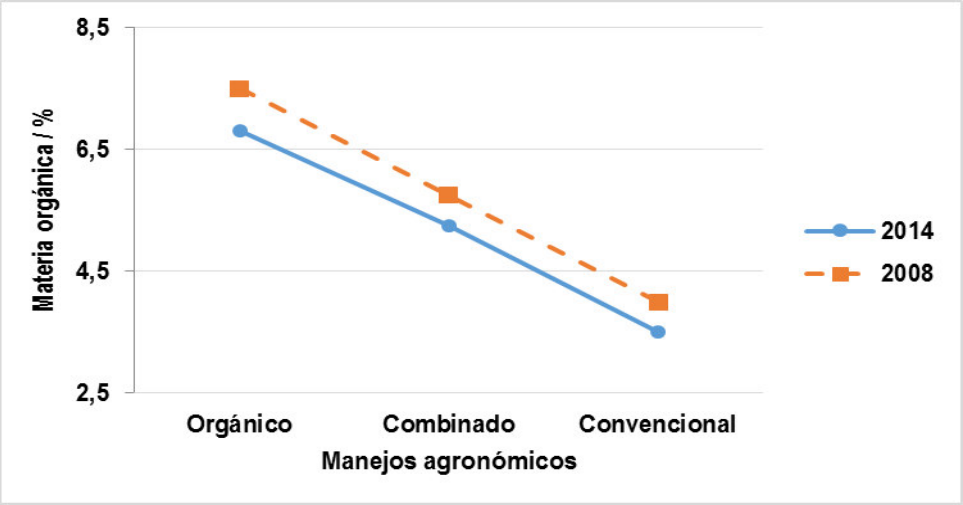


Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 3. Comparación del punto de marchitez permanente con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.1.5 Porcentaje de materia orgánica

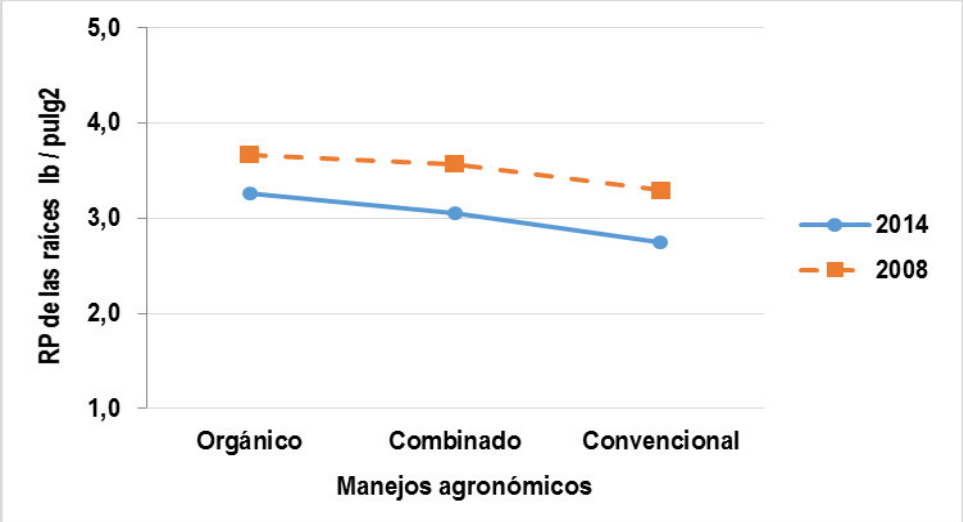
La figura 4, muestra que el manejo orgánico (6,6%) superó al combinado (5%) y convencional (3,5%) respectivamente. Se identificó que los residuos de los árboles de sombra son la principal fuente de material orgánico para el suelo. Según (Beer, JW. 1989) la hojarasca y material de poda de los árboles de sombra puede aportar hasta 340 kg de N/Ha/año al cultivo de café. Las diferencias observadas entre los tipos de manejo agronómico evaluados, con relación al porcentaje de materia orgánica se apreciaron en la humedad del suelo, influyendo en la población y actividad de las lombrices de tierra.



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 4. Comparación del porcentaje de materia orgánica en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.1.6 Resistencia a penetración de raíces



Fuente: Alarcón 2010 y Elaboración propia 2014

Figura 5. Comparación de la resistencia a la penetración de raíces con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

La figura 5 muestra que existió mayor resistencia a la penetración de raíces en suelos de fincas con manejo orgánico (3,8) superando al combinado (3,5) y convencional (3,3), dicha resistencia puede relacionarse con la compactación del suelo.

Por lo que se interpretó que a mayor resistencia a la penetración de las raíces en el suelo, mayor gasto de energía de la planta para realizar los procesos biológicos necesario para su desarrollo y producción. Considerando que la capa de materia orgánica formada en dicho manejo, la cual es superior en comparación al resto de manejos, en combinación con las condiciones climáticas pudo influir en los resultados obtenidos.

6.1.7 Síntesis de las propiedades físicas

El manejo agronómico combinado influyó directamente en la mayoría de las propiedades físicas evaluadas, observando mayor densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, éstas variables se encuentran estrechamente relacionadas con la textura. En relación al manejo convencional, notoriamente causa un efecto negativo en el suelo, modificando sus características físicas en mayor medida en comparación al manejo orgánico y combinado.

6.2 Propiedades químicas

6.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El análisis de varianza del cuadro 5 muestra los resultados de los tres tipos de manejo agronómico sobre el pH del suelo, determinando que existe diferencia estadística significativa, dichos resultados también se pueden observar en la figura 6.

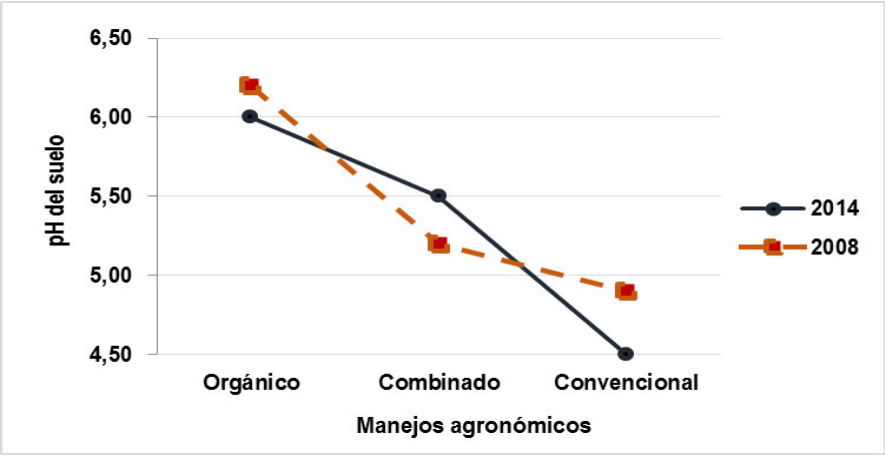
Cuadro 5. Análisis de varianza del pH del suelo en fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	0,48	0,08	0,3	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	8,17	4,08	15,9	6,93	3,88	**
Error	12	3,1	0,26				
Total	20	11,72	0,59				
%C.V.	9,49						

Fuente: Elaboración propia, 2014

La figura 6 ilustra la comparación de resultados entre los años 2008 y 2014, el manejo orgánico (6) obtuvo valores mayores de pH con relación al combinado (5,5) y convencional (4,5). Montoya citado por Sainz (2010). Indicó que mayor porcentaje de materia orgánica contribuye a que el pH del suelo sea menos ácido comparado con otros sistemas donde se incorpora menor cantidad de materia orgánica.

(Alexander, citado por Alarcón 2010) menciona que un suelo donde el pH es menor a 5,50 muestra limitantes en suministro de nutrimentos, debido a la fijación y formación de complejos insolubles y en la actividad de microorganismos. Observándose con los resultados que el manejo combinado y convencional se ven afectados con esta problemática.



Fuente: Alarcón 2010 y Elaboración propia 2014.

Figura 6. Comparación de niveles de pH en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.2 Fósforo

El cuadro 6 indica que existe diferencia significativa entre los tipos de manejo agronómico, considerando que la concentración del fósforo en el suelo, se debe a la actividad que los microorganismos realizan durante el proceso de mineralización.

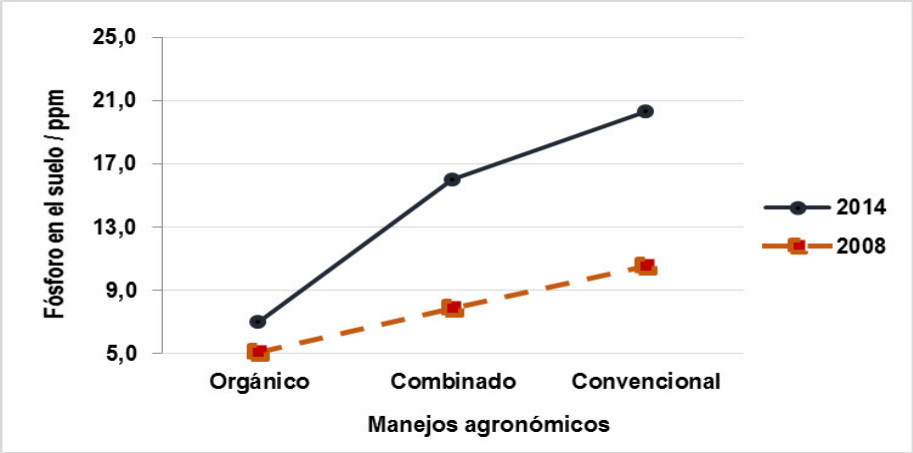
Cuadro 6. Análisis de varianza del fósforo en el suelo de fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	6,67	1,11	1,0	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	645,47	322,74	300,0	6,93	3,88	**
Error	12	12,9	1,08				
Total	20	665,06	33,25				
%C.V.	7,18						

Fuente: Elaboración propia 2014.

La figura 7 muestra la comparación de resultados entre los años 2008 y 2014, se observa que el manejo convencional supero con valores de (20 ppm) al orgánico (16 ppm) y combinado (7 ppm).

Por anterior se interpretó, que la materia orgánica aporta menor cantidad de fósforo en comparación con el manejo convencional y combinado, los resultados se relacionan a que los productores que hacen un manejo convencional aplican fertilizantes que aportan significativamente P, K y elementos menores; elevando la concentración del elemento en el suelo.



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 7. Comparación del nivel de fósforo en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.3 Potasio

El análisis de varianza del cuadro 7 indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos por los tipos de manejo agronómico orgánico, combinado y convencional. Los resultados pueden observarse en la figura 8.

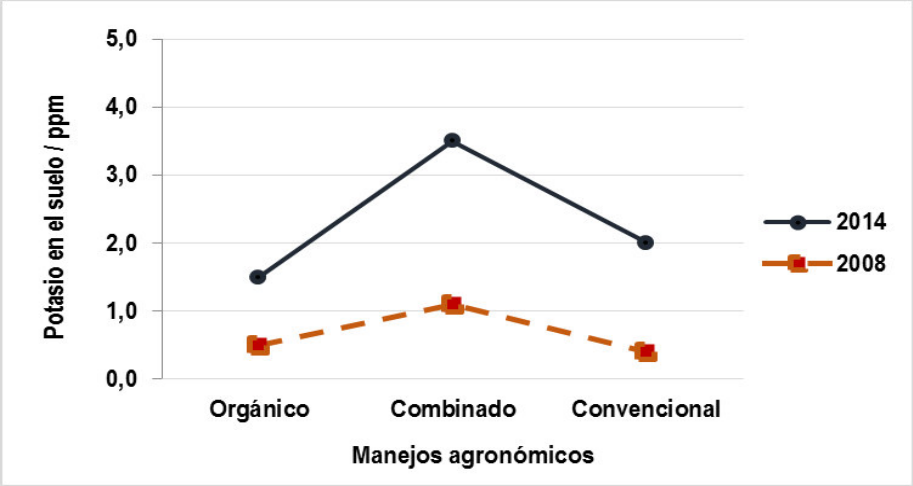
Cuadro 7. Análisis de varianza del potasio en el suelo de fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	0,63	0,10	0,5	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	15,17	7,58	37,3	6,93	3,88	**
Error	12	2,4	0,20				
Total	20	18,23	0,91				
%C.V.	19,33						

Fuente: Elaboración propia 2014.

La figura 8 muestra la comparación entre resultados de los años 2008 y 2014, se observa que los valores del manejo combinado (3,5 ppm) superaron al orgánico (2,0 ppm) y convencional (1,5 ppm). El manejo combinado realiza actividades agrícolas considerando el ecosistema como parte fundamental del cultivo, alternando productos químicos y orgánicos.

Según ANACAFE el rango adecuado oscila entre 0,2 y 1,5 ppm. Con base a lo anterior, se interpretó que los manejos combinado y convencional se asocian su aporte con la aplicación de fertilizantes minerales y en el caso del manejo orgánico por la descomposición de residuos sólidos vegetales.



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 8. Comparación de los niveles de potasio en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.4 Calcio

El análisis de varianza del cuadro 8 indica que las diferencias entre los resultados obtenidos en la variable calcio, fueron estadísticamente significativos. En la figura 9 puede observarse el comportamiento de los tipos de manejo agronómico con relación a la concentración del elemento calcio en suelo, además de comparar los resultados con los obtenidos en el año 2008.

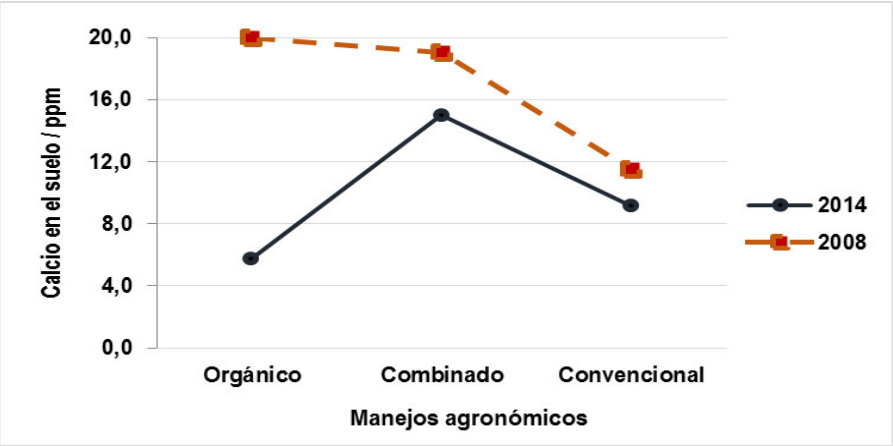
Cuadro 8. Análisis de varianza del calcio en el suelo de fincas productoras de café con diferente tipo de manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F_c	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	11,99	2,00	1,2	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	306,47	153,24	91,1	6,93	3,88	**
Error	12	20,2	1,68				
Total	20	338,65	16,93				
%C.V.	13,01						

Fuente: Elaboración propia, 2014.

La figura 9 muestra los resultados entre los años 2008 y 2014, determinando que los valores del manejo combinado (20 ppm), superó al orgánico (6,5 ppm) y convencional (9 ppm), además se observa un descenso del año 2008 al año 2014 con mejor variación, el manejo convencional el cual se asocia a la aplicación de fertilizante.

Según ANACAFE el nivel adecuado de calcio oscila entre 4 y 20 ppm, observando que los valores de los manejos agronómicos evaluados se encuentran dentro de dicho rango. Con base a lo anterior, el manejo combinado y convencional se asocian con la aplicación de fertilizantes minerales y en el caso del manejo orgánico por la descomposición de residuos sólidos vegetales.



Fuente: Elaboración propia 2014.

Figura 9. Comparación de los niveles de calcio en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.5 Magnesio

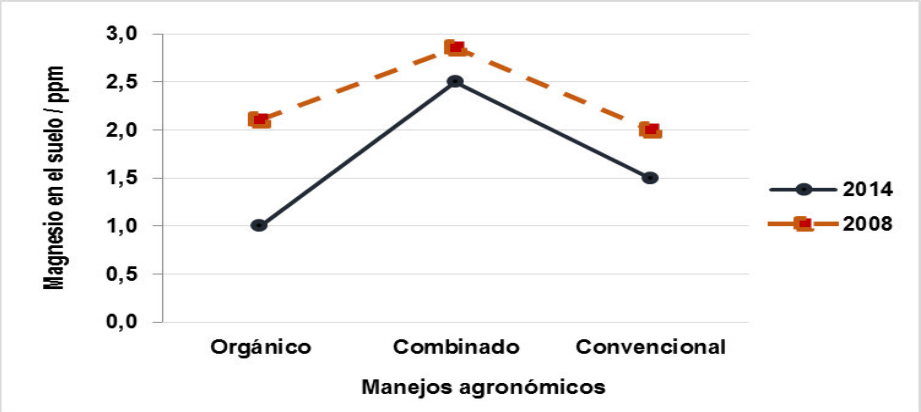
El análisis de varianza del cuadro 9 muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de manejo agronómico, con relación a la concentración de magnesio en el suelo. Los resultados se muestran en la figura 10.

Cuadro 9. Análisis de varianza del magnesio en el suelo de fincas productoras de café con diferente manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	0,54	0,09	0,7	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	8,18	4,09	31,3	6,93	3,88	**
Error	12	1,6	0,13				
Total	20	10,28	0,51				
%C.V.	21,69						

Fuente: Elaboración propia, 2014.

En la figura 10 se puede observar que para el año 2014 los valores del manejo combinado (2,5 ppm), superó al orgánico (1,5 ppm) y convencional (1 ppm), observando una disminución en comparación con el año 2008. Según ANACAFE el nivel adecuados de magnesio oscilan entre 1 y 10 ppm, determinando que los tipos de manejo agronómico evaluados se encuentran dentro de dicho rango. Con base al análisis realizado, el manejo combinado mostró mayor concentración del elemento en el suelo, sin embargo su disponibilidad para la planta, se relaciona con el elemento calcio.



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 10. Comparación de los niveles de magnesio en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.6 Zinc

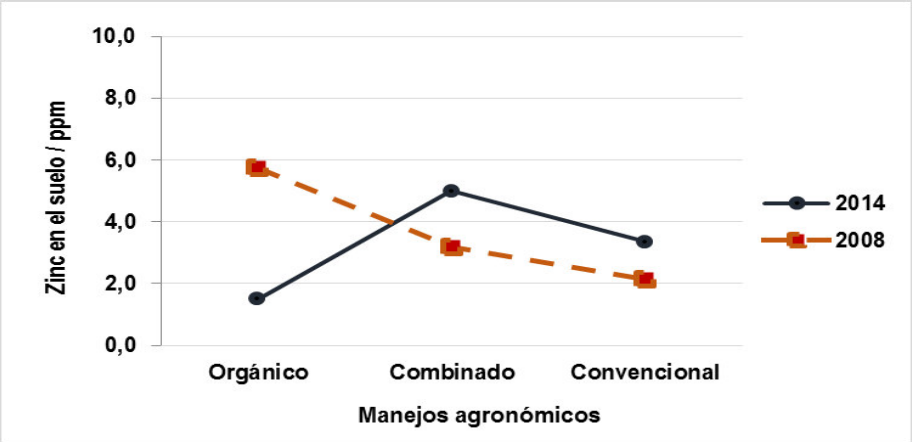
El análisis de varianza del cuadro 10 se refiere a la concentración de zinc en el suelo de fincas con diferente tipo de manejo agronómico, indicando que las diferencias entre cada uno de ellos son estadísticamente significativas.

Cuadro 10. Análisis de varianza del zinc en el suelo de fincas productoras de café con diferente manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F01	F05	Significancia
Repeticiones	6	0,73	0,12	0,3	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	42,92	21,46	50,8	6,93	3,88	**
Error	12	5,1	0,42				
Total	20	48,72	2,44				
%C.V.	19,79						

Fuente: Elaboración propia, 2014.

La figura 11 muestra los resultados entre los años 2008 y 2014, determinando que el el manejo combinado (5 ppm), superó al convencional (3,8 ppm) y orgánico (1,8 ppm). Observando que el valor del manejo orgánico disminuyo con relación al muestreo realizado en el 2008. Según ANACAFE el nivel adecuado de zinc en el suelo oscilan entre 3 y 15 ppm, identificando que los resultados analizados se encuentra dentro de dicho rango. Por lo anterior, se interpretó que el manejo combinado ofrece mayor disponibilidad de este elemento a la planta.



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 11. Comparación de los niveles de zinc en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.7 Cobre

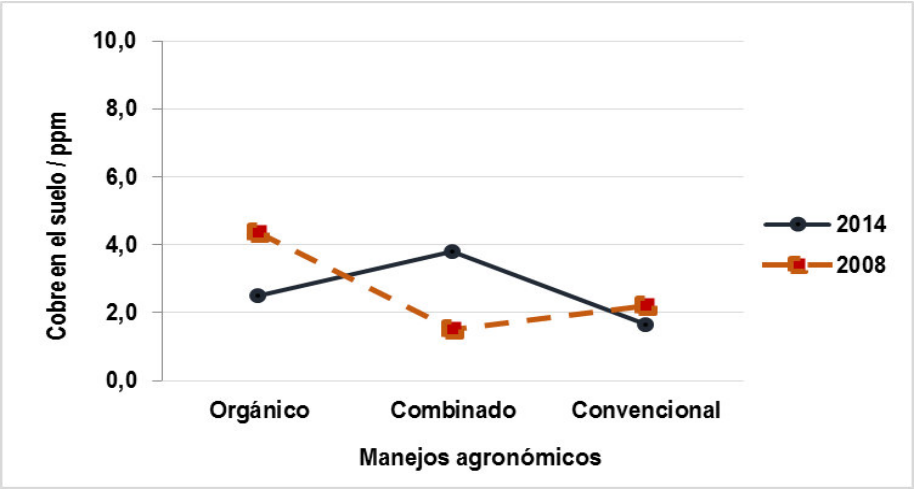
El análisis de varianza del cuadro 11 indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de manejo agronómico, con base a la concentración de cobre en el suelo. Los resultados de los tipos de manejo se muestran en la figura 12.

Cuadro 11. Análisis de varianza del cobre en el suelo de fincas productoras de café con diferente manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	0,58	0,10	1,3	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	16,42	8,21	107,4	6,93	3,88	**
Error	12	0,9	0,08				
Total	20	17,91	0,90				
%C.V.	10,43						

Fuente: Elaboración propia, 2014.

En la figura 12 se muestra los resultados obtenidos entre los años 2008 y 2014, determinando que el manejo combinado (3,9 ppm), superó al orgánico (2,2 ppm) y convencional (1,9 ppm). Según ANACAFE el nivel adecuado de cobre oscilan entre 1 y 20 ppm, identificando que los datos se encuentran entre dicho rango. Los mayores registros fueron obtenidos por el manejo orgánico 2008 y el manejo combinado 2014.



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 12. Comparación de los niveles de cobre en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.8 Hierro

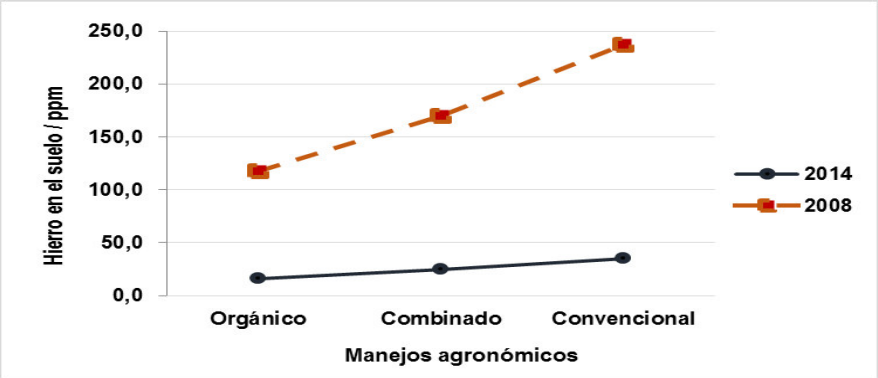
En el análisis de varianza del cuadro 12 puede observarse que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de manejo agronómico, con base a la concentración de hierro en el suelo. Los resultados de los tipos de manejo se muestran en la figura 13.

Cuadro 12. Análisis de varianza del hierro en el suelo de fincas productoras de café con diferente manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	403,50	67,25	2,3	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	1264,67	632,33	21,8	6,93	3,88	**
Error	12	348,0	29,00				
Total	20	2016,17	100,81				
%C.V.	21,26						

Fuente: Elaboración propia, 2014

En la figura 13 se muestra que los resultados entre los años 2008 y 2014, determinando que el manejo convencional (31 ppm), superó al combinado (12 ppm) y orgánico (13 ppm). Según ANACAFE el nivel adecuado de hierro oscila entre 10 y 50 ppm observando en el año 2014 que los datos se encuentra dentro de dicho rango, siendo diferente en el 2008 donde los tres manejos están por encima del nivel adecuado. En ambos muestreos se determinó que el manejo convencional alcanzó mayor concentración de hierro en el suelo en comparación al combinado y al orgánico, lo cual se relaciona con el uso de fuentes químicas para el desarrollo del cultivo.



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 13. Comparación de los niveles de hierro en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.9 Manganeso

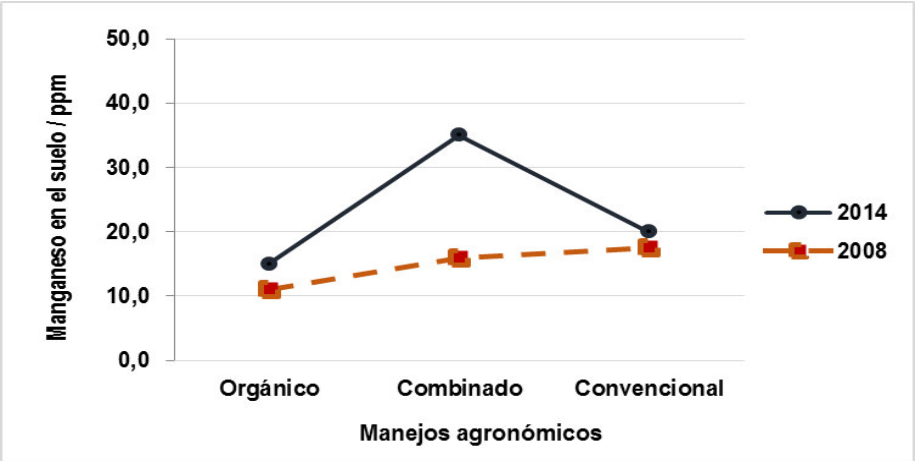
El cuadro 13 muestra los resultados del análisis de varianza, indicando que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de manejo agronómico y la concentración de manganeso en el suelo.

Cuadro 13. Análisis de varianza del manganeso en el suelo de fincas productoras de café con diferente manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	196,49	32,75	1,5	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	1516,67	758,33	34,2	6,93	3,88	**
Error	12	266,1	22,17				
Total	20	1979,23	98,96				
%C.V.	20,18						

Fuente: Elaboración propia, 2014

En la figura 14 se observan resultados de los años 2008 y 2014, determinando que el manejo combinado (35 ppm), superó al convencional (20 ppm) y orgánico (16 ppm). Según ANACAFE el nivel adecuado de manganeso en el suelo oscila entre 3 y 15 ppm, observando que los datos del año 2008 se encuentran dentro dicho rango. Los resultados del año 2014 mostraron que superan el nivel adecuado de manganeso en el suelo.



Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 14. Comparación de los niveles de manganeso en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.10 Aluminio

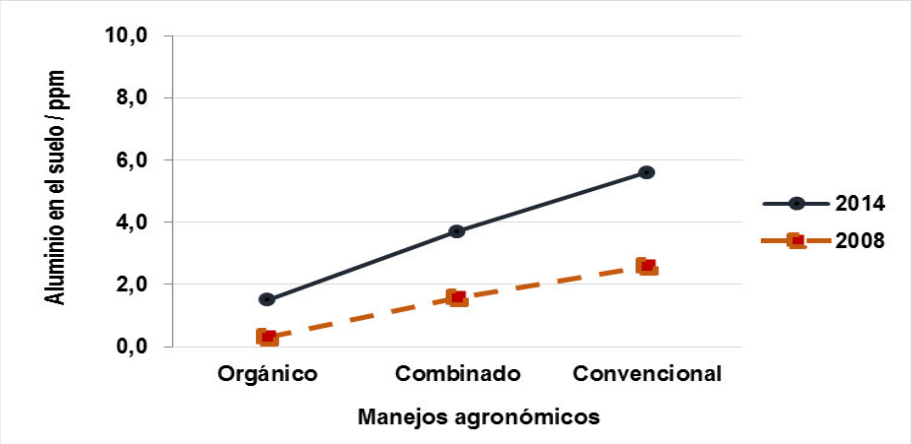
El análisis de varianza del cuadro 14 indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de manejo agronómico, con relación la concentración de aluminio en el suelo.

Cuadro 14. Análisis de varianza del aluminio en el suelo de fincas productoras de café con diferente manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, año 2014.

F. de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	F_{01}	F_{05}	Significancia
Repeticiones	6	1,50	0,25	1,2	4,82	2,99	NS
M. Agronómico	2	58,94	29,47	145,7	6,93	3,88	**
Error	12	2,4	0,20				
Total	20	62,87	3,14				
%C.V.	12,49						

Fuente: Elaboración propia, 2014.

La figura 15 se presenta los resultados de los años 2008 y 2014, determinando que los valores del manejo convencional (5,9 ppm), superó al combinado (3,9 ppm) y orgánico (1,8 ppm). Según ANACAFÉ el nivel adecuado de aluminio en el suelo oscila entre 0 y 0,99 ppm identificando que los datos superan dicho rango, únicamente el manejo orgánico del 2008 registró un resultado menor. Por lo anterior, se interpretó que los resultados reflejan la aplicación de fertilizantes químicos, especialmente los nitrogenados.



Fuente: Alarcón 2010 y Elaboración propia 2014

Figura 15. Comparación de los niveles de aluminio en el suelo con diferente manejo agronómico en el cultivo de café, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.2.11 Síntesis de las propiedades químicas

Las propiedades químicas evaluadas fueron pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, hierro, manganeso y aluminio. El pH del suelo en el manejo agronómico orgánico obtuvo valores más altos, el descenso en los valores del pH pueden asociarse al uso de agroquímicos que en menor o mayor medida utilizan el manejo combinado y convencional, específicamente con la aplicación de fertilizantes inorgánicos minerales, los cuales de forma gradual pueden ocasionar la acidificación del suelo. Lo anterior se confirmó con el análisis de la variable aluminio, debido a que se determinó que los resultados fueron mayores en el manejo agronómico combinado y convencional.

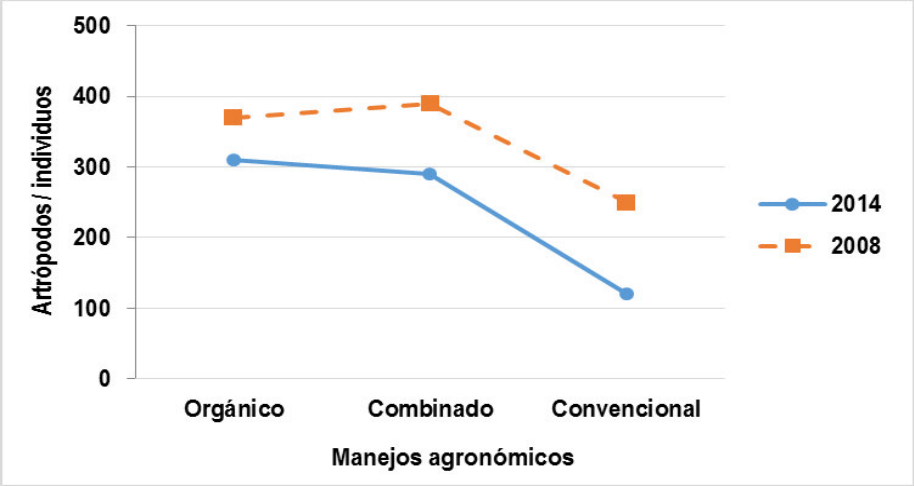
En las demás variables analizadas, específicamente los macro y micro nutrientes, los resultados obtenidos en el manejo agronómico combinado superaron al orgánico y convencional. Lo cual se asoció al efecto de la suma de las prácticas de conservación, en combinación con la aplicación alterna de agroquímicos, especialmente fuentes de fertilizantes minerales aplicadas al suelo, provocando mayor concentración de dichos elementos en el suelo.

6.3 Propiedades biológicas

6.3.1 Población de artrópodos y lombrices

El análisis de los datos se realizó mediante el conteo de artrópodos y lombrices de las muestras recolectadas en las fincas con cada tipo de manejo agronómico evaluado. La importancia de las lombrices y artrópodos en el suelo es que hacen túneles ayudando al procesamiento de los desechos orgánicos, facilitando la aireación y movimiento del agua en el suelo Linden citado por Alarcón (2010).

En la figura 16 se muestran los resultados de la cantidad de artrópodos entre los años 2008 y 2014, determinando que el manejo orgánico (310 individuos/m^2), superó al combinado (290 individuos/m^2) y convencional (110 individuos/m^2).



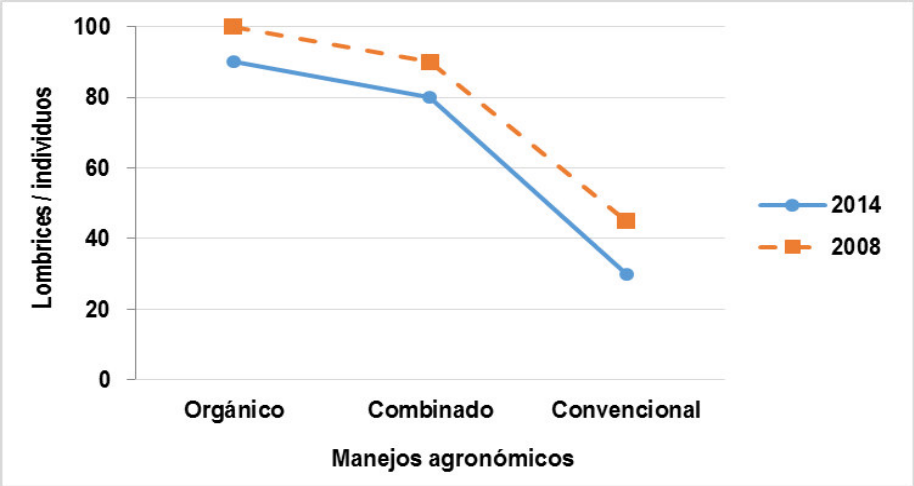
Fuente: Alarcón 2010 y elaboración propia 2014.

Figura 16. Comparación del número de artrópodos en el suelo en fincas productoras de café con diferente manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

Con base a los resultados obtenidos, la aplicación de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades asociadas al cultivo, redujo la población de artrópodos y lombrices en el suelo, en el manejo convencional. Es por ello que en las figuras 16 y 17 se observa menor número de individuos, evidenciando que los agroquímicos aplicados ejercen un efecto en el suelo. Se observa una disminución en la población de las dos variables estudiadas, población de artrópodos y lombrices para el año 2014.

En la figura 17 muestran los resultados en la población de lombrices entre los años 2008 y 2014, determinando que la cantidad de individuos del manejo orgánico (90 individuos/m^2), superó al combinado (80 individuos/m^2) y convencional (30 individuos/m^2).

La presencia de lombrices se puede utilizar como referencia para relacionar la calidad del suelo, debido al rol de éstas en la descomposición y mineralización de residuos orgánicos para el aprovechamiento de las plantas. Las actividades de las lombrices son un indicador de la cantidad de residuos o materia orgánica en el suelo. El monocultivo extensivo, la labranza convencional y el uso de agroquímicos son considerados como factores clave que reducen la diversidad de biomasa de las lombrices.



Fuente: Alarcón 2010 y Elaboración propia 2014.

Figura 17. Comparación del número de lombrices en el suelo en fincas productoras de café con diferente manejo agronómico, Quezaltepeque y Esquipulas, 2014.

6.3.2 Síntesis de las propiedades biológicas

Las propiedades biológicas evaluadas fueron número de artrópodos y lombrices, observándose que el manejo agronómico orgánico, influyó significativamente en cada una de las variables, los resultados se asociaron con el limitado uso de agroquímicos que se utilizan para el manejo del cultivo de café, lo que provoca el mayor número de microorganismos en el suelo.

6.4 Síntesis de las propiedades físicas, químicas y biológicas

El manejo agronómico orgánico mostró mayor influencia en las propiedades biológicas en comparación a las físicas y químicas. En este tipo de manejo, el mayor beneficio percibido por el cultivo a nivel del ecosistema, es la conservación y desarrollo de la biodiversidad del suelo.

El manejo agronómico convencional, mostró su efecto en detrimento de las propiedades físicas, químicas y biológicas, pudiéndose observar en la disminución del pH, actividad biológica del suelo y aumento de la concentración de aluminio. Dicho efecto se atribuyó a la aplicación intensiva de agroquímicos para el desarrollo del cultivo de café.

El manejo agronómico combinado, representó el mayor beneficio para el cultivo de café y para el suelo, pudiéndose observar el mejoramiento considerable de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Pudiéndose observar mayor concentración de los macro nutrientes, producto de la aplicación de fertilizantes minerales en combinación con prácticas orgánicas, las cuales en conjunto aportaron más cantidad de los elementos necesarios para el desarrollo del cultivo.

6.5 Análisis económico

En el cuadro 15 se muestran los costos de producción por hectárea de cada tipo de manejo agronómico en el cultivo de café variedad Catuaí, seguidamente se calcularon sus respectivos ingresos netos.

Cuadro 15. Costos de producción por hectárea de café variedad Catuaí con diferente tipo de manejo en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas 2014.

Actividades/manejos	Convencional Q.	Orgánico Q.	Combinado Q.
1. Mano de obra (Q.)	**7900,00**	**4400,00**	**6650,00**
Conservación del suelo	500.00	250.00	300.00
Control de malezas	1,000.00	500.00	700.00
Poda y deshije	300.00	100.00	200.00
Fertilización	400.00	200.00	300.00
Control fitosanitario	600.00	300.00	400.00
Manejo de sombra	200.00	100.00	100.00
Cosecha	2,500.00	1,500.00	2,000.00
2. Insumos (Q.)	**4000,00**	**1700,00**	**2600,00**
Insecticidas	200.00	100.00	150.00
Fertilizantes	2,500.00	1,000.00	1,500.00
Fungicidas	1,000.00	500.00	750.00
Herbicidas	300.00	100.00	200.00
3. Procesamiento (Q.)	**23,550.00**	**11,775.00**	**19,625.00**
Procesamiento cosecha	23,100.00	11,550.00	19,250.00
Producción qq de café pergamino	60.00	30.00	50.00
Procesamiento oro	450.00	225.00	375.00
Producción qq de café oro	48.00	24.00	40.00
Precios de venta	750.00	750.00	750.00
Total de ingresos	36,000.00	18,000.00	30,000.00
Costo Total (Q.)	**33,050.00**	**16,425.00**	**26,225.00**
Beneficio neto (Q.)	**2,950.00**	**1,575.00**	**3,775.00**

Con base a los resultados del cuadro 15, el manejo combinado de Esquipulas obtuvo un ingreso neto de Q. 3,775.00 por hectárea, superando al orgánico y convencional. Lo anterior permite constatar que el manejo agronómico tiene un efecto directo en la producción y rentabilidad del cultivo, demostrando que las prácticas agrícolas combinadas representan una opción económicamente viable al caficultor y sostenible al ecosistema.

Cuadro 16. Análisis de relación beneficio costo de tres diferentes manejos agronómicos para la producción de cultivo café variedad Catuaí, en los municipios de Quezaltepeque y Esquipulas 2014.

Manejos agronómicos	**Ingreso Neto Q.**	**Costo Total Q.**	**Rentabilidad %**
Combinado	3775	26225	14,39
Convencional	2950	33050	8,93
Orgánico	1575	16425	9,59

En el cuadro 16 se muestra el análisis de rentabilidad, identificando que el tipo de manejo agronómico combinado obtuvo mayor porcentaje en comparación al convencional y orgánico. El manejo combinado genera mayor beneficio económico para el caficultor, con 14,39% lo que significa que la inversión inicial se recuperó satisfactoriamente, pues se obtienen Q.13,39 adicionales.

Como se determinó en el cuadro 16, los ingresos netos percibidos en cada uno de los manejo agronómico de café evaluados, son relativamente bajos; en relación a las expectativas de los caficultores para dicho año, siendo necesario indicar que los resultados obtenidos en el análisis económico, fueron afectados por la problemática que ha representado la roya del café en la región; debido a que durante el periodo de realización del presente estudio, los caficultores padecieron los efectos de esta enfermedad en sus fincas de producción, adicionando el descenso del precio de venta de la cosecha.

VII. CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas evaluadas mostraron mejores características con el manejo agronómico del tipo combinado, específicamente en la densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

2. En las propiedades químicas, se obtuvo mayor concentración en el potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre y manganeso; con el manejo agronómico combinado, superando al manejo orgánico y convencional; relacionando el resultado, con la suma de las actividades de conservación de suelo, incorporación de materia orgánica, manejo de los árboles de sombra, uso de trampas para captura de insectos con la finalidad de disminuir el uso de agroquímicos, y la aplicación alterna de fertilizantes minerales.

3. Para el estudio de las propiedades biológicas del suelo se consideraron las variables, número de artrópodos y lombrices; observando que el manejo orgánico superó al combinado y convencional, cuantificando mayor número de individuos/m^2, lo que puede asociarse al porcentaje de materia orgánica presente en el suelo y el limitado uso de agroquímicos en el manejo agronómico.

4. En el análisis económico, el manejo combinado presentó un ingreso neto de Q. 3,775.00 por hectárea y una rentabilidad del 14,39%, lo que generó Q.13,39 por cada quetzal invertido en el manejo agronómico. La rentabilidad es relativamente baja debido a que las fincas donde se establecieron las parcelas fueron afectadas por la Roya del café.

VIII. RECOMENDACIONES

El manejo agronómico combinado es aconsejable por los beneficios que provee al cultivo de café, el ecosistema y la económica del caficultor.

Considerando la necesidad de mejorar los procesos de producción en el cultivo de café es necesario proponer la continuidad y seguimiento de esta investigación, para validar el conocimiento generado y determinar el momento en que sea posible transferir la información a los productores.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alarcón, HJ. 2010. Evaluación de tres condiciones de manejo agronómico del cultivo del café, *Coffea arabica,* y su efecto en las características físicas, químicas y biológicas del suelo en las localidades de Esquipulas y Quezaltepeque, departamento de Chiquimula 2009. Tesis Ing. Agr. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. 78 p.

ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, GT). 2006. Manual de beneficiado húmedo del café. Guatemala, MacDonald Ediciones. 250 p.

ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, GT). 2006. Manual de caficultura. Guatemala, MacDonald Ediciones. 350p.

ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, GT). 2013. La caficultura guatemalteca enfrenta serios desafíos en 2013. Revista El Cafetal no. 34: 10-11.

Beer, JW. 1989. Experiencias con árboles de sombra en cafetales en Costa Rica (en línea). In Avances en la investigación forestal: memorias del seminario. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 451 p. (Serie técnica Informe de Investigación y enseñanza. No. 147). Consultado 15 feb. 2010. Disponible en https://books.google.com.gt/books?id=JHQOAQAAIAAJ&pg=PA187&lpg=PA187&dq=Experiencias+con+%C3%A1rboles+de+sombra+en+cafetales+en+Costa+Rica,+beer&source=bl&ots=g_wln7ja7y&sig=PU19Vs40bTELeaPzuOtEGOXUeU&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiK88XNo4nMAhWCKx4KHWEqAkMQ6AEIGjAA#v=onepage&q=Experiencias%20con%20%C3%A1rboles%20de%20sombra%20en%20cafetales%20en%20Costa%20Rica%2C%20beer&f=false

Castillo Cerna, CM. 2005. Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos, laderas, en la microcuenca Cuscamá El Tuma- La Dalia Matagalpa, 2005 (en línea). Tesis Ing. Agr. Nicaragua, UNA. 92 p. Consultado 15 feb. 2010. Disponible en http://repositorio.una.edu.ni/1094/1/tnp35c352.pdf

De La Cruz, JR. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, MAGA/INAFOR/ DIGESA. 24 p.

Delgado G, Burbano A, Silva, P. 2010. Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas de café *Coffea arabiga* L. (en línea). Revista de Ciencias Agrícolas 28 (1): 91 – 106. Consultado 14 feb. 2010. Disponible en https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5104119.pdf

Domínguez Silva, MJ- 2005. Evaluación de la calidad de los suelos de laderas de Nandaime, a través de la identificación y uso de indicadores técnicos y locales. (en línea). Tesis Ing. Rec. Renovables. Managua, Nicaragua, UNA, FARENA. 78 p. Consultado 14 feb. 2010. Disponible en http://cenida.una.edu.ni/Tesis /tnp33d671.pdf

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italia). 2003. Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaría (en línea). El-Hage Sciabbaba, N; Hattam, C (eds). Roma, Italia. 253 p. Consultado 2 feb. 2010. Disponible en https://books.google.com.gt/books?id=HlQhvUKrhxMC&printsec=frontcover&dq=Agricultura+org%C3%A1nica,+ambiente+y+seguridad+alimentaria&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwir6IjavInMAhWLHx4KHerFDUEQ6AEILjAA#v=onepage&q=Agricultura%20org%C3%A1nica%2C%20ambiente%20y%20seguridad%20alimentaria&f=false

George, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica (en línea). Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 101 p. Consultado 3 feb. 2010. Disponible en http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0834e/A0834e.pdf

Marroquín, RJ. 2002. Evaluación de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el rendimiento del cultivo de café, *Coffea arabica*, en dos localidades de la parte alta del municipio de Quezaltepeque, del departamento de Chiquimula 2002. Tesis Ing. Agr. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. 60 p.

Porras Vanegas, CM. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el Corredor Biológico Turrialba–Jiménez Costa Rica. (en línea). Tesis M. Sc. Agr. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 150 p. Consultado 11 feb. 2010. Disponible en http://repositorio. bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/1394/Efecto_de_los_sistemas_agroforestales_de_cafe_organico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sainz Rozas, H; Echeverría, HE; Angelini, H. s.f. Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapanpeana de Argentina (en línea). Informaciones Agronómicas (4): 14-18. Consultado 4 feb. 2010. Disponible en http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/6D8FCB6FAE2CE01285257982007 471F/ FILE/14.pdf

Uribe H. 1971. Erosión y conservación de suelos en café y otros cultivos. (en línea). Revista Cenicafe 22(1):1-17. Consultado 11 feb. 2010. Disponible en http://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/revista_cenicafe/revista_cenicafe_arc022_01_01-17

X. APENDICE

APENDICE 1. BOLETA DE INFORMACIÓN

INFORMACIÓN DE FINCAS DE CAFÉ CON DISTINTOS MANEJOS AGRONOMICO

Departamento	Municipio	Aldea	Caserío
Chiquimula			

Coordenadas (GTM - WGS84)	X	Y		Fecha
				/ / 2014

Nombre de la Finca	
Nombre del Propietario	

Area Total de la finca, cultivada con Café:	Ha		Altitud:	Msnm

1.-	Tipo de manejo:	Convencional	Combinado	Sostenible

2.-	Area de Café por Edad (Ha)	0 - 3 a	4 - 12 a	13 – 15 a	16 - 20 a	21 – 25 a	> 25 a

3.-	Area por Variedad (Ha)	Pacamara	Caturra	Catuaí	Catimor	Sarchimor		Café Uva (Maratimor Maracaturra)	Otras

4.-	Producción de café maduro en cosecha (qq):		5.-	Precio Promedio de Venta qq maduro:	Q
6.-	Cantidad de jornales utilizados en cosecha		7.-	Valor pagado en mano de obra por qq de café maduro	Q
8.-	Mano de Obra Permanente para manejo de plantaciones		9.-	Valor / Jornal:	Q
10.-	Mano de Obra Temporal para manejo de plantaciones durante el año 2012:		11.-	Valor / Jornal:	Q

12.-	Manejo del cultivo	Control de malezas	Manejo de sombra	Control de plagas	Control de enfermedades	Manejo de tejidos	Conservación de suelos

13.-	Fertilización	Análisis de suelos	Fórmulas	Cantidad por Ha	No. de aplicaciones	Fertilización Foliar	Enmiendas

14.-	Que Enfermedades han afectado sus cafetales	Antracnosis	Roya	Mancha de Hierro	Ojo de Gallo	Phoma	Otras

15.-	Recibe usted algun tipo de asesoría técnica para el manejo de su finca:			16.-	Quien visita su finca:	ANACAFE	
						MAGA	
						AGROSERVICIOS	
17.-		SI	NO				
						ONG`s	
						OTROS	

18.-	Que productos?		Dosis	Frecuencia de aplicación			
				Quincenal	Mensual	Semestral	Anual

19.-	Por que cree que plagas y enfermedades afecta su plantación	Factores Climáticos	Manejo Integrado. De plagas y Enfermedades	Falta de Fertilización	Edad de la Planta	Variedad de la Planta	Otras

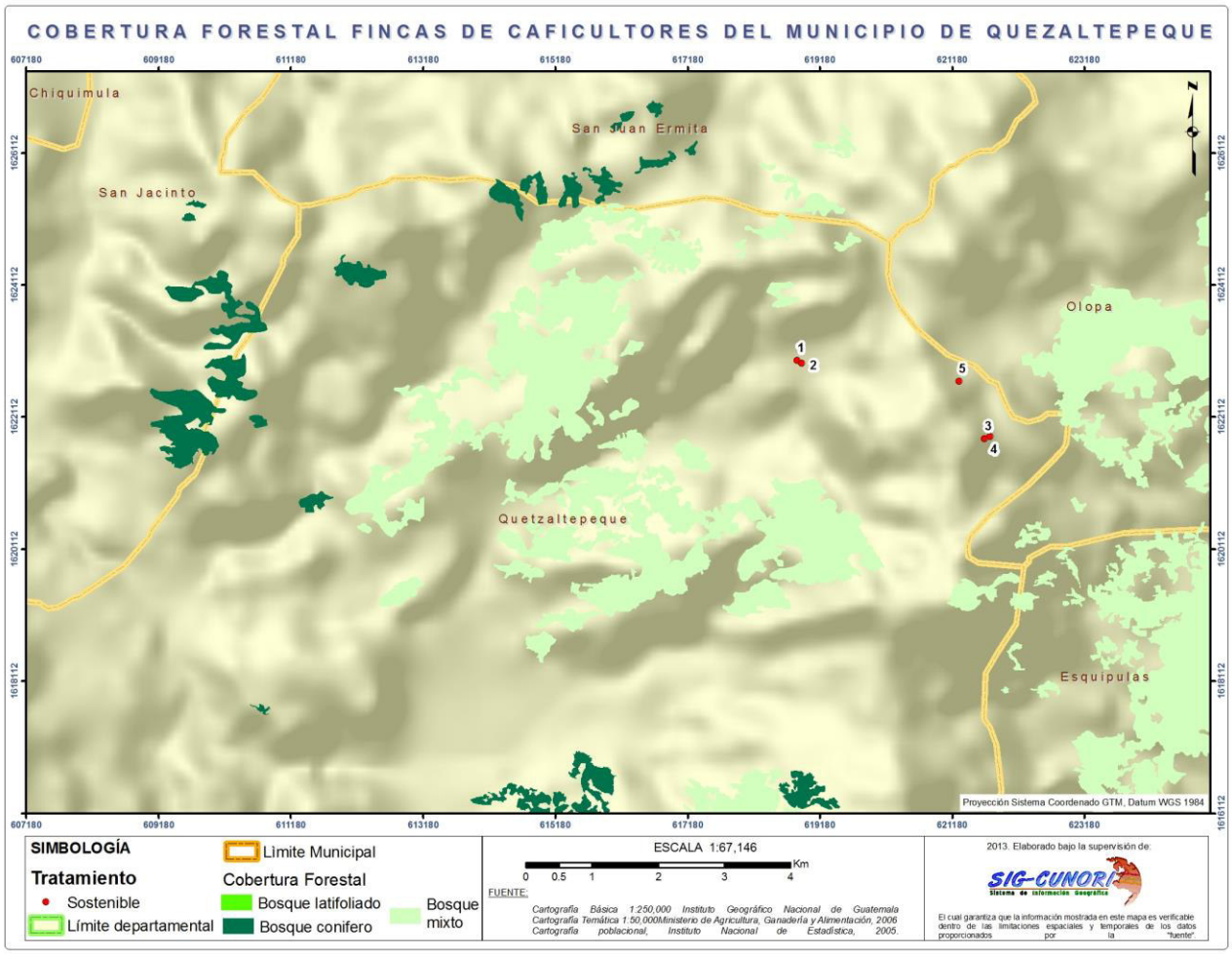
20.-	Considera usted renovar su cultivo para el próximo año:	SI	NO	21.-	Cuanto considera usted que es el costo de renovación por Ha. de café.	Q

22.-	Variedad y area que pretende renovar (Ha.)	Pacamara	Caturra	Catuaí	Catimor	Sarchimor	Café Uva (Maratimor Maracaturra)	Otras

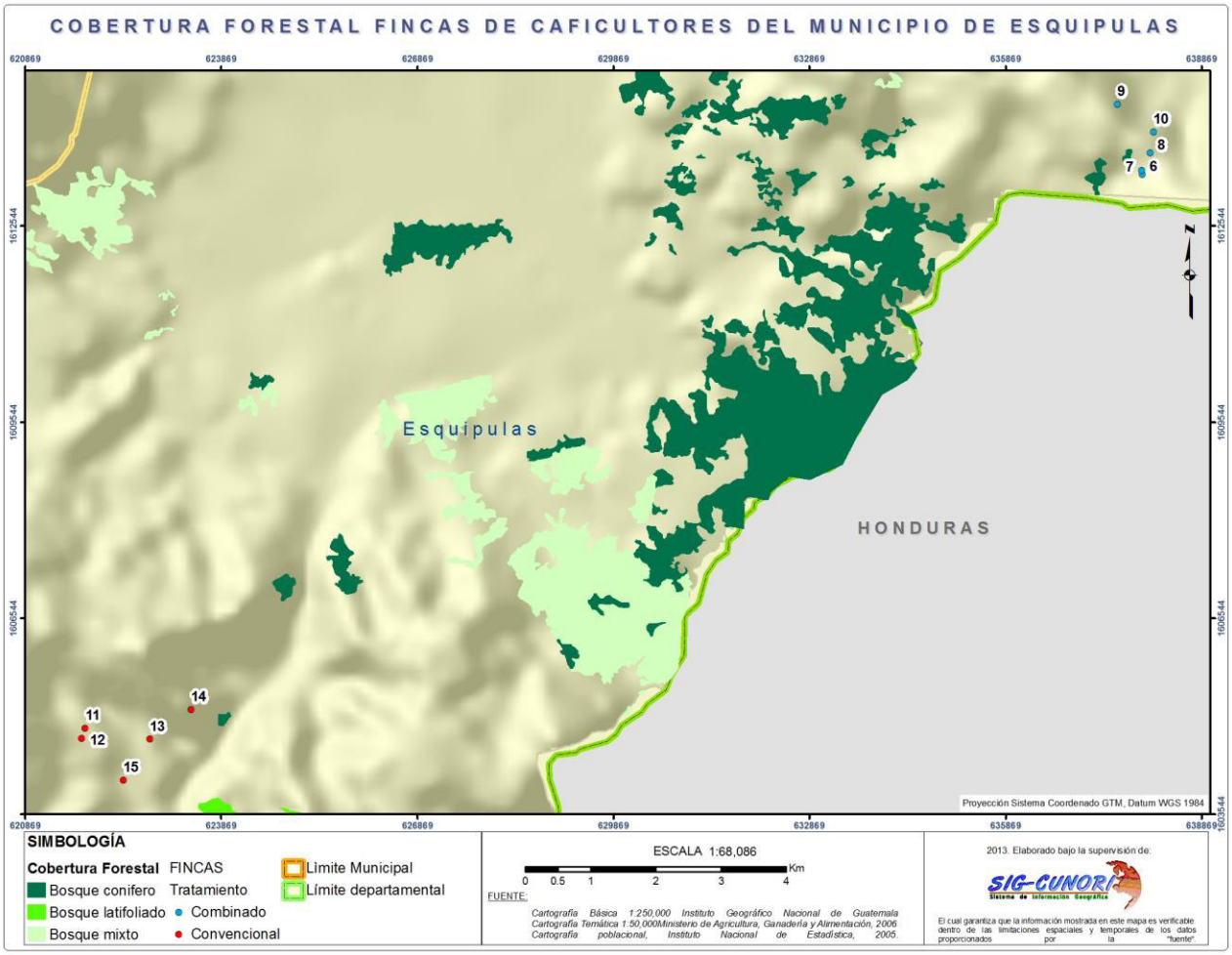
Observaciones

XI. ANEXOS

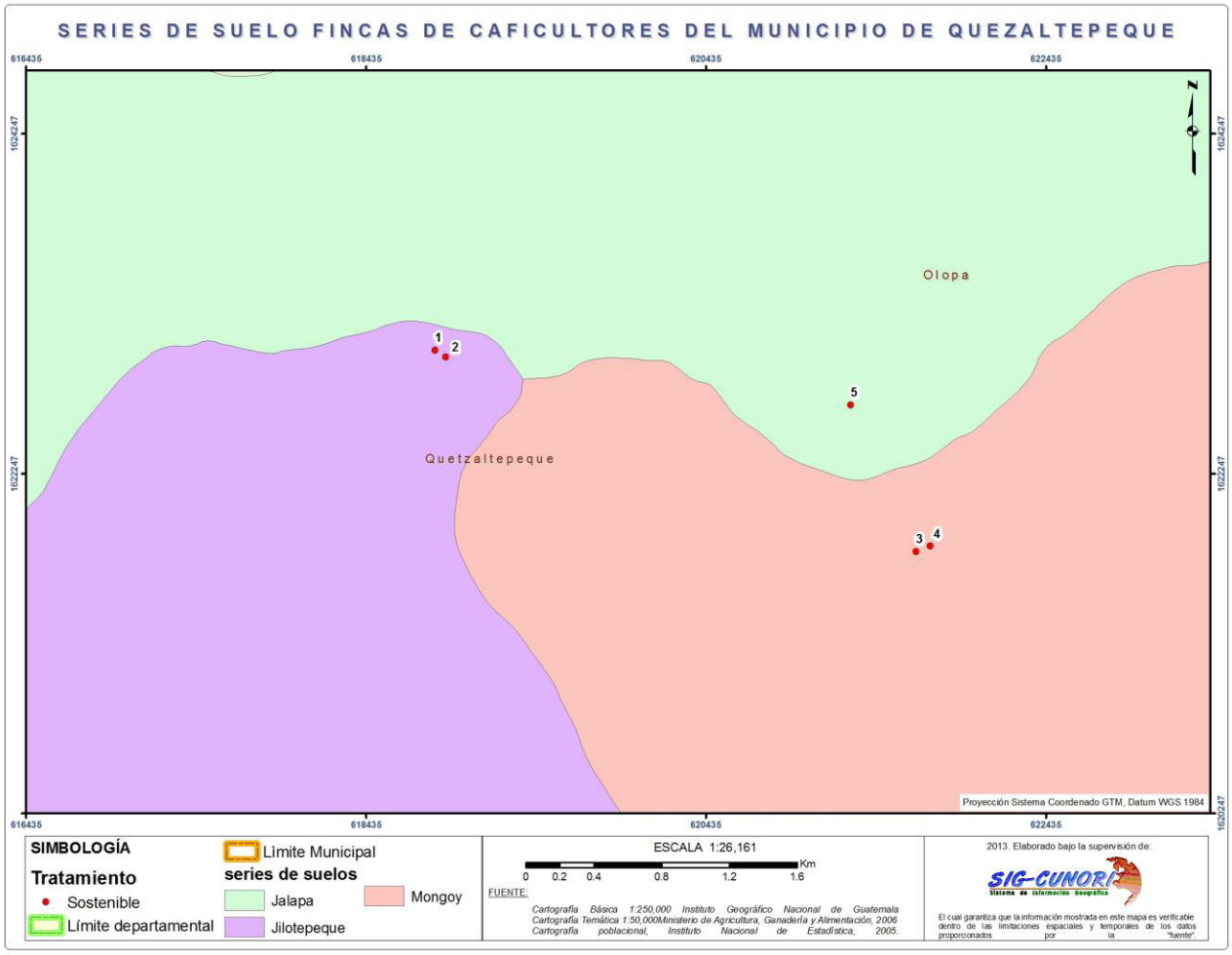
ANEXO 1. Mapa de cobertura forestal en donde se encuentran ubicadas las 5 fincas con manejo orgánico en el municipio de Quezaltepeque.



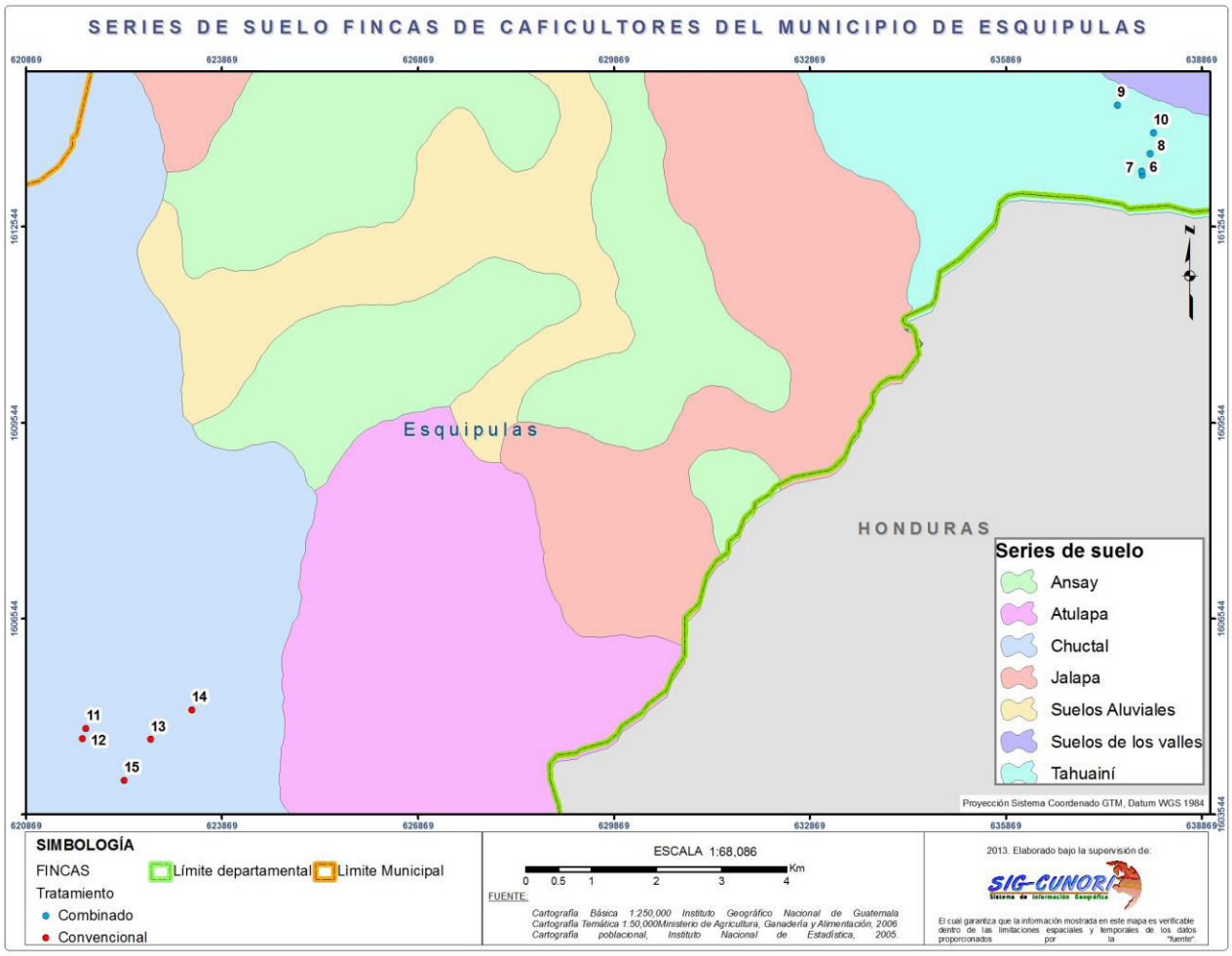
<u>ANEXO 2.</u> Mapa de cobertura forestal en donde se encuentran ubicadas 5 fincas con manejo combinado y 5 fincas con manejo convencional en el municipio de Esquipulas



<u>ANEXO 3</u>. Mapa de la serie de suelo en donde se encuentran ubicadas las 5 fincas con manejo orgánico en el municipio de Quezaltepeque



ANEXO 4. Mapa de la serie de suelo en donde se encuentran ubicadas 5 fincas con manejo combinado y 5 fincas con manejo convencional en el municipio de Esquipulas.



IMAGENES DE LOS ANALISIS DE SUELOS DE LAS 15 FINCAS EN ESTUDIO.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

AGRONOMIA

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el pH del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	6 -6,5	5,80	6,50	5,70	6,50	5,00	6,50	6,00
Combinado	Esquipulas		5,40	5,25	6,10	5,60	5,15	5,30	5,70
Convencional	Esquipulas		4,35	4,15	5,00	4,15	5,15	4,20	4,50

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

AGRONOMIA

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el fósforo del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	12 -16 ppm	7,00	6,50	7,50	7,10	7,65	6,50	6,75
Combinado	Esquipulas		15,00	16,70	16,25	14,95	15,60	17,30	16,20
Convencional	Esquipulas		20,80	22,70	21,50	18,90	20,50	19,25	18,50

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el potasio del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	0,27 -0,38 meq/100 g	2,50	1,00	2,00	1,50	1,70	1,05	0,75
Combinado	Esquipulas		3,25	3,50	3,25	3,50	3,25	4,00	3,75
Convencional	Esquipulas		2,25	2,10	2,05	1,65	2,15	2,00	1,80

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

AGRONOMIA

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el calcio del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	4 -8 meq/100 g	5,90	7,00	4,70	5,55	7,50	5,60	4,00
Combinado	Esquipulas		13,00	15,75	14,25	15,20	14,00	16,80	16,00
Convencional	Esquipulas		9,70	8,15	7,50	8,00	11,50	10,50	8,70

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el magnesio del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	1,5 - 2 meq/100 g	1,10	0,80	0,95	1,15	1,25	1,00	0,75
Combinado	Esquipulas		2,10	2,30	2,05	3,50	2,30	3,00	2,25
Convencional	Esquipulas		1,50	1,70	1,48	1,37	1,50	1,25	1,67

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el zinc del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	4 - 6 ppm	1,30	1,05	1,50	2,10	1,15	1,80	1,60
Combinado	Esquipulas		5,15	4,60	4,30	4,75	5,90	4,95	5,35
Convencional	Esquipulas		3,50	4,10	3,75	4,05	3,15	2,90	2,00

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el cobre del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	2 - 4 ppm	2,30	2,75	2,00	2,50	2,20	2,65	3,10
Combinado	Esquipulas		3,45	3,75	4,10	4,00	3,80	3,60	3,90
Convencional	Esquipulas		1,50	1,75	1,35	1,60	2,05	1,45	1,85

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

AGRONOMIA

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el hierro del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	10 -15 ppm	1,00	11,00	7,50	25,00	11,50	15,80	12,60
Combinado	Esquipulas		15,00	12,50	16,50	9,00	10,50	15,40	16,90
Convencional	Esquipulas		24,00	37,00	18,00	45,50	30,50	33,20	28,10

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el manganeso del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	10 -15 ppm	0,50	11,00	42,50	15,50	17,38	22,00	25,10
Combinado	Esquipulas		41,50	36,00	64,50	35,00	44,30	50,10	43,80
Convencional	Esquipulas		10,50	39,00	14,50	12,00	19,50	22,70	25,60

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el aluminio del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
Orgánico	Quezaltepeque	∠ 0,8 meq/100 g	1,05	1,40	1,70	1,80	1,45	1,50	1,60
Combinado	Esquipulas		4,30	3,20	3,80	3,60	3,50	4,10	3,40
Convencional	Esquipulas		6,50	5,30	6,40	5,75	5,50	5,00	4,75

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

AGRONOMIA

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre la textura del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4	FINCA 5
Orgánico	Quezaltepeque	Franco-arcilloso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco-arenoso
Combinado	Esquipulas	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso
Convencional	Esquipulas	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	Franco arcillo arenoso

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre la densidad aparente (Da) g/cc del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4	FINCA 5
Orgánico	Quezaltepeque	0,8511	0,8163	0,8333	0,8696	0,8050
Combinado	Esquipulas	0,9302	0,9510	0,9877	0,9225	0,9120
Convencional	Esquipulas	0,8810	0,8616	0,8725	0,8905	0,8490

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre el porcentaje de materia orgánica del suelo.

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4	FINCA 5
Orgánico	Quezaltepeque	4-5 %	6,00	5,50	6,25	5,75	5,10
Combinado	Esquipulas		5,15	5,00	5,05	5,45	5,25
Convencional	Esquipulas		3,75	3,30	4,05	3,60	3,50

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-ÁREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre la resistencia a la penetración de las raíces en el suelo (lb/pulg2).

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4	FINCA 5
Orgánico	Quezaltepeque	3,35	3,50	3,25	3,15	3,20
Combinado	Esquipulas	3,10	3,00	3,05	2,95	3,20
Convencional	Esquipulas	2,80	2,55	2,65	2,90	2,75

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-AREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"

AGRONOMIA

Interesado: Mirna Liliana Morán.

Fecha de ingreso: 10/07/2014.

Resultados de laboratorio sobre la capacidad de campo del suelo (mm).

IDENTIFICACIÓN	PROCEDENCIA	FINCA 1	FINCA 2	FINCA 3	FINCA 4	FINCA 5
Orgánico	Quezaltepeque	40	42	44	38	41
Combinado	Esquipulas	55	58	53	57	54
Convencional	Esquipulas	44	45	47	43	42

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS
DE SUELO AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
SUB-ÁREA DE MANEJO DE SUELO Y AGUA

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769

FOTOGRAFIAS DE EL TRABAJO DE CAMPO REALIZADO

Toma de datos, para calcular la variable resistencia a la penetración de raíces,
Con el instrumento de medición penetrometro, el cual mide libras por pulgada cuadrada.

Muestreo de suelos para el análisis en laboratorio