

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA
CON ESPECIALIDAD EN MANEJO AGROECOLÓGICO DEL SUELO



TESIS
EFFECTO DEL MANEJO ORGÁNICO, SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO,
INDICADORAS DE LA SOSTENIBILIDAD.

Ing. Agr. FRANCISCO BELISARIO QUIXTAN GÓMEZ
GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2010

ESTA TESIS FUE ACEPTADA POR EL CONSEJO ACADEMICO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA Y APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR DE LA INVESTIGACIÓN, COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIA DE MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN AGROECOLOGÍA.

**Ing. Agr. MSc. Marco V. Fernández M.
Asesor Principal**

**Ing. Agr. MSc. Anibal Sacbajá G.
Asesor Adjunto**

**Dra. María A. Alfaro V.
Asesora Adjunta**

**Dr. Eddi A. Vanegas Ch.
Director Programa de Estudios de Postgrado**

**Ing. Agr. MSc. Francisco Vásquez
DECANO**

IMPRÍMASE

Guatemala, Noviembre del 2,010

ACTO QUE DEDICO:

AL CREADOR:	¡JEHOVÁ DE LOS EJERCITOS!, Dios todo poderoso ¡REY DE GLORIA por su bondad y misericordia, al permitir alcanzar esta meta. Porque de Jehová es la tierra y su plenitud, el mundo y los que en él habitan, él la fundó sobre los mares y la afirmó sobre los ríos. Salmos: capítulo 24, versos 1 y 2
A MIS PADRES:	Nicolás Quixtán y Aurora Gómez Martínez
A MIS HIJOS:	Mynor Francisco, Marilia Yessenia, Lysbeth Elizabeth, Oscar Nicolás, Aurora, Karen Leticia, Gustavo Natanael, Francisco Belisario (QEPD), y Helen Michel
A MIS HERMANOS:	Aparicio, Obilia Margarita, Adela (QEPD), Hilda Catarina, Silvia Edita, Mélida Rosalba, José Luis, José Alfredo (QEPD), Noé Ottoniel, Melvin Oseas
A MIS NIETOS:	Luis Francisco, Nohemí Abigail, Rosario Elizabeth, Zuleyka Mariela, Darlyn Elizabeth y Cáterin Nataly.
A MIS SOBRINOS:	Todos
A MI FAMILIA:	En general
A MIS AMIGOS:	En general
A MI PUEBLO:	Zunilito, Suchitepéquez
A LOS ESTABLECIMIENTOS:	Escuela Nacional Urbana Mixta Emilio Arenales Catalán de Zunilito Suchitepéquez e Instituto Evangélico América Latina, Z. 13 Guatemala.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento Sincero a mis Asesores. Ing. Agr. MSc. Marco Vinicio Fernández Montoya, Ing. Agr. MSc. Anibal Sabajá Galindo y Dra. María Antonieta Alfaro Villatoro. Por su orientación en la realización de este trabajo.

Al profesor de la Escuela Urbana Mixta Emilio Arenales Catalán de Zunilito Suchitepéquez. José Calixto Palacios (QEPD), por sus sabios consejos

A mis compañeros en la maestría, Luis Felipe, Julio, Pablo, Alvaro, Edy, Hermógenes. Por compartir esos momentos inolvidables de la vida.

A los profesionales que compartieron sus conocimientos en la maestría Manejo Sostenible de Suelo y Agua con Especialidad en Agroecología.

Al personal del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), de la universidad de San Carlos d Guatemala. Principalmente don Oswaldo, por su colaboración en el desarrollo del trabajo de campo y manejo del cultivo de Girasol, realizado en dicho centro,

Al personal del Laboratorio de Suelo y Agua de la facultad de Agronomía de la universidad de San Carlos de Guatemala. Ing. Agr. Salvador Castillo Orellana, por haber realizado el análisis químico de las muestras de suelos con manejo orgánico y convencional, provenientes del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA).

Al personal encargado del Laboratorio de suelo y agua, por su colaboración en el manejo de las muestras, en la determinación de humedad de suelos provenientes del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA)

A los elementos de seguridad del edificio T-8, por permitirme el ingreso en todo momento al laboratorio de suelo y agua, para el manejo de las muestras de suelos allí depositadas.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de esta obra.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1 Marco Conceptual	4
3.1.1 El Suelo	4
3.1.2 La Calidad del Suelo	4
3.1.3 Variabilidad de los Suelos	5
3.1.4 La Degradación de los Recursos Naturales	5
3.1.5 Agricultura Sostenible	6
3.1.6 Agricultura Orgánica	6
3.1.7 Agricultura orgánica y biodiversidad	7
3.1.8 Agricultura Convencional o Industrial	8
3.1.9 Propiedades físicas	8
A. La infiltración del agua en el suelo	8
B. Sólidos, Aire y Agua del Suelo	9
C. Densidad Aparente del Suelo	9
D. La porosidad	9
3.1.10 Propiedades químicas	10
A. Reacción del Suelo	10
B. La Salinidad del Suelo	11
C. Capacidad de Intercambio Catiónico	13
D. Fertilidad del Suelo	14
E. Los nutrientes en el Suelo	14
F. La Materia Orgánica del Suelo	16
3.1.11 Propiedades Biológicas	17
A. El cultivo de Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	17
B. Estudio de la Vegetación Arvense	17
C. La lombriz de tierra (<i>Lumbricus terrestres</i>), (macrobiología del suelo)	18
D. La Microbiología del suelo	19
E. La Biomasa Microbiana del Suelo	19
3.2 MARCO REFERENCIAL	20
3.2.1 Localización	20
3.2.2 Clima y Zona de Vida	20
3.2.3 Los Suelos del CEDA	20
3.2.4 Antecedentes de la parcela orgánica y convencional del CEDA	21
3.2.5 Investigaciones realizadas sobre la calidad del suelo	22
4. OBJETIVOS	25
4.1 OBJETIVO GENERAL	25
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
5. HIPÓTESIS	26
6. METODOLOGÍA	27
6.1 VARIABLES FÍSICAS	27
6.1.1 Infiltración básica	27
6.1.2 Retención de humedad	27
6.1.3 Densidad y Porosidad	27
6.2 VARIABLES QUÍMICAS	27
6.2.1 Pontencial de Hidrogeno (pH)	27

6.2.2 Concentración de sales	27
6.2.3 Fertilidad. Elementos disponibles: Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Cinc (Zn) y Hierro (Fe).	27
6.2.4 Capacidad de intercambio catiónico CIC.	27
6.2.5 Cationes intercambiables: Calcio (Ca), magnesio (Mg), Sodio (Na) y potasio (K).	27
6.2.6 Saturación de bases	27
6.2.7 Materia orgánica	27
6.2.8 Nitrógeno total	27
6.3 VARIABLES BIOLÓGICAS	27
6.3.1 Cuantificación de lombrices de tierra	27
6.3.2 Altura, diámetro basal y biomasa del cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	27
6.3.3 Valor de importancia de arvenses	27
6.4 Modelo Estadístico	28
6.5 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO	29
6.5.1 Determinación de las variables físicas.	29
A. Infiltración básica	29
B. Retención de humedad en el suelo	29
C. La densidad del suelo y porosidad	29
6.5.2 Determinación de las variables químicas	29
6.5.3 Determinación de las variables biológicas	29
A. La lombris de tierra (<i>Lumbricus terrestris</i>)	29
B. Altura, diámetro de tallos y biomasa del cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	29
C. Valor de importancia de arvenses	30
7. RESULTADOS Y DISCUSION	31
7.1 VARIABLES FISICAS	31
7.1.1 Resultados de la infiltración básica	31
7.1.2 Retención del agua en el suelo	32
7.1.3 Densidad aparente y porosidad	35
7.2 Variables químicas	37
7.2.1 El potencial de hidrógeno (pH), del suelo	39
7.2.2 La conductividad eléctrica (CE)	39
7.2.3 Elementos disponibles	39
A. El Fósforo (P)	39
B. El Potasio (K)	40
C. El Calcio (Ca)	40
D. El Magnesio (Mg)	40
E. Elementos menores: El Cobre (Cu), El Cinc (Zn), El Manganeseo (Mn), y Hierro (Fe).	40
7.2.4 Elementos intercambiables	41
7.2.5 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	41
7.2.6 La saturación de bases	41
7.2.7 La materia orgánica	41
7.2.8 Nitrógeno total	43
7.3 VARIABLES BIOLÓGICAS	43

7.3.1 Cuantificación de lombrices de tierra	43
7.3.2 Altura, diámetro basal y biomasa del cultivo de Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	45
7.3.3 Valor de importancia de Arvenses	49
8. CONCLUSIONES	54
9. RECOMENDACIONES	57
10. BIBLIOGRAFIA	58
11. ANEXO	60

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

Cuadro 1.	Escala y guía para la interpretación agronómica de la concentración de sales (C. S.)	13
Cuadro 2.	Caracterización química de diferentes tipos de lombricompuestos	16
Cuadro 3.	Variables y métodos de determinación	30
Cuadro 4.	Infiltración básica del agua en suelos Cambisoles con manejo convencional y orgánico	31
Cuadro 5.	Valores porcentuales de humedad en suelos cambisoles, con manejo convencional y orgánico, en tres estratos de profundidad, en época seca y lluviosa	32
Cuadro 6.	Valores de densidad y porosidad en suelos cambisoles, con manejo convencional y orgánico en tres estratos de profundidad	35
Cuadro 7.	Prueba de medias, de la densidad en el suelo convencional y orgánico.	36
Cuadro 8.	Prueba de medias, de la densidad del suelo, en los estratos de profundidad, en suelos con manejo convencional	36
Cuadro 9.	Prueba de medias de la densidad del suelo convencional y orgánico, de acuerdo a los estratos de profundidad.	36
Cuadro 10.	Resultados del análisis de las variables químicas en muestras de suelos Cambisoles, con manejo orgánico y convencional y la densidad aparente del suelo con manejo orgánico.	42
Cuadro 12.	Determinación del coeficiente de correlación entre la materia orgánica y la porosidad del suelo con manejo orgánico.	42
Cuadro 13.	Cantidad de lombrices y ootecos encontrados, en cada metro cúbico de suelos Cambisoles con sistemas de manejo convencional y orgánico.	43
Cuadro 14.	Altura, diámetro y materia seca de plantas del cultivo de girasol durante el primer ciclo, época seca	46
Cuadro 15.	Altura y diámetro de tallos del cultivo de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.), durante el segundo ciclo, época lluviosa	48
Cuadro 16.	Valores de densidad y fitomasa de arvenses, en tres muestreos, en parcela Con manejo convencional	50
Cuadro 17.	Valores de densidad y fitomasa de arvenses, en tres muestreos, en parcela con Manejo orgánico	51
Cuadro 18.	Valor de importancia de la vegetación arvense, en suelos Cambisoles, con manejo convencional y orgánico	52
Cuadro 19A.	Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración en estación seca, en el suelo de manejo orgánico	60
Cuadro 20A.	Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración en estación seca, en el suelo de manejo convencional	61
Cuadro 21A.	Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración en estación	

	lluviosa, en el suelo de manejo orgánico	62
Cuadro 22A.	Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración en época lluviosa, en el suelo de manejo convencional	63
Cuadro 23A.	Registro de datos de humedad del suelo, de la parcela convencional, realizado el 12/04/07	64
Cuadro 24A.	Registro de datos de humedad del suelo, de manejo orgánico, realizado el 12/04/07	64
Cuadro 25A.	Registro de datos de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 06/05/07	65
Cuadro 26A.	Registro de datos de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado 06/05/07	65
Cuadro 27A.	Registro de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado el 30/05/07	66
Cuadro 28A.	Registro de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 30/05/07	66
Cuadro 29A.	Registro de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado el 04/08/07	67
Cuadro 30A.	Registro de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 04/08/07	67
Cuadro 31A.	Registro de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado el 09/09/07	68
Cuadro 32A.	Registro de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 09/09/07	68
Cuadro 33A.	Registro de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado 05/10/07	69
Cuadro 34A.	Registro de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 05/10/07	69
Cuadro 35A.	Matriz de datos de densidad	70
Cuadro 36A.	Análisis de la Varianza (SC tipo III)	70

FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de la parcela orgánica y convencional, dentro del sector de manejo orgánico y convencional, en el CEDA.	22
Figura 2.	Croquis de las parcelas neta y bruta dentro de las zonas de producción convencional y orgánica.	28
Figura 3.	Comportamiento de la humedad en el estrato de profundidad de 0.00 a 0.10 m.	33
Figura 4.	Comportamiento de la humedad a la profundidad de 0.10 a 0.20 m	34
Figura 5.	Comportamiento de la humedad a la profundidad de 0.20 a 0.50 m.	34
Figura 6.	Lombrices y ootecos en suelos con manejo orgánico y convencional en época seca y lluviosa	45
Figura 7.	Altura, diámetro y materia seca del girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>). Durante el primer ciclo de cultivo, época seca.	47
Figura 8.	Altura y diámetro del Girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>). Durante el segundo ciclo de cultivo, época lluviosa.	49
Figura 9A.	Comparación del desarrollo del girasol en suelos con manejo convencional y orgánico. (1er. Ciclo)	75
Figura 10A.	Comportamiento de plantas de girasol de parcelas convencional y Orgánica (2do. Ciclo)	75

EFECTO DEL MANEJO ORGÁNICO, SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO, INDICADORAS DE LA SOSTENIBILIDAD.

EFFECT OF SOME PROPERTIES MANAGEMENT ON ORGANIC SOIL INDICATOR OF SUSTAINABILITY

RESUMEN

La calidad del suelo, definida como la capacidad del funcionamiento del suelo, se evalúa midiendo las propiedades físicas, químicas y biológicas. Mediante la evaluación, se determina la capacidad del suelo de realizar sus funciones básicas como mantener la productividad, regular y separar agua y flujo de solutos, filtrar y tamponar contra contaminantes, almacenar y reciclar nutrientes. Un suelo sano es aquel que cuenta con suficiente vida (macroorganismos y microorganismos), que favorecen el reciclaje de los nutrientes de tal manera que mantienen una producción estable y sostenible.

La investigación de la calidad del suelo, se realizó en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), de la Facultad de Agronomía de la universidad de San Carlos de Guatemala, en donde se cultiva bajo el sistema de producción convencional y en un sector, se ha practicado por un período de 11 años el sistema de producción orgánico. El sistema de producción orgánico, se fundamenta en la ciencia natural de los cuerpos aplicados a la tierra y las propiedades físicas, químicas y biológicas que se estudiaron para determinar la calidad del suelo, en los sistemas de producción orgánico y convencional, fueron: la infiltración básica del agua en el suelo, la retención de humedad, la densidad y porosidad, la reacción del suelo (pH), la concentración de sales, la fertilidad, la capacidad de intercambio catiónico, la saturación de bases, la materia orgánica, la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestres*), biomasa y desarrollo del cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*) y el valor de importancia de la vegetación arvense.

Las pruebas de campo y las muestras extraídas para los análisis de laboratorio, se tomaron de las parcelas netas. La infiltración básica se determinó en un punto de cada área de estudio, el almacenamiento del agua, la densidad y porosidad y las propiedades químicas, se realizaron en los estratos de 0.00-0.10, 0.10-0.20 y 0.20-0.50 metros de profundidad, La cuantificación de lombrices (*Lumbricus terrestres*), se realizó en 5 metros cúbicos de ambos suelos; la altura de plantas, diámetro de tallos y biomasa del girasol (*Helianthus annuus L.*), se determinó a través plantas de dos ciclos de cultivo; el estudio de la vegetación arvense se realizó determinando el valor de importancia de las mismas.

La restauración de la calidad del suelo con manejo orgánico, se comprobó a través de la comparación de valores obtenidos en las áreas de estudio. Para la densidad, se realizó una prueba estadística, a través del Diseño Experimental Completamente al Azar, con arreglo bifactorial. En la comparación de los resultados, se observa el mejoramiento de: la infiltración básica, el almacenamiento del agua, la porosidad, el pH, la concentración de sales, la fertilidad, la capacidad de intercambio catiónico, la saturación de bases, la materia orgánica, el número de lombrices (*Lumbricus terrestres*), la biomasa y el desarrollo del cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*) y valor de importancia de la vegetación arvense. En la prueba de medias de los resultados estadísticos de la densidad del suelo, se determinó que no existieron diferencias significativas entre los diferentes estratos de profundidad, pero sí entre el suelo de manejo orgánico y convencional. El coeficiente de correlación entre la materia orgánica y la densidad fue -0.71 , mientras que la materia orgánica y la porosidad fue 0.77 .

Se estableció que la sostenibilidad o estabilidad continua de los niveles de productividad, puede darse a través de la resiliencia de la tierra, comprendida como la capacidad de la tierra para recuperar su capacidad de producción, después de un período adverso a causa del mal manejo humano. Esta pérdida en la calidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, se restauraron, mediante el manejo del suelo a través del sistema de producción orgánico, a través del tiempo. Además se recomienda que el manejo del suelo, se debe realizar a través de un conocimiento holístico del medio, para recuperar sistemas degradados y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos productivos y a la vez, lograr la inocuidad de los alimentos que se producen.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Restrepo (2002). El suelo es considerado como un cuerpo que tiene una capacidad de carga biológica y de trabajo, si se le recarga o trabaja fuera de principios ecológicos, sufre una alteración en sus condiciones físicas, químicas y biológicas y si las condiciones a las que se somete son severas puede ocurrir la pérdida total (degradación).

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), (1999). Para realizar un análisis de la calidad del suelo, se requiere conocer las condiciones adecuadas de cada una de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Condiciones que permiten el funcionamiento adecuado para mantener la productividad a través del tiempo. Un buen suelo, entre otras cosas, contiene abundante materia orgánica y vida microbiana que favorece el reciclaje de nutrientes que mantienen una producción estable y sostenible. Un mal manejo del suelo puede permitir que las condiciones se deterioren a través del tiempo

Según Altieri (1993). El sistema de producción orgánico busca la forma de producir mejorando las condiciones del suelo, en armonía con el ambiente. Mientras que en el sistema de producción convencional, con el número de insumos que requiere para producir y con la utilización de plantas mejoradas genéticamente, utilizando la práctica del monocultivo, con el objetivo de alcanzar los mayores rendimientos por unidad de área y no emplear principios ecológicos, la calidad de los suelos puede decrecer y puede llevar a una declinación de la producción debido a la pérdida de las condiciones óptimas de las propiedades físicas, químicas y biológicas

En un sector del Centro Experimental Docente de Agronomía CEDA, desde hace once años, se practica el sistema de producción orgánico y se considera que a través de éste período de tiempo, por el manejo recibido, las propiedades físicas, químicas y biológicas, pudieron haber sido alteradas positivamente. Según Simmons, Tarano y Pinto, citado por Córdón (1991), los suelos del CEDA, pertenecen a la serie Guatemala, originados de ceniza volcánica pomácea de color claro, relieve casi plano, declive dominante de 0-2%, drenaje lento, abastecimiento de humedad alto, fertilidad natural alta y bajo contenido de materia orgánica. El drenaje interno lento es debido a texturas finas compactadas, estructuras masivas y mal manejo. El suelo superficial presenta una textura franco arcillosa, de color café muy oscuro, friable, de 0.30 a 0.50 m de espesor, con estructura en bloques subangulares. El suelo subsuperficial presenta una textura similar, de color café amarillento a café rojizo, friable, de 0.50 a 0.60 m de espesor y estructura en bloques subangulares poco desarrollados. En el horizonte B, domina la estructura prismática en prismas medianos, en el material original no se aprecia estructura. Las terrazas localizadas en el extremo este del CEDA, que ocupa un área de 10.90 hectáreas que en su mayoría son objeto de cultivos, el 46% de ésta área se encuentra erosionada habiéndose perdido del 50 al 75% del horizonte A, el 13% presenta moderada erosión y el 41% esta levemente erosionado con menos del 10% del horizonte A. El tipo de erosión es la laminar aunque se aprecia la erosión en surcos o canales. Además, predominan las arcillas haloisita y caolinita. Según el mapa mundial de suelos de la FAO/UNESCO mencionado en el perfil ambiental de Guatemala. Citado también por Córdón Sosa (1991), los suelos del área de estudio están clasificados en los Cambisoles. Presentan valores de interpretación de las bases cambiables, de la capacidad de intercambio catiónico, para el calcio: 24, 12, 4; para el magnesio: 6, 3, 1 y para el potasio: 0.55, 0.35, 0.22. Meq/100 g. (Fassbender 1982).

Los objetivos de esta investigación fueron conocer el efecto del manejo orgánico sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas; partiendo de la hipótesis de que el manejo orgánico

mejora las propiedades del suelo, tomando como comparador un sector cultivado convencionalmente, en donde se realizaron las mismas evaluaciones.

Finalmente, se encontró en el suelo manejado orgánicamente, una mayor infiltración, mayor almacenamiento de agua, menor densidad, mayor porosidad, concentración adecuada de sales, pH neutro, buena fertilidad natural, mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor contenido de materia orgánica, mayor cantidad de lombrices de tierra (*Lumbricus terrestres*), mejor desarrollo del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*) y mayor valor de importancia de arvenses.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ante la demanda de alimentos de una población mundial de alrededor de 6,000 millones de habitantes, el avance de la urbanización, el avance de la frontera agrícola, el establecimiento de cultivos limpios en suelos inapropiados y el uso indiscriminado de plaguicidas en algunos sectores. El recurso suelo ha tenido que soportar una mayor presión, creándose de ésta manera el deterioro de las condiciones físicas, químicas y biológicas del mismo, situación que se ha reflejado en la reducción de la productividad, respecto al pasado.

De acuerdo con Altieri (1993), se ha observado que en el sistema convencional, con la utilización del monocultivo y altos insumos, los rendimientos por unidad de área han sido mayores. Sin embargo, después de varios años de explotación del suelo con éste sistema y bajo las condiciones mencionadas, los rendimientos no han sido los esperados, aún con la utilización de los mismos niveles de insumos aplicados. Fenómeno que se atribuye al deterioro de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Además en los sistemas extensivos de producción, se han detectando problemas ambientales relacionados con el abuso de la tecnología agrícola convencional, esto preocupa a técnicos y científicos, que han comenzado la búsqueda de tecnologías alternativas. Sin embargo, el desarrollo de éstas, sin un enfoque holístico, termina proponiendo soluciones sectoriales a problemas específicos. Por ejemplo, frente al problema de la erosión, se propicia el empleo de la siembra directa o labranza cero; frente al avance continuo de nuevas enfermedades y malezas, se propone el desarrollo de plantas transgénicas. Ambas son propuestas o soluciones parciales, sin percibir que se trata de soluciones a problemas complejos. Sabiendo que si estos problemas no son abordados con plena conciencia de su complejidad pronto aparecerán otros problemas nuevos.

De acuerdo con la FAO (2001). Los principales problemas del manejo no adecuado del suelo, puede llevar a la declinación de la calidad del suelo, como ambiente para las raíces, erosión y pérdida de la capa superior del suelo por el viento y el agua, pérdida de la cubierta vegetal, acidificación, declinación de la fertilidad del suelo, salinidad y salinización, especialmente en los sistemas irrigados. Mientras que muchos de estos procesos son naturales. Sus impactos son agravados por sistemas inapropiados de manejo y por presiones inducidas por el hombre. Esto tiene como efecto la reducción del potencial productivo y la reducción de su capacidad para servir como un filtro natural o amortiguador resiliente. Entre las características comunes de los problemas de degradación del suelo, se pueden mencionar que la erosión y la escorrentía son causados por la deforestación, el sobrepastoreo y el exceso de cultivo. Además los intentos realizados para evitar que los agricultores continúen con esta práctica, han sido infructuosos. Sin embargo existen otras formas más efectivas de limitar los problemas de erosión, por medio de la implementación de sistemas mejorados del manejo del complejo cultivo-suelo.

En el área de producción convencional, tomada como comparador con el área del sector de manejo orgánico del suelo, del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), la pérdida de la capa superficial del suelo es eminente, se observa cambios en el color natural del suelo, reducción del desarrollo de la vegetación arvense y bajo rendimiento de los cultivos. Comparado con el suelo de manejo orgánico, en donde se observa una coloración oscura, mayor desarrollo de la vegetación arvense y un mayor rendimiento de los cultivos. Sin embargo no existe información del cambio sufrido, en las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo con dicho manejo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 El Suelo

Según Bornemisza (1982). El suelo es la capa superficial de la tierra, formada por componentes inorgánicos no consolidados y con diferente porcentaje de sustancias orgánicas. Esta capa es útil para el crecimiento de las plantas terrestres.

De acuerdo Restrepo (2002). Dentro del contexto de la agricultura orgánica, el suelo es considerado y reconocido como un organismo vivo que está diseñado naturalmente para durar como todo ser vivo, tiene una capacidad de carga biológica y de trabajo. Si se le recarga morirá, dejando de ser una inversión de vida a plazo infinito.

Según Buol et al, citado por Tobías. (1997). El suelo es un cuerpo natural formado a partir de partes materiales minerales y orgánicas que cubren parte de la superficie terrestre, que contiene materia viva y que puede soportar vegetación natural y que en algunos casos ha sido transformado por la actividad humana. El pedón es el volumen más pequeño de lo que se puede llamar suelo, tiene tres dimensiones; su límite inferior es vago y arbitrario entre suelo y no suelo. Los límites laterales no son lo suficientemente grandes como para permitir el estudio de la naturaleza de cualquiera de los horizontes presentes. Su área va de 1 a 10 m², lo que depende de la variabilidad de los horizontes. La forma de un pedón se representa como una forma hexagonal. El Perfil del Suelo, es una parte del pedón, que se encuentra en forma perpendicular a la superficie del terreno y tiene dos dimensiones (ancho y profundidad). El perfil está compuesto por horizontes o capas del suelo, las cuales se han formado como consecuencia de los procesos genéticos que dieron lugar al desarrollo y evolución del suelo. Los horizontes se observan, describen o muestrean por medio de un agujero generalmente de superficie rectangular y profundidad variable de dimensiones comúnmente de 1 metro de ancho y 1.5 metros de largo y se conoce con el nombre de calicata, pozo de observación o trinchera.

De acuerdo con Martin (1980), el suelo es el material exterior poco compacto de la superficie terrestre, un estrato característicamente diferente de la roca, es la región donde se sustenta la vida vegetal en la que halla soporte mecánico y nutrientes. Es el ambiente edáfico que contiene una gran cantidad de bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios, es uno de los sitios más dinámicos en interacciones biológicas en la naturaleza en la cual se realizan la mayor parte de reacciones bioquímicas relacionadas con la descomposición de la materia orgánica, la intemperización de las rocas y la nutrición de los cultivos agrícolas. Está formado principalmente por cinco componentes que son: materia mineral, aire, agua, materia orgánica y organismos vivos.

3.1.2 La Calidad del Suelo.

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), (1999). La calidad del suelo se define como la capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo, en general se evalúa midiendo las propiedades, para estimar la capacidad del suelo para realizar sus funciones básicas como mantener la productividad, regular y separar agua y flujo de solutos, filtrar y tamponar contra contaminantes, almacenar y reciclar nutrientes. Un suelo sano es aquel que cuenta con suficiente vida (microorganismos), que favorecen el reciclaje de los nutrientes de tal manera que mantienen una producción estable y sostenible.

3.1.3 Variabilidad de los Suelos

Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. Según Martín (1980), las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales. Sin embargo, el cultivo de la tierra priva al suelo de su cubierta vegetal y de su protección contra la erosión hídrica y eólica, por lo que estos cambios pueden ser más rápidos. Los agricultores han tenido que desarrollar métodos para prevenir la alteración perjudicial del suelo debida al cultivo excesivo y para reconstruir suelos que ya han sido alterados con graves daños.

A los agricultores les interesa en detalle todas las propiedades, porque el conocimiento de los componentes minerales y orgánicos, la aireación y capacidad de retención del agua, así como de muchos otros aspectos de la estructura de los suelos, es necesario para la producción de buenas cosechas. Los requerimientos de suelo de las distintas plantas varían mucho, y no se puede generalizar sobre el terreno ideal para el crecimiento de todas las plantas.

De acuerdo con Martín (1980), en el suelo existen diferencias locales, dos áreas cercanas varían en profundidad, pH y composición química de los diferentes horizontes, generalmente éstas diferencias se relacionan con el material rocoso, el clima, la vegetación y la topografía.

3.1.4 La Degradación de los Recursos Naturales

De acuerdo con López (1991). El concepto de recursos naturales renovables incluye; suelo, agua, aire, material genético, flora y fauna. Estos recursos pueden ser degradados por sobre-uso, contaminación, destrucción física y por el uso de sistemas de producción que perturben el balance ecológico. Algunos de los problemas más severos de degradación de los recursos naturales ligados a la agricultura son: la erosión, acidificación, salinización, compactación y contaminación de los suelos y la lixiviación y extracción neta de sus nutrientes, la sedimentación de ríos, embalses y zonas costeras, el uso ineficiente de aguas de riego, cambios indeseados en los flujos hídricos, la contaminación del agua por agroquímicos y desechos agroindustriales, la erosión genética de cultivos y razas de animales y la pérdida de biodiversidad silvestre, la pérdida de masa boscosa, la degradación de pastos por sobre-pastoreo.

De acuerdo con la FAO (2001). Los niveles de degradación del suelo son:

A. Degradación ligera: el terreno ha perdido algo de su capacidad para la agricultura pero es adecuado para su uso dentro de los sistemas agrícolas locales. Es posible restaurarlo a su total productividad modificando el sistema de manejo. Las funciones bióticas originales han sido parcialmente destruidas;

B. Degradación moderada: el terreno ha reducido sensiblemente su capacidad productiva pero es aún adecuado para su uso dentro de los sistemas agrícolas locales. Son necesarios mejoramientos importantes para restaurar su productividad. Las funciones bióticas originales han sido parcialmente destruidas;

C. Degradación fuerte: el terreno no es recuperable a nivel de finca. Son necesarias obras de ingeniería para su restauración. Las funciones bióticas originales han sido destruidas en forma importante;

D. Degradación total: el terreno no es recuperable y la restauración no es posible. Las funciones bióticas originales han sido totalmente destruidas.

3.1.5 Agricultura Sostenible

Según Altieri (1993), existen muchas definiciones de agricultura sustentable, pero entre ciertos objetivos comunes en las distintas definiciones, se pueden mencionar:

- A. Producción estable y eficiente de recursos productivos.
- B. Seguridad y autosuficiencia alimentaria.
- C. Uso de prácticas agroecológicas o tradicionales de manejo
- D. Preservación de la cultura local y de la pequeña propiedad.

Las tecnologías agroecológicas aprovechan los principios ecológicos, tales como diversidad en el espacio y el tiempo, reciclaje de nutrientes, depredación natural y parasitismo, máximo aprovechamiento de luz y agua, fijación biológica de nitrógeno y recursos genéticos adaptados a las condiciones locales para crear agroecosistemas más productivos y estables y menos dependientes de recursos externos.

La sostenibilidad no implica necesariamente una estabilidad continua de los niveles de productividad, sino mas bien la resiliencia de la tierra; en otras palabras, la capacidad de la tierra para recuperar rápidamente los niveles anteriores de producción o para retomar la tendencia de una productividad en aumento, después de un período adverso a causa de sequías, inundaciones o abandono o mal manejo humano.

3.1.6 Agricultura Orgánica

De acuerdo a la FAO (2003). El término agricultura orgánica se refiere al proceso que utiliza métodos que respetan el medio ambiente, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento. La producción orgánica no sólo se ocupa del producto, sino también de todo el sistema que se usa para producir y entregar el producto al consumidor final. Además, la agricultura orgánica es un enfoque integral basado en un conjunto de procesos que resulta en un ecosistema sostenible, alimentos seguros, buena nutrición, bienestar animal y justicia social. La producción orgánica es, por lo tanto, mucho más que un sistema de producción que incluye o excluye determinados insumos.

De acuerdo con Restrepo (2002). La agricultura Orgánica tiene como principal fundamento conocer la naturaleza de los suelos que se quiere cultivar, para no negarle ninguno de los cuidados que le son necesarios para producir alimentos equilibrados. El suelo, como todo ser vivo, es dinámico, nace, madura y muere. Evoluciona en el tiempo y en el espacio. Como tal no se puede reducir al simple papel de soporte de plantas, así como tampoco se puede utilizar formulas universales para

cultivarlo y fertilizarlo. Debido a ésta concepción, se asiste a uno de los más patéticos fracasos de la Revolución verde, que ignoró las relaciones fundamentales, complejas y dinámicas, que un suelo tiene con los demás seres vivos. Por ejemplo, es muy común observar todo tipo de prácticas opuestas entre sí, en los sistemas de fertilización, donde para un mismo tipo de suelo y para el mismo cultivo se perciben diferentes recomendaciones en cuanto a dosis y a tipos de abonos. Del mismo modo se encuentran técnicos que recomiendan la aplicación de una dosis de fertilización sin considerar si el suelo es arcilloso, arenoso, ácido o calcáreo.

El mayor fracaso del sistema agrícola industrial, consiste en que tiene su fundamento en la química inorgánica e ignora los aspectos orgánicos y los fenómenos vitales de la vida en el suelo.

Toda intervención agrícola de un suelo bajo los principios de la agricultura orgánica se apoya en la edafogeofisiología para devolver a éste su verdadero lugar en la agricultura. Parte de su conocimiento de su perfil y de la dinámica que lo corrige para trabajarlo o no, de una forma o de otra con la agricultura orgánica, cuando se conoce un suelo, se cambia de actitud con respecto a él, se busca las rotaciones y asociaciones de cultivos más apropiadas, y a las especies más equilibradas entre sí.

La agricultura orgánica se autorregula y se mantiene, está fundamentada en la ciencia natural de los procesos de los cuerpos aplicados a la tierra: la geofisiología.

De acuerdo con el Codex, Citado por la FAO (2003). La agricultura orgánica es un sistema de manejo holístico de la producción que promueve y mejora la salud del ecosistema, incluyendo los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo. La agricultura orgánica se basa en el uso mínimo de insumos externos y evita los fertilizantes y plaguicidas sintéticos. Las prácticas de la agricultura orgánica no pueden garantizar que los productos estén completamente libres de residuos, producidos por la contaminación general del medio ambiente. No obstante, se utilizan métodos para reducir al mínimo la contaminación del aire, el suelo y el agua. Los manipuladores, procesadores y comerciantes minoristas de alimentos orgánicos se rigen por normas que mantienen la integridad de los productos orgánicos. El objetivo principal de la agricultura orgánica es optimizar la salud y la productividad de las comunidades interdependientes del suelo, las plantas, los animales y las personas.

3.1.7 Agricultura orgánica y biodiversidad

De acuerdo con la FAO (2003) Una gran cantidad de estudios científicos, en su mayoría de Europa y de América del Norte, demuestra que la biodiversidad en las granjas orgánicas es más elevada que en las convencionales. Por lo general, la biodiversidad se evalúa en tres niveles distintos:

La diversidad genética. La variación entre los ejemplares y entre las poblaciones dentro de una especie.

La diversidad de las especies. Las distintas clases de plantas, de animales y de toda otra forma de vida dentro de una región o de una comunidad.

La diversidad del ecosistema. La variedad de hábitats que se encuentran dentro de un área, por ejemplo: praderas, pantanos y bosques.

3.1.8 Agricultura Convencional o Industrial

La agricultura convencional o industrial se basa en tres pilares fundamentales:

- A. Agroquímicos
- B. Mecanización
- C. Manipulación Genética

De acuerdo con Altieri (1993), A medida que la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y la ecología se debilitó, en la medida que los principios ecológicos fueron ignorados, de éste modo muchos científicos agrícolas han llegado al consenso de que la agricultura moderna confronta una crisis ambiental. Existen evidencias que muestran que el sistema agrícola imperante con una paliación intensiva de capital y tecnología, ha sido extremadamente productivo y competitivo, trayendo consigo una serie de problemas económicos, sociales y ambientales. Además, los agricultores comerciales han observado un constante desfile de nuevos cultivos, en la medida que el reemplazo de variedades, debido a plagas y enfermedades, estrés biótico o cambios en el mercado, se han acelerado a niveles sin precedentes. Un cultivo con resistencia a insectos y enfermedades ha hecho su aparición, comportándose bien por algunos años, regularmente de 5 a 9, y después la resistencia es sobrepasada, la productividad cae y por lo tanto han sido reemplazados por cultivos más prometedores. De ésta manera depende de la introducción de nuevas variedades y no de la diversidad. Además de subsidiar energéticamente a los monocultivos, requiere de incrementos de uso de plaguicidas y fertilizantes, pero la eficiencia de estos insumos es decreciente, los rendimientos se están estancando y en algunos casos están decreciendo.

3.1.9 Propiedades físicas

A. La infiltración del agua en el suelo

De acuerdo con Gavande (1982), la velocidad de infiltración del agua en el suelo depende de varios factores, tales como: el espesor de agua empleada, la temperatura del agua y del suelo, la estructura y compactación, textura contenido de humedad, agregación y actividades microbianas. Por lo general la velocidad de infiltración del agua en el suelo, se sitúa en una escala semilogarítmica en ordenadas y el tiempo en abcisas.

$$I = at^n$$

Donde:

I = infiltración

t = tiempo

a,n = parámetros que dependen del suelo y su condición física. El parámetro a, representa la cantidad de infiltración, depende de la estructura y de la condición del suelo en el momento que se aplica el agua. Si el suelo tiene grietas y poros grandes es relativamente mayor que si sólo tiene poros pequeños. El parámetro n, indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo, depende de los cambios de estructura del suelo, resultantes de la mojadura.

En un suelo saturado, el agua se mueve en dirección a la disminución de presión hidráulica, con una velocidad directamente proporcional a la diferencia de presión hidráulica entre dos puntos y la conductividad del suelo al agua, e inversamente a la distancia entre los dos puntos. De acuerdo a la primera ley de Darcy.

B. Sólidos, Aire y Agua del Suelo

De acuerdo con Gavande (1982). La fase sólida del suelo está formada por una asociación íntima de constituyentes orgánicos e inorgánicos. El conjunto de éstos, forma el esqueleto del suelo y el arreglo o disposición de las partículas sólidas determinan la porosidad, la estructura y la densidad aparente del suelo. El tamaño de las partículas sólidas varía desde las coloidales pequeñísimas (menos de 0.5 micras), hasta las gravas y fragmentos rocosos. La proporción y composición de los constituyentes gaseosos del suelo, influyen en el crecimiento de las plantas. La mayoría de las reacciones biológicas que se realizan en un suelo, consumen oxígeno y producen como subproducto bióxido de carbono, éste proceso es conocido como respiración aeróbica del suelo. El espacio poroso del suelo está lleno con cantidades recíprocas de agua y gas, en estado de saturación los suelos de textura fina almacenan mayor cantidad de agua. Las plantas pueden disponer de la humedad del suelo desde la capacidad de campo al punto de marchitez permanente, siendo la capacidad de campo cuando el agua está retenida por el suelo a $1/3$ de atmósfera de tensión y el punto de marchitez permanente, 15 atmósferas de tensión. Además, la medida de la cantidad de agua en el suelo, es importante para restaurar la humedad a capacidad de campo y para determinar la magnitud del potencial del agua en el suelo. El espesor de la película de agua adsorbida es factor importante que influye en el estado de energía de la humedad del suelo.

C. Densidad Aparente del Suelo

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades. La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros). De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA (1999), La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo. La densidad aparente es definida como la relación entre la masa de suelo secado al horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas, es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) y de su tipo de empaquetamiento. Las densidades de las partículas minerales usualmente se encuentran en el rango de entre 2.5 a 2.8g/cc, mientras que las partículas orgánicas presentan usualmente menos que 1.0 g/cc. La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo.

D. La porosidad

De acuerdo con Gavande (1982). La porosidad depende de la textura, estructura y actividad biológica del suelo. Cuanto más gruesos son los elementos de la textura mayores son los espacios entre ellos, salvo si las partículas más finas se colocan dentro de esos espacios. No obstante lo más corriente es que los suelos con elementos gruesos presenten poros también gruesos y los suelos limosos y arcillosos, espacios muy numerosos pero de pequeño tamaño. La materia orgánica contribuye a aumentar sensiblemente la porosidad. Son por tanto los suelos coloidales los que tienen la mayor porosidad.

Uno de los factores que tiende a desarrollar la porosidad, es la actividad biológica del suelo, especialmente la de la microfauna. En los suelos cuya actividad biológica es intensa se observa con frecuencia, al lado de las huellas del recorrido de las lombrices, un gran número de canalículos finos que resultan del trabajo de pequeños insectos. Cuando este tipo de poros resulta predominante se dice que el suelo tiene una porosidad tubular.

La porosidad constituye el dominio natural de las fases líquida y gaseosa del suelo, siendo la primera la que por su variabilidad limita el espacio ocupado por la segunda.

El cálculo de la porosidad total puede hacerse mediante los valores de los tipos de densidad, de forma que la masa de la fase sólida de un volumen unitario vendría expresado por el valor de la densidad aparente, y el volumen ocupado por esa fase sólida lo definiría el cociente entre su masa y la densidad real de dicha fase sólida:

Masa de suelo en un metro cúbico = $d_a \text{ Mg}$

Volumen ocupado por la masa anterior = $d_a/d_r \text{ m}^3$

Volumen de poros en un metro cúbico de suelo = $(1 - d_a/d_r) \text{ m}^3$

El porcentaje de porosidad vendrá expresado por:

$\% P = (1 - d_a/d_r) 100$

Siendo d_a y d_r los valores de densidad aparente y real respectivamente y $\%P$, el porcentaje de huecos del suelo u horizonte considerado.

Para una correcta aireación del suelo y una buena retención de agua, es conveniente que la porosidad se sitúe entre el 40 % y el 60 %. Valores menores del límite inferior pueden crear asfixia en las raíces, contenidos de agua retenida muy bajos, o ambas cosas a la vez. Un valor superior al límite máximo supone una dificultada para el contacto entre el suelo y las raíces de las plantas. La microporosidad depende también de la estructura pero sobre todo de la textura y de la actividad biológica. Es muy grande en los suelos ricos en elementos marchites permanente, cuando está retenida a 15 atmósferas de tensión.

3.1.10 Propiedades químicas

A. Reacción del Suelo

La reacción del suelo o el pH, es una propiedad química del suelo, muy importante por su carácter orientador sobre el comportamiento del suelo. La importancia del pH se basa en la influencia directa sobre las características físicas, químicas y biológicas. El pH se define como el logaritmo del inverso de la concentración de iones hidrógeno. $\text{pH} = -\text{Log} (\text{H}^+)$. Los factores que hacen que el suelo tenga un determinado pH son fundamentalmente:

- A. Naturaleza del material original, según sea que la roca sea de reacción ácida ó básica.
- B. Factor biótico. Los residuos de la materia orgánica son de naturaleza ácida.
- C. Precipitaciones. Tienden a acidificar el suelo y desaturarlo al intercambiar los H^+ del agua de lluvia, por los Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ de los cambiadores.

D. Complejo absorbente. Según esté saturado con cationes de reacción básica (Ca^{++} , Mg^{++}), ó de reacción ácida (H^+ , Al^{+++}).

La escala del pH va de 1 a 14, pero el 99% de los casos estará de 3 a 9.

CATEGORÍA	ESCALA DE pH
Muy ácido	< 5.5
Acido	5.6 – 6.0
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Alcalino	7.4 – 8.3
Fuertemente alcalino	> 8.3

Agronómicamente un pH óptimo es de 6.5. El pH, influye en el suelo en varios aspectos, pero el más significativo es, en la disponibilidad de nutrientes.

De acuerdo con Wade y Romero (1995), el pH tiene influencia sobre la disponibilidad de la mayoría de nutrientes a la planta, la actividad de los microorganismos en el suelo y el desarrollo de las raíces.

La acidez ($\text{pH} < 6.0$), favorece la solubilidad de algunos nutrientes y elementos tóxicos como hierro, manganeso y aluminio, haciéndolos más disponibles a la planta, bajo estas condiciones puede haber una mayor incidencia de hongos como *Fusarium* y una menor actividad bacteriana; disminuyen los procesos de nitrificación y fijación de nitrógeno en las leguminosas e incrementa la fijación de fósforo. En condiciones alcalinas (pH mayor de 7.3, se hacen menos disponibles el fósforo y los microelementos como boro, cobre, hierro, manganeso y zinc, repercutiendo en el desarrollo de las plantas, el único elemento que se hace disponible en éstas condiciones es el molibdeno. El pH del suelo entre 5.5 y 7.3, es el adecuado para la mayoría de los cultivos, bajo éste rango están disponibles la mayoría de elementos a las plantas. Cada cultivo tiene el óptimo de pH, que depende de la habilidad de las plantas para ajustarse a las condiciones que acompañan los efectos del pH en el suelo. El repastoreo y pisoteo, la destrucción de los depredadores naturales y de los microorganismos del suelo, la emisión del dióxido de carbono por quema de madera y de metano por ganado y arroz irrigado, la intoxicación de agricultores, obreros y consumidores por plaguicidas y la resistencia creciente de las plagas a estos plaguicidas. De Acuerdo con López (1991), la degradación del suelo, es el desmejoramiento en la capacidad actual y potencial, para producir cuantitativamente y/o cualitativamente bienes y servicios. Siendo los procesos de degradación, los fenómenos causantes de los cambios que resultan en la disminución de la calidad y productividad de los suelos

B. La Salinidad del Suelo

De acuerdo con López (1991), cuando se habla de salinidad se hace referencia a la concentración de sales solubles, sodio o ambos en el suelo y/o agua, lo cual constituye una amenaza, particularmente a la permanencia de la agricultura de regadío. Se identifican como sales solubles todos aquellos compuestos químicos inorgánicos más solubles que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cuya solubilidad es de 0.241 gramos por 100 mililitros de agua a 0°C . Por ejemplo, según Donahue et al 1,983, citado por López (1991), el caso de la sal común (NaCl), con una solubilidad cerca de 150 veces mayor que la del yeso.

La mayoría de sales solubles están compuestas de cationes de calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^+) y por los aniones cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{--}) y bicarbonato (HCO_3^-). Generalmente menores cantidades de potasio (K^+), amonio (NH_4^+), carbonato (CO_3^{--}) y nitrato (NO_3^-), además otros como B, también se presentan. En algunas soluciones de suelo la concentración de sales puede alcanzar valores mayores que el agua de mar, lo que significa de 3 a 4 por ciento de sal.

La fuente principal de sales proviene de los minerales a través de los procesos de meteorización química. Los suelos salinos se encuentran principalmente en las zonas de clima árido o semiárido, donde el lavado de las sales originalmente presentes en los materiales parentales del suelo es de naturaleza local. Esto ocurre porque además de haber menor precipitación, la evaporación es mayor.

De acuerdo con Dappo (1975), citado por López (1991). Las aguas de riego provenientes de embalses o ríos, contienen concentraciones salinas que van de 1 a 3.000 ppm. Si el agua de riego no penetra suficientemente en el suelo, las sales permanecerán en la superficie, razón por la cual un suelo sin problemas de salinidad puede llegar a acumular en poco tiempo una cantidad nociva por un mal manejo en la irrigación.

La cuantificación de las sales solubles se hace a través de la determinación de la conductividad eléctrica. Siendo ésta el recíproco de la resistencia eléctrica y viene expresada en mmhos/cm a 25 °C o dS/m unidades del sistema internacional.

La relación adsorción de sodio (RAS), expresa la actividad relativa de los iones en las reacciones de intercambio que ocurre en el suelo y viene expresada por la siguiente ecuación.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}}$$

La salinidad afecta el crecimiento de las plantas ya que les impide tomar agua suficiente para su crecimiento y desarrollo aún cuando el contenido de humedad en el suelo es el adecuado. También el exceso de sales produce efectos tóxicos directos sobre las plantas, pero el grado de tolerancia varía de un cultivo a otro inclusive los efectos específicos en diferentes partes u órganos de una planta también son variables. De acuerdo a Donahue et al (1983), citado por López (1991) se ha determinado que los daños más severos se presentan en plantas jóvenes y que la tolerancia usualmente incrementa con la madurez.

Cuadro 1. Escala y guía para la interpretación agronómica de la concentración de sales (C. S.)

C. S. dS/m	INTERPRETACION
0.00 - 0.20	Bajo contenido de sales. La disponibilidad de algunos nutrientes puede estar baja, se presentan éstos niveles en suelos arenosos donde hay mucha lixiviación de nutrientes o en suelos donde hay una alta precipitación pluvial.
0.21 - 0.40	Nivel adecuado de sales. Éstos niveles generalmente se presentan en forma natural en suelos alcalinos o arcillosos
0.41 - 0.80	Nivel alto para cultivos permanentes. Son niveles adecuados en cultivos bajo fertirriego o fertilización constante.
0.81 - 1.40	Nivel alto para cultivos sensibles, en especial almácigos o plantas pequeñas. Son niveles aceptables para cultivos resistentes a sales.
1.41 - 2.00	Extremadamente alto nivel de sales. Nivel de peligro para la mayoría de los cultivos.
Mayor 2.00	Niveles tóxicos

Fuente: Wade y Romero (1995).

C. Capacidad de Intercambio Catiónico

a. Cambio de Cationes

De acuerdo con Holmes, R.S. citado por Bornemisza (1982). Es el cambio entre cationes de la solución del suelo y otros cationes en la superficie de materiales con actividad superficial, como coloides inorgánicos u orgánicos.

En los materiales superiores a los coloides, como la fracción de limo, la capacidad de cambio es moderada, especialmente cuando su superficie específica es alta. Este fenómeno es importante en los suelos cuyo material se caracteriza por una baja capacidad de cambio catiónico, como los suelos caoliníticos.

De acuerdo con Fassbender (1982). El intercambio catiónico, es el proceso reversible por los cuales las partículas sólidas, absorben iones de la fase acuosa y desabsorben Al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre fases y la cantidad de los cationes cambiables en los suelos depende de sus minerales, de la superficie, de las cargas del complejo coloidal y de las características de los iones presentes en la solución del suelo.

b. Suma de Cationes Cambiables (S)

Según Bornemisza (1982). Es la suma en equivalentes de todos los cationes de cambio, sin incluir hidrógeno, aluminio o hierro. Se acostumbra expresarla en miliequivalentes por 100 gramos de suelo o, por gramo de arcilla. En los análisis de rutina a veces se le expresa en miliequivalentes por 100 mililitros de suelo.

c. Capacidad de Cambio de Cationes (CCC)

De acuerdo con Bornemisza (1982). Es la suma de los cationes de cambio que el suelo puede retener en forma reversible. Se le llama a veces capacidad de cambio total o capacidad de cambio de bases. Se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de material absorbente como el suelo o con menos frecuencia por gramo de absorbente. Recientemente, la CCC se ha expresado también con frecuencia por 100 ml de suelo.

d. Capacidad de Cambio de Aniones (CCA)

De acuerdo con Bornemisza (1982). Es la suma de los aniones que el suelo puede retener en forma reversible. Se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de material absorbente o 100 mililitros del mismo.

e. Saturación de Bases (S/CCC)

Según Bornemisza (1982). Es la relación entre la suma de cationes presentes (S) y la capacidad de cambio del suelo.

D. Fertilidad del Suelo

El suelo es uno de los componentes, (además clima y planta), de un sistema de producción agrícola. La fertilidad del suelo, es la habilidad que tiene el suelo de proveer de forma balanceada, los nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. De acuerdo con Bertsch (1995), los nutrientes esenciales que provee el suelo a las plantas son: nitrógeno, (N); fósforo, (P); potasio, (K); calcio, (Ca); magnesio, (Mg); azufre, (S); cinc, (Zn); manganeso, (Mn); hierro, (Fe); cobre, (Cu); boro, (B); molibdeno, (Mo); cloro, (Cl). El estado nutrimental del suelo puede determinarse a través del análisis químico del suelo y a través del análisis de tejido vegetal.

E. Los nutrientes en el suelo

De acuerdo con la FAO (2003). El suelo es el hábitat de las plantas, los animales y los microorganismos. A medida que las plantas incrementan la materia orgánica, la fauna del suelo se alimenta de ella y de sus restos, mientras los microorganismos descomponen las sustancias orgánicas complejas en sus componentes minerales y dióxido de carbono. Además menciona que un suelo vivo es fundamental para lograr la fertilidad, porque es la actividad de los organismos que allí habitan la que permite disponer de los elementos de los residuos vegetales y los desechos orgánicos que se introducen en el suelo. Parte de este material permanece en la tierra y contribuye a su estabilización gracias a la acumulación de humus. También se menciona, que los procesos de mineralización son mucho más rápidos en los suelos ferralíticos tropicales y subtropicales que en los suelos típicos de las zonas templadas, por lo tanto es indispensable un alto contenido de material orgánico y una marcada actividad biológica para favorecer la fertilidad sostenible del suelo. Además

el impacto positivo que tiene la agricultura orgánica sobre la actividad biológica, los microorganismos y el contenido de materia orgánica del suelo, es válido para los suelos tropicales y subtropicales.

Los resultados de las diferentes investigaciones muestran que la actividad de los microorganismos es más elevada en los suelos manejados con métodos orgánicos que en los tratados convencionalmente. En consecuencia, los nutrientes se reciclan más rápidamente en los suelos orgánicos y su estructura se ve mejorada. Por ejemplo, Fliessbach *et al.* Citado por FAO (2003). Descubrieron en Suiza que la masa total de microorganismos en los suelos trabajados orgánicamente era hasta un 90 % más alta. En cuanto a los hongos del suelo, Elmholt. También citado por FAO (2003). Halló mayor abundancia de hongos saprófitos con un mayor potencial para descomponer la materia orgánica. Las micorrizas, importantes representantes de los hongos del suelo, viven en simbiosis con las raíces, Elmholt. También observó que la colonización micorrizal de las raíces era definitivamente mayor en los lotes orgánicos que en los convencionales.

De acuerdo con Chapman y Pranttp (1973). El éxito o el fracaso del análisis de suelos, depende de la obtención de muestras representativas del suelo, y de las operaciones subsecuentes de manejo.

De acuerdo con Días-Romeau (1978), un gran número de soluciones extractoras del suelo han sido utilizadas en el mundo para el análisis de la fertilidad. La solución doble ácido débil de Carolina del norte (Mehlich), se puede obtener medidas de fósforo y potasio además calcio, magnesio, manganeso y cinc.

De acuerdo con Bertsch (1995), El análisis químico de suelos consiste en la estimación de la disponibilidad de nutrimentos a la planta durante su ciclo de desarrollo, por medio de métodos químicos. Se extraen los elementos con determinadas soluciones y se asume que esas concentraciones o proporciones, son las que están a disposición de las plantas. Estas técnicas de laboratorio si cumplen con un único y fundamental requisito que es una sola investigación de respaldo que las asocie con las respuestas de campo de los cultivos conocida como correlación y calibración. Probablemente constituyen la opción más práctica para evaluar la fertilidad de los suelos.

Específicamente, los análisis químicos de suelos consisten en la extracción de los nutrimentos del suelo mediante soluciones químicas. Existen diferentes soluciones extractoras que extraen diferentes cantidades de nutrimentos en diferentes tipos de suelos. Por si solo, un análisis de suelo no tiene valor, es una cifra empírica que puede reflejar o no la disponibilidad de un nutrimento para las plantas. Estas extracciones tienen un sentido agronómico si guardan alguna relación con la acción que hacen las raíces de las plantas con el suelo.

Para que el diagnóstico químico de fertilidad del suelo sea adecuado y confiable, debe apoyarse en dos aspectos esenciales:

- a. Uso de soluciones extractoras de la fracción disponible adecuadas para los diferentes grupos de suelos.
- b. Utilización de niveles críticos (altos, medios, bajos) confiables, calibrados para la solución extractora más adecuada según los grupos de suelos y según los cultivos. Estos dos supuestos básicos del diagnóstico se encuentran a través de programas de investigación donde se correlacionan

y calibran los análisis de laboratorio con pruebas de invernadero y/o campo, para diferentes tipos de suelos y cultivos.

F. La Materia Orgánica del Suelo

De acuerdo con Martin (1980), generalmente la materia orgánica constituye del 3 al 6% del total del suelo. Los suelos orgánicos (histosoles), que incluyen suelos orgánicos y turbera, están ampliamente distribuidos y con frecuencia son bastante productivos, por lo general éstos suelos contienen del 60 al 95% de materia orgánica, el humus y la turba se forman en ciénagas y pantanos en donde las condiciones para la descomposición microbiana de la materia orgánica son inadecuadas y se acumula gran cantidad de compuestos de carbono.

Según Magdoff (1996), Existen 3 tipos genéricos de materia orgánica en el suelo.

- a) Los organismos vivos. (virus, bacterias, hongos, artrópodos, lombrices etc.).
- b) La materia orgánica muerta activa (sin descomposición o levemente descompuesta.
- c) Materiales descompuestos (humificados) relativamente estables.

Este mismo autor menciona, que la materia orgánica aporta macro y microelementos al suelo, así como los efectos quelatizantes y solubilizadores, sobre los nutrientes. Actúa sobre la estructura del suelo y favorece la aieración, el drenaje, el enraizamiento y la capacidad de retener agua. En los suelos de arena gruesa donde la aireación y el drenaje son buenos, la adición de materia orgánica con el objetivo de mejorar las condiciones físicas no es esencial para obtener buenas cosechas, en caso que se apliquen fertilizantes inorgánicos en cantidades suficientes.

Cuadro 2. Caracterización química de diferentes tipos de lombricompuestos.

Componentes		De estiércol de Vacuno	De estiércol de Conejo	De estiércol. de Carnero
MS	(%)	57.33	55.21	60.03
C	(%)	21.41	20.56	22.30
N	(%)	1.80	1.76	1.92
P ₂ O ₅	(%)	2.27	2.95	3.89
K ₂ O	(%)	0.95	1.18	0.79
Ca	(%)	6.23	7.29	5.93
Mg	(%)	0.66	0.97	0.80
Cu	(%)	50.00	57.00	49.00
Mn	(%)	89.00	100.00	155.00
Fe	(%)	750.00	877.00	595.00
Relación C:N		11.89	11.57	11.61
pH		7.70	7.50	7.90

Fuente: Restrepo (2002).

3.1.11 Propiedades Biológicas

A. El cultivo de Girasol (*Helianthus annuus* L.)

El girasol pertenece a la familia de las compuestas, es una planta anual de raíz pivotante que llega hasta los 2 metros de altura, con numerosas raíces secundarias sobre la superficie del suelo, tallo erecto, hojas alternas de peciolo largo, las flores se reúnen en capítulos en el extremo del tallo, raramente se ramifican, los capítulos tienen alrededor de 35 centímetros, las flores marginales del disco o capítulo son neutras o estériles y desempeñan la función de corola, color amarillo o amarillo-anaranjado, todas las flores que integran el disco son hermafroditas, el fruto es un Aquenio formado por pericarpio y semilla. El ciclo es de 140 a 145 días, la densidad de siembra es de 40,000 a 50,000 plantas/ha. La madurez depende de la temperatura y precipitación pluvial, es una planta alógama polinizada a través de insectos, es una planta de clima templado y templado cálido, requiere lluvias regulares pero iniciada la fructificación no son tan necesarias, por falta de humedad puede fracasar la siembra del girasol, temperaturas de 25 °C, favorecen el desarrollo y de 30° favorecen la maduración. La variedad Contiflor es medianamente susceptible a puccinia (*Puccinia helianti*), *Albugo*, Peste Negra y pericarpio de color estriado oscuro. De acuerdo con Tocagni (1980). Entre las plagas insectiles se encuentran el gusano alambre y el gusano cortador.

Aponte, A. et al (1994). Reportan que en una investigación realizada en Venezuela, con variedades de girasol, en los años de 1,989-90, la variedad Contiflor, produjo rendimientos superiores a 1000 kg/ha, durante la época lluviosa y en época seca los rendimientos fueron mayores a 2,200 kg/ha. Estos autores concluyen que la influencia de las enfermedades en el rendimiento del cultivo de girasol, está estrechamente relacionada con la época y los factores climáticos.

B. Estudio de la Vegetación Arvense

De acuerdo con Mateucci y Colma. (1982). En muchos estudios, las comunidades vegetales se describen y comparan, atendiendo a la presencia o ausencia de determinadas categorías. Las variables más importantes en el estudio de la vegetación son: frecuencia, densidad, cobertura, biomasa.

a. La Frecuencia

La frecuencia, es la probabilidad de encontrar uno o más individuos en una unidad muestral particular. Se expresa como porcentaje del número de unidades muestrales en las que aparece, en relación con el número total de unidades muestrales.

b. La Densidad

La densidad, es el número de individuos en un área determinada y se estima a través del conteo del número de individuos en un área dada.

c. La Cobertura

La cobertura es la proporción de terreno, ocupado por la proyección perpendicular de las partes aéreas.

d. La Biomasa

La biomasa o peso seco del material vivo por unidad de área, se estima de la misma manera de la densidad.

De acuerdo con los autores mencionados anteriormente. La composición y el patrón espacial de las comunidades vegetales, sirve de índices o indicadores de los efectos del manejo, el área mínima de la comunidad se relaciona simultáneamente con la homogeneidad florística y espacial, de tal manera que para cada comunidad existe una superficie por debajo de la cual ella no puede expresarse como tal. Por ello, para obtener una unidad muestral se debe de conocer el área mínima de muestreo. Esto significa que cuando se registran las especies de una unidad muestral pequeña, el número de especies es pequeño y aumenta con el aumento de la superficie. Sin embargo ocurre el momento en que al duplicar la superficie, el número de especies ya no aumenta, llegando de ésta manera a la determinación del área mínima de muestreo.

C. La lombriz de tierra (*Lumbricus terrestres*). (macrobiología del suelo)

La lombriz de tierra (*Lumbricus terrestres*). Pertenecen al phylum de los anélidos, animales con cuerpo cilíndrico, epigeas, hermafroditas, viven alrededor de 4 años, consumen una cantidad de alimento alrededor de su peso, recicla desechos orgánicos para convertirlos en humus, excelente abono biológico llamado lombricompost que enriquece la fertilidad de los suelos. Están expuestas a peligros de depredación, inundaciones, frío, incendios, escasez de comida

Cuando alcanzan la madurez se aparean una vez a la semana, para ello se ponen en contacto los segmentos 9 a 11 opuestos al clitelo de la otra. Cada lombriz coloca los espermatozoides (que salen de sus vesículas seminales) en las espermatecas de la compañera. Una vez terminado el intercambio se separan. Los espermatozoides recibidos quedan latentes hasta el momento de la fertilización. Sobre el clitelo de ambas se forma una especie de capullo (ooteca), formado por células mucosas. Una veintena de huevos se deslizan por un surco hacia atrás y se introducen en el capullo. Dentro de la galería la lombriz se mueve hacia atrás haciendo que el capullo se deslice hacia delante arrastrando en el camino los espermatozoides expulsados por los poros seminales.

Cada capullo u ooteca contiene entre tres y veinte lombrices y contiene albúmina que alimenta a los huevos durante la incubación, periodo que dura entre 14 y 30 días según la temperatura del medio, tardando la lombriz entre 60 y 90 días en lograr su maduración y estar en condiciones de acoplarse. La actividad sexual de las lombrices rojas disminuye durante los meses muy calurosos o fríos, siendo la temperatura óptima para el apareamiento los 20 °C.

Según Restrepo (2002). En la macrofauna del suelo están representados cuatro principales grupos de animales visibles: los mamíferos pequeños, artrópodos, moluscos y lombrices de tierra y todos son importantes, crean galerías, favorecen la infiltración del agua, trituración de materiales orgánicos y digestión de la materia orgánica. Las lombrices de tierra se encuentran en cantidades que pueden sobrepasar los diez millones de ejemplares por hectárea, con capacidad de remover hasta treinta toneladas de suelo por hectárea por año, con sus acciones mecánica y químico-biológicas, se transforman en verdaderos agentes vivos de formación y conservación de la fertilidad de los suelos.

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA (1999), 10 lombrices por pie cuadrado de superficie es un número adecuado en sistemas agrícolas y entre los beneficios

que realizan está la disponibilidad de nutrientes (humificación y mineralización), mejorar la estructura y la porosidad.

De acuerdo con la FAO (2003). Las lombrices son bioindicadores muy apropiados para medir la fertilidad del suelo y se las conoce por su sensibilidad a los plaguicidas sintéticos y a muchas prácticas agrícolas. Como consecuencia de su biología, las poblaciones de lombrices pueden indicar la situación estructural, microclimática, nutritiva y tóxica de los suelos. En la agricultura convencional, las lombrices están afectadas por la utilización de plaguicidas dañinos y por el laboreo intensivo del suelo. En general, las lombrices pueden acelerar los ciclos de los nutrientes. Sus deposiciones mejoran la estructura del suelo y poseen una concentración elevada de nutrientes accesibles para las plantas. La excavación que realizan las lombrices aumenta la aireación, la porosidad y el drenaje del suelo, todos estos factores importantes en el desarrollo de un sistema radicular sano. Las lombrices también juegan un papel importante en el control de plagas y enfermedades, que incluyen la reducción de crisálidas minadoras de hojas y de agentes patógenos de la sarna en los huertos.

D. La Microbiología del suelo

Los microorganismos del suelo representan la mayor variedad de vida en la tierra y cumplen funciones únicas en todos los procesos ecológicos que no pueden ser realizados por otros organismos, entre éstos se encuentran las bacterias, hongos, actinomicetos, amebas y algas, realizando actividades de consumo de materiales orgánicos (desintegración), depredación, fijación de nitrógeno. En el suelo se realizan infinitas relaciones, de ellas depende la vida en la tierra y están contenidas las bases de todos los procesos biológicos y bioquímicos para que el mundo mineral y el mundo vivo se encuentren en estrecha relación. La actividad microbiana del suelo se puede determinar por el método de evolución de CO_2 . La respiración del suelo puede ser definida como la suma de todas las funciones metabólicas del suelo en que se produce CO_2 . Dentro de esos procesos biológicos responsables de ese fenómeno podemos citar la respiración microbiana, la respiración de las raíces de las plantas y la respiración de la fauna del suelo. Generalmente los microorganismos del suelo son los responsables de la mayor parte del CO_2 liberado, debido a esto, la respiración del suelo se toma como un parámetro, que se encuentra relacionado con la actividad de la microbiología del suelo.

E. La Biomasa Microbiana del Suelo

De acuerdo con Toniutti et al (1999), Las propiedades físicas y químicas del suelo están determinadas en gran parte por la compleja y numerosa cantidad de microorganismos que lo habitan.

De acuerdo con García et al, citado por Toniutti et al (1999), las propiedades biológicas del suelo son importantes ya que pueden tomarse como un indicador sensible y anticipado para evidenciar los cambios que se producen en el proceso de recuperación de suelos.

Actualmente y en dirección a la sustentabilidad del recurso suelo, se hace de mucha importancia el estudio de los macroorganismos y microorganismos del suelo que conforman la biomasa microbiana, 1-4% del carbono total del suelo, fracción orgánica relativamente lábil controlada por factores ambientales y por otros relacionados con la producción y el manejo.

La precipitación y la temperatura son las variables más importantes en la formación de la materia orgánica del suelo. Entre otros factores que controlan la dinámica del carbono en el suelo se destacan la textura, el ingreso de nitrógeno y la cantidad de biomasa vegetal que se incorpora.

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 Localización

Los campos del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, están situados al sur de la capital de Guatemala y de la ciudad universitaria, zona 12. según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), citado por Córdón Sosa (1991), se localiza geográficamente en las coordenadas: 14° 35' 11" latitud norte y 90° 35' 58" longitud oeste.

3.2.2 Clima y zona de vida

Según el mapa de zonas de vida a nivel de reconocimiento de la república de Guatemala, a escala 1: 600,000 publicado por el Instituto Nacional Forestal, citado por Córdón Sosa (1991), la ciudad de Guatemala se encuentra dentro de la zona de vida: Bosque Húmedo Subtropical Templado.

Las condiciones climáticas registradas por el INSIVUMEH, para el área de estudio son las siguientes:

- A. Precipitación media anual: 1,216 mm, distribuidos en 110 días en los meses de mayo a octubre.
- B. Temperatura media anual: 18.3 °C
- C. Humedad relativa media: 79%
- D. Insolación promedio: 6.65 horas/día
- E. Radiación: 0.33 calorías por centímetro cuadrado por minuto
- F. Altura media 1,502 msnm

3.2.3 Los suelos del CEDA

Según el mapa mundial de suelos de la FAO/UNESCO mencionado en el perfil ambiental de Guatemala y citado por Córdón Sosa (1991), los suelos del área de estudio están clasificados en los Cambisoles. De mediana evolución, horizontes superficiales, en su estado natural, altos contenidos de materia orgánica y generalmente poco saturados de bases. De acuerdo con Fassbender (10), los valores de interpretación de las bases cambiables, de la capacidad de intercambio catiónico, de este suelo es: para el calcio, valores altos, medios y bajos corresponden a: 24, 12, 4; para el magnesio: 6, 3, 1; para el potasio: 0.55, 0.35, 0.22. Meq/100 g. Respectivamente. Según Simmons, Tarano y Pinto citado por Córdón (1991), son suelos de la serie Guatemala, que se caracterizan por ser originados de ceniza volcánica pomácea de color claro, que presentan un relieve casi plano. El declive dominante es de 0-2%, el drenaje a través del suelo es lento, la capacidad de abastecimiento de humedad es muy alta, el peligro de erosión es bajo, la fertilidad natural es alta y el problema especial que presentan en el manejo del suelo es el mantenimiento de la materia orgánica. En el interior del suelo el drenaje interno influye sustancialmente, puesto que cuando el mismo es deficiente se presenta el suelo moteado de pardo amarillento y gris. El mal drenaje interno es debido a texturas finas, estructuras masivas, capas compactadas y el mal manejo del suelo en general. El suelo superficial presenta una textura franco arcillosa, de color café muy oscuro, friable, de 0.30 a 0.50 m de espesor, con estructura en bloques subangulares. El suelo subsuperficial presenta una

textura similar, de color café amarillento a café rojizo, friable, de 0.50 a 0.60 m de espesor y estructura en bloques subangulares, pero los bloques se encuentran poco desarrollados. En el horizonte B, domina la estructura prismática en prismas medianos y grandes y finalmente en el material originario no se aprecia estructura. Las terrazas localizadas en el extremo este, que ocupa un área de 10.90 hectáreas que en su mayoría son objeto de cultivos, el 46% de ésta área se encuentra erosionada habiéndose perdido del 50 al 75% del horizonte A, el 13% presenta moderada erosión y el 41% esta levemente erosionado con menos del 10% del horizonte A. El tipo de erosión es la laminar aunque se aprecia la erosión en surcos o canales. También. De acuerdo a resultados de análisis mineralógicos, se determinó que predominan las haloisitas y las caolinitas, (Cordón 1991).

De acuerdo con Fassbender (1982). Las arcillas de tipo haloisita son muy frecuentes en suelos derivados, de cenizas volcánicas, son una forma hidratada de la caolinita y sus valores de CIC llegan a 20 meq/100g. de suelo. En cambio las arcillas de tipo caolinita que se encuentran en suelos altamente meteorizados, presentan una baja CIC, con valores de 3 a 10 meq/100 g. de arcilla.

De acuerdo con las características química de los suelos del CEDA, se puede decir que en su mayoría son potencialmente fértiles, pero presentan una saturación de bases baja a medianamente baja, por ser suelos con baja concentración de bases, presentan una buena respuesta a la fertilización.

3.2.4 Antecedentes de la parcela orgánica y convencional del CEDA

En una pequeña parcela del CEDA, desde hace 11 años, se vienen realizando prácticas de cultivo en el sistema de producción orgánico, realizando prácticas ecológicas de cultivo. Mientras que en otro sector se practica desde mucho tiempo el sistema de producción convencional, realizándose en ésta zona actividades de manejo como: mecanización del suelo, desinfección y desinfestación con productos químicos sintéticos; fertilización, con fertilizantes químicos; riego, control de plagas y enfermedades con plaguicidas químicos sintéticos. Siendo los cultivos establecidos en éste sector: el maíz, (*Zea mays L.*); el frijol, (*Phaseolus vulgaris L.*); el pepino, (*Cucumis sativus*); el brócoli, (*Brassica oleracea var. Itálica*); chile pimiento, (*Capsicum frutescens*); chile picante, (*Capsicum annum*); tomate, (*Lycopersicum esculentum*). Entre otros.



Figura 1. Ubicación de la parcela orgánica y convencional, dentro del sector de manejo orgánico y convencional, en el CEDA.

Las coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM), de las parcelas convencional y orgánica, son: de la parcela convencional, 494022.00 m, longitud Oeste y 1612070.47 m, latitud Norte; de la parcela orgánica, 494019.14 m, longitud Oeste y 1612055.72 m, latitud Norte.

3.2.5 Investigaciones realizadas sobre la calidad del suelo

A. Ruiz E. FH et al (2007). En la investigación. Efecto de los sistemas de manejo en el estado físico de un suelo arenoso (Yermosol Háplico) de una Zona árida de Baja California Sur México. Evaluando la compactación, humedad y densidad aparente (D_a). Se determinó que el empleo de técnicas convencionales (arado de disco, monocultivo y fertilización mineral), generó cambios en la compactación humedad y densidad aparente del suelo. Sin embargo el manejo ecológico del suelo, aplicando abono verde en 50 t ha^{-1} unido a técnicas de preparación del suelo, mostraron recuperación de los indicadores afectados por el manejo convencional.

En la investigación se encontraron diferencias estadísticas entre la densidad aparente del suelo con manejo convencional y ecológico. Respecto a la densidad aparente y humedad, se encontraron los valores de 1.48 g cm^{-3} y 1.39 g cm^{-3} ; 7.54 % y 10.88 %, en el suelo con manejo convencional y con manejo ecológico, respectivamente.

Las modificaciones de las propiedades físicas del suelo, a causa de los tipos de labranza, dan origen a una mayor densidad del suelo, mayor resistencia a la penetración de las raíces y una disminución de la porosidad, por efecto de la capa compacta debajo de la capa arada. Presentándose la mayor resistencia en el estrato de 0.10 a 0.30 m de profundidad. Situación que reduce el ciclo de los nutrientes y trae una disminución de las cosechas.

B. Rivas, J. et al. (2004). En la investigación. Efecto de sistemas de preparación de suelos sobre algunas propiedades físicas del suelo y biométricas en yuca (*Manihot esculenta Crantz*), en Llanos Altos de Monagas. Realizada en suelo Grossarenic Paleustults, utilizando cuatro sistemas de preparación del suelo. Siendo estos: siembra directa, cuatro pases de rastra, cincel (dos pases cruzados) y cincel mas rastra (dos pases de cincel cruzados, seguidos de dos pases de rastra). Las evaluaciones biométricas fueron: rendimiento de raíces, diámetro de tallos y número de raíces totales. A los 6 meses, se determinaron las propiedades físicas en las capas 0.0 a 0.10, 0.10 a 0.20 y 0.20 a 0.30 m. Siendo las variables: densidad aparente, porosidad y resistencia a la penetración.

De acuerdo a la caracterización química realizada en el horizonte Ap, se encontró: clase textural, arenosa; pH, 5.0; fósforo (P), 20.0 ppm; potasio (K), 47 ppm; calcio (Ca), 100 ppm; magnesio (Mg), 22 ppm.

En la investigación, se determinó que el rendimiento de raíces, fue superior en el sistema de siembra directa, (25,739.6 kg/ha); el diámetro de tallos, fue superior en el sistema de rastra, (2.7 cm); el número de raíces totales, fue superior en el sistema cincel mas rastra. La densidad aparente presentó, estadísticamente, un comportamiento similar y un valor máximo en los sistemas siembra directa, cincel + rastra y rastra. Igual situación presentaron los sistema rastra, cincel y cincel + rastra con el % de macroporos. La resistencia a la penetración del suelo fue superior en la siembra directa seguido del cincel + rastra, rastra y cincel.

De acuerdo a esta investigación. La densidad aparente superior, en los sistemas de preparación de suelos: siembra directa, cincel + rastra y rastra. Se debió probablemente, al grado de confinamiento superficial, generado por el número de pasadas de la maquinaria, en el sistema cincel mas rastra.

C. De acuerdo con la FAO (2003). Una intensa actividad biológica que estimule el metabolismo entre el suelo y la flora, debe ser el centro de interés de la producción sostenible y del manejo de la fertilización. A diferencia de la agricultura convencional, los productores orgánicos dependen de una provisión alta y sostenida de sustancias orgánicas, incluyendo la rotación de cultivos con praderas temporarias de trébol/gramíneas, intersembras, cultivos intercalados, abonos verdes y abonos de origen animal. Los resultados de las diferentes investigaciones muestran que la actividad de los microorganismos es más elevada en los suelos manejados con métodos orgánicos que en los tratados convencionalmente. En consecuencia, los nutrientes se reciclan más rápidamente en los suelos orgánicos y su estructura se ve mejorada. De acuerdo a esto. Fließbach et al citado por FAO (2003). Descubrieron en Suiza que la masa total de microorganismos en los suelos trabajados orgánicamente era hasta un 90 por ciento más alta. En cuanto a los hongos del suelo, Elmholt citado también por la FAO (2003). Halló mayor abundancia de hongos saprófitos con un mayor potencial para descomponer la materia orgánica. Las micorrizas, importantes representantes de los hongos del suelo, viven en simbiosis con las raíces. Elmholt, citado también por la FAO (2003). Observó que la colonización micorrizal de las raíces era definitivamente mayor en los lotes orgánicos que en los convencionales.

D. El ensayo, realizado por el Instituto Suizo de Investigación de la Agricultura Orgánica (FiBL) presentado por la FAO (2003). Ofrece una exhaustiva comparación de los parámetros, entre los suelos manejados con métodos convencionales y los que utilizan técnicas orgánicas. Resumiendo lo siguiente:

a. Gracias a los métodos de fertilización orgánica, el contenido de materia orgánica es generalmente más alto en los suelos trabajados orgánicamente que en los suelos de explotación tradicional, que han sido fertilizados exclusivamente con minerales. El alto contenido de materia orgánica contribuye además a evitar la acidificación del suelo.

b. El manejo orgánico mejora la estructura del suelo incrementando su actividad y de esa manera reduce el riesgo de erosión.

c. Los cultivos orgánicos se benefician con la simbiosis de las raíces y aprovechan mejor las propiedades del suelo.

d. Los suelos cultivados orgánicamente muestran una actividad biológica (lombrices, hongos, bacterias, microorganismos) mucho mayor que los labrados en forma tradicional. Los nutrientes se transforman rápidamente y con ello se mejora la estructura del suelo.

e. El manejo orgánico estimula el desarrollo de la fauna del suelo, por ejemplo, las lombrices y los artrópodos de superficie, mejorando las condiciones de crecimiento del cultivo. Una mayor cantidad de predadores ayuda a controlar los organismos dañinos.

f. El manejo orgánico mejora la estructura del suelo incrementando su actividad y de esa manera reduce el riesgo de erosión.

F. De acuerdo a la FAO (2003). En una investigación evaluando el rendimiento de frutos y biomasa vegetativa. Se encontró que en el segundo y el tercer año, el rendimiento de fruta fresca en el sistema orgánico fue un 29 y 11.3 % Más alto que el del sistema no orgánico. La biomasa vegetativa del segundo año fue 12.3 %, inferior en el sistema orgánico con respecto al sistema no orgánico, pero en el tercer año fue un 17.7 por ciento más alto. La biomasa de malezas fue similar en ambos sistemas durante los dos años.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar y determinar el efecto en el suelo, sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas, indicadoras de la sostenibilidad de un sistema. Debido a la implementación de un manejo orgánico, comparado con las propiedades de un suelo con manejo convencional, dentro de un mismo campo de cultivo.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.2.1 Comparar el efecto del manejo orgánico sobre la infiltración del agua en el suelo, retención de humedad, densidad y porosidad y su correlación con la materia orgánica, respecto a estas mismas propiedades en el suelo de manejo convencional.

4.2.2 Comparar el efecto del manejo orgánico, sobre el pH, la concentración de sales, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la fertilidad: El fósforo (P), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K), la saturación de bases, la materia orgánica y el nitrógeno total, respecto al manejo convencional del suelo.

4.2.3 Determinar el efecto del manejo orgánico, sobre el contenido de lombrices de tierra (*Lumbricus terrestres*), la altura de plantas, diámetro basal de tallos y producción de biomasa del cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*) y el valor de importancia de arvenses, respecto al manejo convencional del suelo.

5. HIPÓTESIS

5.1 La infiltración, la retención de humedad, la densidad del suelo y porosidad, tienden a mejorar bajo el manejo orgánico del suelo.

5.2 El pH, concentración de sales, la fertilidad, la capacidad de intercambio catiónico, la saturación de bases, la materia orgánica, y el nitrógeno total, son modificados positivamente, bajo el manejo orgánico del suelo.

5.3 El suelo manejado orgánicamente, contiene un mayor número de lombrices de tierra (*Lumbricus terrestres*), provee las condiciones adecuadas para una mayor altura y diámetro basal y mayor producción de biomasa del cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*) y al mismo tiempo se produce una mayor biodiversidad, fitomasa, densidad y frecuencia de arvenses en el sistema.

5.4 El sistema de producción orgánico, induce a la restauración de la fertilidad natural del suelo.

6. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos propuestos y comprobar las hipótesis, se llevó a cabo la determinación y comparación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, bajo el sistema de producción orgánico y el sistema de producción convencional, lo cual se realizó en el CEDA, en donde se cultiva convencionalmente y por 11 años se viene practicando en una parcela, el sistema de producción orgánico.

Para montar la presente investigación se utilizó una extensión total de 400 m², un área de estudio de 200 m² del sector convencional y 200 m² del sector orgánico. La parcela de manejo convencional que se utilizó, se encuentra al norte de la parcela del sector de manejo orgánico, ambas separadas por una barrera viva de napier (*Pennisetum sp*), de 2 metros de ancho. Las variables de estudio fueron:

6.1 VARIABLES FÍSICAS

6.1.1 Infiltración básica

6.1.2 Retención de humedad

6.1.3 Densidad y Porosidad

6.2 VARIABLES QUÍMICAS

6.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

6.2.2 Concentración de sales

6.2.3 Fertilidad. Elementos disponibles: Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Hierro (Fe).

6.2.4 Capacidad de intercambio catiónico CIC.

6.2.5 Cationes intercambiables: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K).

6.2.6 Saturación de bases

6.2.7 Materia orgánica

6.2.8 Nitrógeno total

6.3 VARIABLES BIOLÓGICAS

6.3.1 Cuantificación de lombrices de tierra

6.3.2 Altura, diámetro basal y biomasa del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*)

6.3.3 Valor de importancia de arvenses

La determinación del efecto del sistema orgánico sobre las propiedades propuestas, se realizó en dos fases: La primera fase, denominada fase de campo, consistió en la toma de las diferentes muestras y la realización de los análisis a nivel de laboratorio, además se realizaron las pruebas de campo necesarias. La segunda fase, denominada fase de gabinete, consistió en el análisis de la información obtenida en los resultados de las pruebas de campo y los resultados obtenidos en los análisis de suelos.

Los resultados obtenidos de las variables en estudio de la parcela orgánica y convencional, se compararon mediante Parcelas Apareadas. Salvo la densidad del suelo, en la cual se realizó una prueba estadística, aplicando el diseño Completamente al Azar con arreglo bifactorial 2 x 3. Siendo el factor A, el tipo de suelo y el factor B, la profundidad. Con 4 repeticiones.

6.4 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{jkl} = \mu + B_j + A_k + B_l + AB_{kl} + \epsilon_{jkl}$$

Donde:

Y_{jkl}	=	Variable de respuesta asociada a la jkl-ésima unidad experimental
μ	=	Efecto de la media general
B_j	=	Efecto del j-ésimo bloque
A_k	=	Efecto del k-ésimo nivel del factor A
B_l	=	Efecto del l-ésimo nivel del factor B
AB_{kl}	=	Interacción del k-ésimo nivel del factor A con el l-ésimo nivel del factor B
ϵ_{jkl}	=	Error experimental asociado a la jkl-ésima unidad experimental

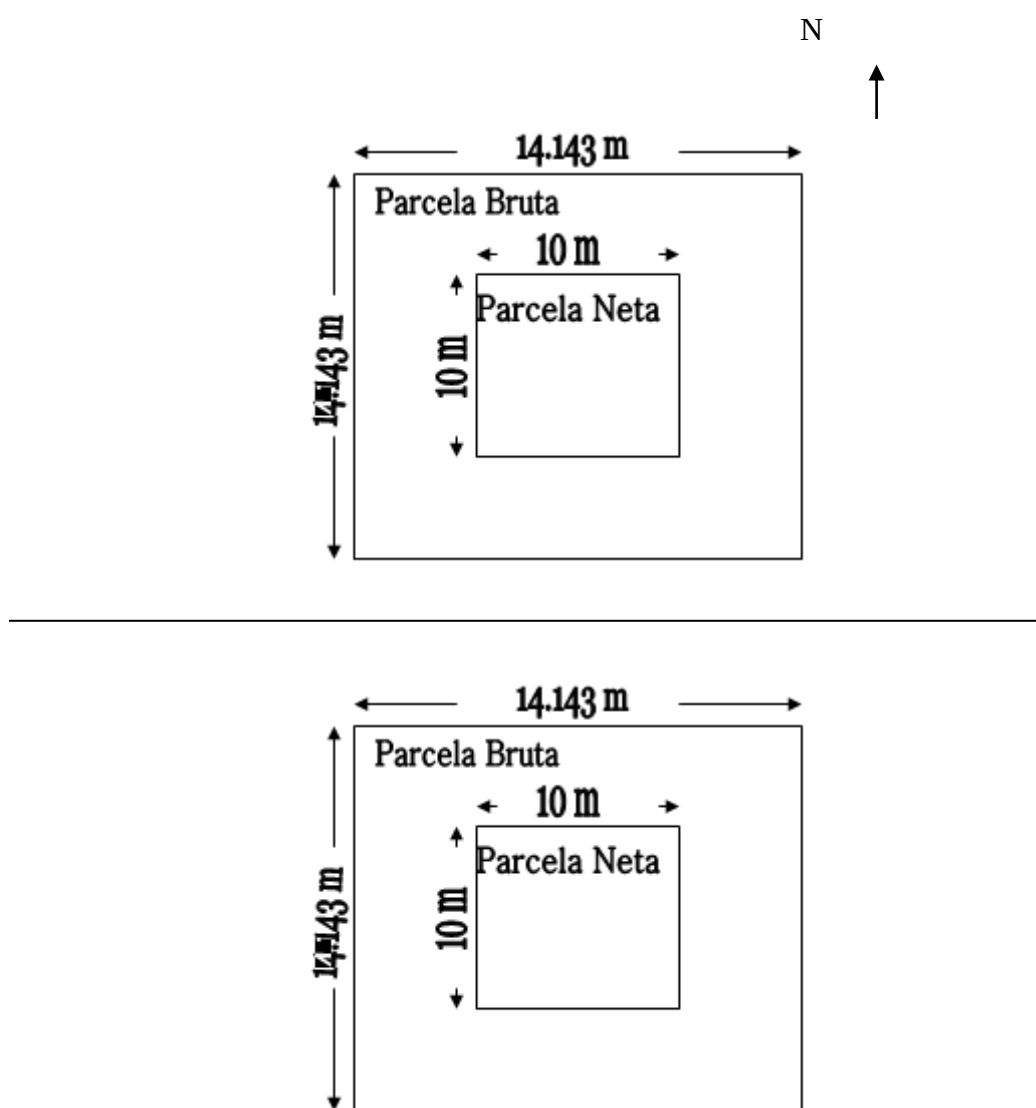


Figura 2. Croquis de las parcelas neta y bruta dentro de las zonas de producción convencional y orgánica.

6.5 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO.

6.5.1 Determinación de variables físicas.

A. Infiltración básica

Para la determinación de la infiltración básica del agua en el suelo, se eligió en cada parcela neta de cada área de estudio, un punto al azar y se realizó la prueba en la estación seca y lluviosa, por medio del método del infiltrómetro de doble cilindro.

B. Retención de humedad en el suelo

La retención de humedad del suelo, se determinó en cinco puntos, en la primera y la tercera toma de muestras y en cuatro puntos en la segunda toma de muestras. Estos puntos fueron elegidos al azar dentro de las parcelas netas de las áreas de estudio, en los estratos de 0.00-0.10, 0.10-0.20 y 0.20-0.50 metros de profundidad y se realizó por tres veces en la estación seca y lluviosa. Se utilizó el método gravimétrico.

C. La densidad del suelo y porosidad

La densidad y porosidad del suelo, se determinó en cuatro puntos elegidos al azar, dentro de las parcelas netas de las áreas de estudio, en los estratos de 0-0.10, 0.10-0.20 y 0.20-0.50 m de profundidad durante la estación seca.

6.5.2 Determinación de variables químicas

El pH, la concentración de sales, los nutrientes disponibles, la capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, saturación de bases, materia orgánica y nitrógeno total, se determinó por medio del análisis de suelos, de una muestra compuesta formada por 10 submuestras obtenidas al azar en las parcelas netas de las áreas de estudio, en los estratos de 0-0.10, 0.10-0.20 y 0.20-0.50 m de profundidad, en la estación seca.

6.5.3 Determinación de variables biológicas

A. La lombriz de tierra (*Lumbricus terrestres*).

La cuantificación de lombrices de tierra se realizó en 1 m³ de suelo, en 5 puntos elegidos al azar. Se hicieron los muestreos en época seca y lluviosa, utilizando el método de la diez milésima de hectárea.

B. Altura, diámetro de tallos y biomasa del cultivo de girasol (*Helianthus annuus L.*)

Para la altura de plantas, diámetro de tallos y biomasa del cultivo de girasol, se estableció el cultivo de Girasol, variedad Contiflor. Se sembró el girasol a través de un sistema de siembra directa, a una distancia de un metro entre surcos y 0.50 metros entre plantas, por dos ciclos consecutivos. En la estación seca el cultivo se mantuvo bajo riego por aspersión y en la estación lluviosa se regó por aspersión cuando se presentaron necesidades de humedad. Se determinó en una muestra de 25 plantas seleccionadas dentro de las parcelas netas, la altura a 27 días de la germinación y el

diámetro a 15 centímetros del suelo, a 51 días de la germinación. La biomasa se obtuvo a través de la materia seca de 10 plantas, tomadas al azar dentro de las parcelas netas, cortadas a la superficie del suelo. La altura del girasol en el segundo ciclo se determinó de una muestra de 21 plantas, a 40 días de la germinación y el diámetro de tallos se determinó a 15 centímetros de altura y a 40 días de la germinación.

C. Valor de importancia de arvenses

El valor de importancia de arvenses se determinó en la estación lluviosa, utilizando el Área Mínima, densidad real, fitomasa real y frecuencia real, densidad relativa, fitomasa relativa y frecuencia relativa. De acuerdo al método y procedimiento de López (14).

Cuadro 3. Variables y métodos de determinación

Variables	Métodos
Infiltración	Infiltrómetro de doble cilindro. (Gavande 1982)
Humedad	Gravimétrico. (Gavande 1982)
Densidad	Cilindro de volumen conocido. (Gavande 1982)
Potencial de hidrógeno (pH)	Potenciómetro*
Concentración de sales	Conductímetro*
Elementos disponibles P, Cu, Fe, Zn, Mn	Mehlich I*
Elementos disponibles e intercambiables. Ca, Mg, Na, K	Acetato de amonio pH 1.0 N*
Materia orgánica (MO)	Walkley y Black*
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Kjeldhal*
Saturación de bases	Ca+Mg+K+Na/CICX 100*
Nitrógeno total (NT)	Kjeldhal*
Lombrices de tierra	Diez milésima de hectárea. (USDA 1999 Mod.)
Altura, diámetro basal y materia seca de plantas de girasol	Primer ciclo: Muestra de 25 plantas. Altura a 40 DDG, diámetro de tallos a 15 cm de altura a 51 DDG, peso de materia seca de 10 plantas. Segundo ciclo: Muestra de 21 plantas. Altura y diámetro a 15 cm del suelo a 40 DDG.
Valor de importancia de la vegetación arvense	Área mínima. Relevé; Número de muestreos. Varianza de subconjuntos; densidad, frecuencia y fitomasa; densidad real, frecuencia real y fitomasa real; densidad relativa, frecuencia relativa y fitomasa relativa. (López 2000)

Referencias:

Mod. = Modificado

DDG = Días de la germinación

* = Análisis de suelos. Laboratorio de suelos y agua Ing. Salvador Castillo Orellana, facultad de Agronomía universidad de San Carlos de Guatemala.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación del efecto del sistema orgánico sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas propuestas, se realizó de la siguiente manera. En la fase de campo, se tomaron las diferentes muestras y se realizaron las pruebas de campo y los análisis de suelos en el laboratorio de la facultad de agronomía de la universidad de San Carlos de Guatemala. En la fase de gabinete, se analizó los resultados de las pruebas de campo y los resultados obtenidos en los análisis de suelos. De acuerdo a la metodología presentada. Resultados que se presentan a continuación.

7.1 VARIABLES FÍSICAS

7.1.1 Resultados de la infiltración básica.

La infiltración determinada a través de las pruebas de campo, con la utilización de la metodología propuesta proporcionó los resultados que se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Valores de infiltración básica del agua en suelos Cambisoles con manejo convencional y orgánico

Infiltración Básica	PARCELA CONVENCIONAL	PARCELA ORGÁNICA
	cm/h	cm/h
Época seca	0.77	3.96
Época lluviosa	0.0008	2.36
Promedio de Infiltración	0.38	3.16

Fuente: Datos de Campo

Referencia:

cm/h = centímetros por hora

En el cuadro 4. Valores de infiltración básica del agua en suelos Cambisoles con manejo convencional y orgánico. Se puede apreciar que la infiltración disminuye 1.60 cm/h, en época lluviosa respecto a la infiltración en época seca, en la parcela orgánica. Además ésta infiltración en el suelo con manejo orgánico, fue mayor y superó en 2.78 cm/h, a la infiltración promedio obtenida en la parcela convencional. También se observa que la infiltración en la época lluviosa en la parcela convencional, fue demasiado baja. La mayor infiltración del agua en el suelo con manejo orgánico se debe al beneficio de la materia orgánica, la presencia de macroorganismos como la lombriz de tierra. De acuerdo con Córdón Sosa (1991), el mal drenaje interno (drenaje lento), en el suelo de manejo convencional, es debido a texturas finas, estructuras masivas, capas compactadas y el mal manejo del suelo en general. De acuerdo con Gavande (1982), la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Depende de factores, como: la temperatura, la estructura, compactación, textura, agregación y actividades microbianas. En este caso, estos factores fueron influenciados por la mayor cantidad de materia orgánica del suelo manejado orgánicamente.

7.1.2 Retención del agua en el suelo

La retención del agua en el suelo con manejo convencional y orgánico, obtenido a partir de las muestras de ambos suelos, a través de 3 lecturas efectuadas en época seca y lluviosa, se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Valores porcentuales de humedad en suelos cambisoles, con manejo convencional y orgánico, en tres estratos de profundidad, en época seca y lluviosa.

EPOCA	FECHA	ESTRATO M	PARCELA CONVENCIONAL						PARCELA ORGÁNICA					
			M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	X	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	X
SECA	12/04/2007	0.00 - 0.10	13.6	17.5	15.2	11.2	15.5	14.6	23.9	25.3	28.6	23.3	21.6	24.5
		0.10 - 0.20	23.7	18.2	26.6	24.9	24.3	23.5	27.3	29.7	29.6	28.2	27.3	28.4
		0.20 - 0.50	31.9	27.8	30.6	29.4	33.9	30.7	31.6	31.8	30.4	30.6	31.2	31.1
	06/05/2007	0.00 - 0.10	26.1	23.6	18.4	15.1		20.8	24.3	27.3	28.1	27.7		25.8
		0.10 - 0.20	27.2	27.4	28.6	27.8		27.8	32.5	24.3	29.6	24.9		27.8
		0.20 - 0.50	33.5	32.6	34.5	31.1		32.9	24.4	24.0	29.1s	26.4		26.0
	30/05/2007	0.00 - 0.10	29.5	30.4	29.8	31.0	32.0	30.5	30.0	30.2	28.8	29.3	33.4	30.3
		0.10 - 0.20	39.0	31.9	31.3	37.1	30.1	33.9	29.6	30.4	30.6	30.8	33.7	31.0
		0.20 - 0.50	37.2	37.3	36.1	38.6	34.7	36.8	30.8	29.2	31.8	30.4	29.0	30.2
LLUVIOSA	04/08/2007	0.00 - 0.10	24.6	19.2	18.6	21.7	19.9	20.8	23.5	19.9	22.9	23.4	23.8	22.7
		0.10 - 0.20	25.4	28.0	3.5	28.0	26.2	22.2	27.7	26.2	28.1	26.5	26.1	26.9
		0.20 - 0.50	30.3	28.5	17.6	29.3	28.5	26.8	27.6	38.3	23.5	27.7	26.7	28.7
	09/09/2007	0.00 - 0.10	35.2	31.6	30.4	32.6	33.8	32.7	36.0	37.6	37.2	37.8	37.4	37.2
		0.10 - 0.20	32.2	34.0	30.5	36.8	33.5	33.4	30.5	34.6	34.2	34.9	33.8	33.6
		0.20 - 0.50	41.9	30.4	37.6	35.5	34.4	36.0	32.1	33.7	33.4	34.5	33.6	33.5
	05/10/2007	0.00 - 0.10	25.9	27.1	25.6	29.7	22.6	26.2	31.4	27.8	27.7	26.9	27.7	28.2
		0.10 - 0.20	28.6	30.0	29.1	29.1	29.8	29.3	32.8	30.6	27.9	30.6	32.7	30.9
		0.20 - 0.50	38.7	29.9	31.0	30.6	36.7	33.4	32.7	33.2	31.4	31.3	31.5	32.0

Referencias:

X = promedio

M = muestras

De acuerdo a lo que se muestra en el cuadro 5. Valores porcentuales de humedad en suelos cambisoles con manejo convencional y orgánico, en tres estratos de profundidad, en época seca y lluviosa. El promedio general del almacenamiento del agua en la parcela Orgánica es de 29.38% y 28.46% en la parcela Convencional; el promedio obtenido en el suelo de manejo Orgánico en el estrato de 0.00-0.10 m de profundidad es de 28.12%, y 24.27%, en el suelo de manejo convencional; el promedio obtenido en el suelo Orgánico, en el estrato de 0.10-0.20 m de profundidad es de 29.77% y 28.35% en el suelo convencional; el promedio obtenido en el suelo Orgánico, en el estrato de 0.20 a 0.50 m de profundidad fue 30.25% y 32.77%, en el suelo convencional. De acuerdo a los valores encontrados en el suelo orgánico, respecto al almacenamiento de agua, la retención de humedad fue

mayor en los estratos de 0.00-0.10 y 0.10-0.20. En los meses más secos, como abril y mayo. Siendo estos valores 14.6 y 24.5, 24.3 y 28.4%, respectivamente. Mientras que en el estrato de 0.20-0.50 m de profundidad, el porcentaje de humedad, fue menor en el suelo de manejo orgánico. Este cambio en el contenido de humedad, puede estar correlacionado con los niveles de materia orgánica en el estrato en mención y a la presencia de capas compactas que favorecen la mayor retención de agua, como resultado del desbalance de la relación agua-aire, en el suelo convencional.

Ruiz E. FH et al (2007) En la investigación. Efecto de los sistemas de manejo en el estado físico de un suelo arenoso (Yermosol Háplico), de una zona árida de Baja California Sur México. Evaluando la compactación, humedad y densidad aparente (Da). Determinó diferencias en el almacenamiento de agua y reportó valores de 7.54 % y 10.88 %, en el suelo con manejo convencional y con manejo ecológico, respectivamente. Además menciona que las modificaciones o la diferencia en el almacenamiento del agua en el suelo, se debe al tipo de manejo convencional y ecológico, realizado.

De acuerdo con Córdón (1991), el declive dominante, de los suelos del CEDA es de 0-2%, el drenaje a través del suelo es lento y el problema especial que presentan en el manejo del suelo es el mantenimiento de la materia orgánica. Características que presenta la parcela convencional.

Para presentar el comportamiento del almacenamiento del agua en los tres estratos de profundidad estudiados, durante las tres observaciones efectuadas en la época seca y lluviosa, se realizó la gráfica de líneas.

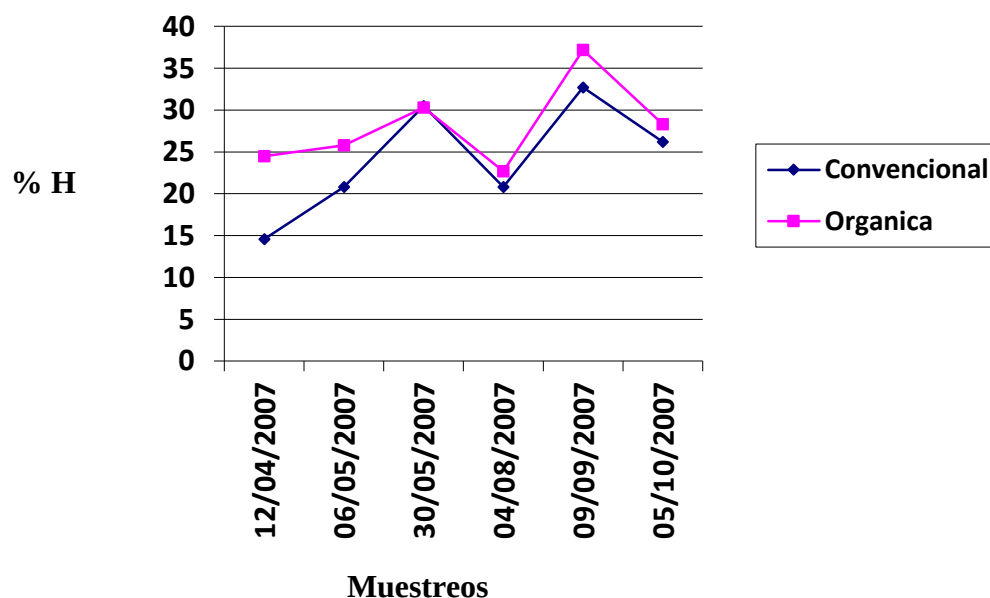


Figura 3. Comportamiento de la humedad en el estrato de profundidad de 0.00 a 0.10 m.

De acuerdo a la figura 3. Comportamiento de la humedad en el estrato de profundidad de 0.00 a 0.10 m. Se puede observar una superioridad en el almacenamiento del agua, en el suelo con manejo orgánico. Esta mayor retención de humedad, es favorecida por la mayor cantidad de materia orgánica presente en el estrato 0.00 a 0.10 m, la cual se encuentra en 4.94 y 2.97% en el suelo orgánico y convencional, respectivamente, reportado en el cuadro 10. Resultados del análisis de las variables químicas en muestras de suelos Cambisoles, con manejo orgánico y convencional

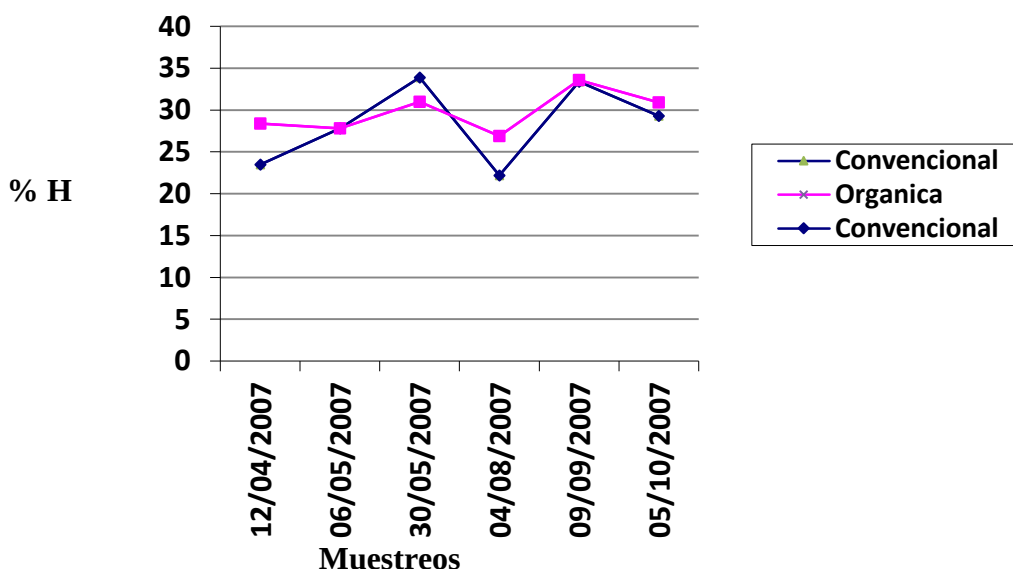


Figura 4. Comportamiento de la humedad a la profundidad de 0.10 a 0.20 m.

En el estrato de profundidad de 0.10 a 0.20 m, figura anterior. El comportamiento del almacenamiento del agua, es parecido al comportamiento en el estrato de 0.00 a 0.10 m. con un comportamiento más alto en el suelo de manejo convencional. Siendo la diferencia, menor respecto al estrato anterior.

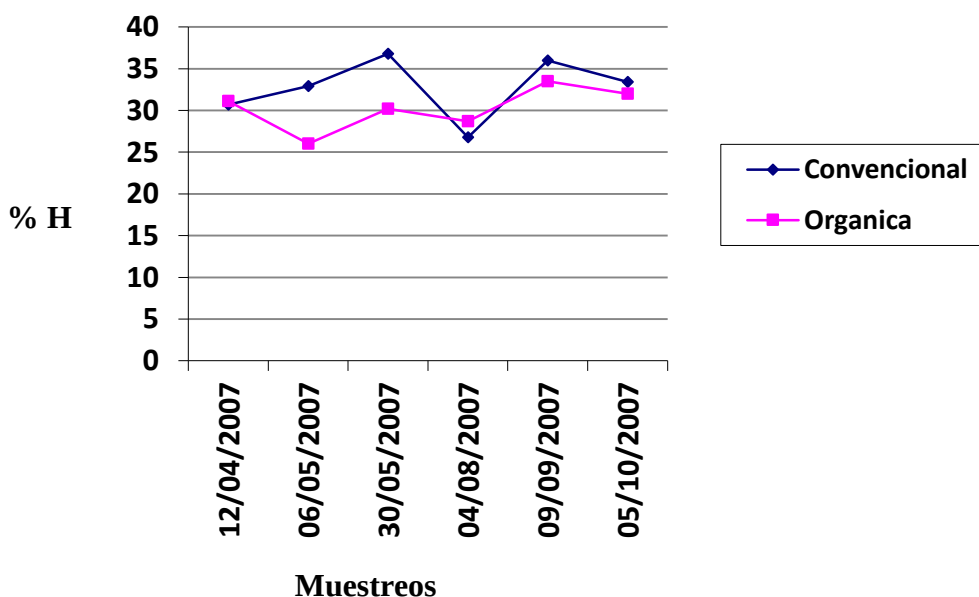


Figura 5. Comportamiento de la humedad a la profundidad de 0.20 a 0.50 m.

La figura 6, Comportamiento de la humedad a la profundidad de 0.20 a 0.50 m. Muestra una mayor retención de humedad en el suelo de manejo convencional. Éste mayor contenido de humedad se debe a la menor infiltración, capa compacta y la textura arcillosa del suelo de manejo convencional, en el estrato mencionado. Ruiz E. FH et al (2007) Evaluando la compactación, humedad y densidad aparente (Da). Se determinó que con el empleo de técnicas convencionales (arado de disco, monocultivo y fertilización mineral), se generó cambios en la compactación

humedad y densidad aparente del suelo. Sin embargo el manejo ecológico del suelo, aplicando abono verde en 50 tha^{-1} unido a técnicas de preparación del suelo, mostraron recuperación de los indicadores afectados por el manejo convencional.

7.1.3 Densidad aparente y porosidad

Cuadro 6. Valores de densidad y porosidad en suelos Cambisoles, con manejo convencional y orgánico en tres estratos de profundidad

ESTRATO (m)	PARCELA CONVENCIONAL						PARCELA ORGÁNICA					
	DENSIDAD					POROSIDAD	DENSIDAD					POROSIDAD
	M1	M2	M3	M4	X	%	M1	M2	M3	M4	X	%
0.00 – 0.10	1.27	1.22	1.17	1.19	1.21	54	0.98	1.06	1.06	1.00	1.02	62
0.10 – 0.20	1.38	1.28	1.28	1.28	1.28	52	0.94	1.09	1.22	1.12	1.09	59
0.20 – 0.50	1.22	1.32	1.24	1.30	1.27	52	1.08	0.98	1.21	1.16	1.11	58

Fuente: Datos de campo

Referencias:

X = promedio

M = muestras.

De acuerdo al cuadro 6. Valores de densidad y porosidad en suelos Cambisoles con manejo convencional y orgánico en tres estratos de profundidad. El valor promedio en la densidad aparente, correspondiente al suelo de manejo convencional, es mayor, al valor encontrado en el suelo de manejo orgánico. Siendo éstos promedios generales, 1.25 y 1.07 gr/cm^3 . Lo que implica que éste suelo es más pesado. También se observa que la densidad se incrementa con la profundidad, en ambos suelos. Por otra parte, los promedios de porosidad en los diferentes estratos estudiados, son superiores en el suelo orgánico, situación que contribuyó con la mayor retención de humedad, como se observó en el estrato de 0.00 a 0.10 m, cuadro 5. El cual presentó valores de 14.6 y 24.5% de humedad.

Ruiz E. FH et al (2007) En la investigación. Efecto de los sistemas de manejo en el estado físico de un suelo arenoso (Yermosol Háptico). Evaluando densidad aparente (D_a). Se encontraron diferencias estadísticas entre la densidad aparente del suelo con manejo convencional y ecológico. Siendo los valores de 1.48 gcm^{-3} y 1.39 gcm^{-3} . En el suelo con manejo convencional y con manejo ecológico, respectivamente. También mencionan que las modificaciones de las propiedades físicas del suelo, a causa de los tipos de labranza, dan origen a una mayor densidad del suelo, mayor resistencia a la penetración de las raíces y una disminución de la porosidad, por efecto de la capa compacta debajo de la capa arada. Presentándose la mayor resistencia en el estrato de 0.10 a 0.30 m de profundidad. Situación que reduce el ciclo de los nutrientes y trae una disminución de las cosechas.

De acuerdo con Gavande (1982). La proporción y composición de los constituyentes gaseosos del suelo, influyen en el crecimiento de las plantas. La mayoría de las reacciones biológicas que se realizan en un suelo, consumen oxígeno y producen como subproducto bióxido de carbono, éste proceso es conocido como respiración aeróbica del suelo. El espacio poroso del suelo está lleno de

cantidades recíprocas de agua y gas. Estas mejores condiciones, favorecen el desarrollo radicular de los vegetales y se encontraron en suelo con manejo orgánico.

Cuadro 7. Prueba de medias, de la densidad en suelos con manejo convencional y orgánico

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.06251

Error: 0.0053 gl: 18

Parcela	Medias n		
Convencional	1.26	12	A
Orgánico	1.08	12	B

El resultado encontrado en la prueba de medias de la densidad en suelos de manejo convencional y orgánico. Cuadro 7. Las letras A y B, (diferentes). Se interpretan como diferencias significativas en la densidad del suelo con manejo convencional y orgánico.

Cuadro 8. Prueba de medias, de la densidad del suelo, en los estratos de profundidad en suelos con manejo convencional y orgánico

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.09300

Error: 0.0053 gl: 18

Profundidad	Medias n		
0.10-0.20	1.20	8	A
0.20-0.50	1.19	8	A
0.00-0.10	1.12	8	A

De acuerdo con el cuadro anterior, se puede observar que no existen diferencias significativas en la densidad, en los diferentes estratos estudiados.

Cuadro 9. Prueba de medias de la densidad del suelo con manejo convencional y orgánico, de acuerdo a los estratos de profundidad.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.16381

Error: 0.0053 gl: 18

Parcela	Profundidad	Medias n					
Convencional	0.10-0.20	1.31	4	A			
Convencional	0.20-0.50	1.27	4	A	B		
Convencional	0.00-0.10	1.21	4	A	B	C	
Orgánico	0.20-0.50	1.11	4		B	C	D
Orgánico	0.10-0.20	1.09	4			C	D
Orgánico	0.00-0.10	1.03	4				D

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA (1999), La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo, refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire. Además es importante para el manejo del suelo.

7.2 VARIABLES QUÍMICAS

Las variables químicas, determinadas a través del análisis químico de las muestras tomadas en las parcelas netas, de las áreas en estudio, de acuerdo a lo planteado en la metodología de la investigación, se presentan a continuación.

Cuadro 10. Resultados del análisis químico de muestras de suelos Cambisoles, con manejo orgánico y convencional

Variable	Rango	Estrato de profundidad (m)	Suelo Orgánico	Suelo Convencional
El potencial de hidrógeno (pH)		0.00 - 0.10	7.0	6.6
		0.10 - 0.20	7.0	6.6
		0.20 - 0.50	6.7	6.6
Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$		0.00 - 0.10	245	185
		0.10 - 0.20	270	170
		0.20 - 0.50	185	175
Fósforo, P, Ppm, 12-16	12 - 16	0.00 - 0.10	5.04	0.07
		0.10 - 0.20	2.98	0.01
		0.20 - 0.50	0.21	0.01
Potasio, K, Ppm, 120-150	120 - 150	0.00 - 0.10	400	198
		0.10 - 0.20	295	103
		0.20 - 0.50	270	73
Calcio, Ca, Meq/100 gr, 6-8	6 - 8	0.00 - 0.10	16.22	9.05
		0.10 - 0.20	13.10	8.42
		0.20 - 0.50	10.92	7.49
Magnesio, Mg, Meq/100 gr, 1.5-2.5	1.5 - 2.5	0.00 - 0.10	4.16	4.00
		0.10 - 0.20	3.44	3.96
		0.20 - 0.50	3.54	4.32
Cobre, Cu, Ppm, 2-4	2 - 4	0.00 - 0.10	1.00	3.50
		0.10 - 0.20	1.50	4.00
		0.20 - 0.50	2.50	3.50
Cinc, Zn, Ppm, 4-6	4 - 6	0.00 - 0.10	10.00	3.50
		0.10 - 0.20	8.00	3.00
		0.20 - 0.50	3.00	1.00
Hierro, Fe, Ppm, 10-15	10 - 15	0.00 - 0.10	11.00	48.00
		0.10 - 0.20	18.00	63.00
		0.20 - 0.50	19.00	41.00
Manganeso, Mn, Ppm, 10-15	10 - 15	0.00 - 0.10	44.00	45.00
		0.10 - 0.20	38.50	34.50
		0.20 - 0.50	19.00	31.50
Capacidad de intercambio catiónico, Meq/100 gr		0.00 - 0.10	20.00	21.20
		0.10 - 0.20	24.00	20.40
		0.20 - 0.50	23.60	23.60
Calcio, Ca, Meq/100 gr		0.00 - 0.10	13.72	9.73
		0.10 - 0.20	15.72	9.23
		0.20 - 0.50	11.72	9.48
Magnesio, Mg, Meq/100 gr		0.00 - 0.10	3.52	4.36
		0.10 - 0.20	3.78	3.45
		0.20 - 0.50	3.58	5.26
Sodio, Na, Meq/100 gr		0.00 - 0.10	0.48	0.61
		0.10 - 0.20	0.52	0.57
		0.20 - 0.50	0.49	0.67
Potasio, K, Meq/100 gr		0.00 - 0.10	1.62	1.10
		0.10 - 0.20	1.41	0.82
		0.20 - 0.50	1.36	0.56
Saturación de bases, SB, (%)		0.00 - 0.10	98.20	74.53
		0.10 - 0.20	89-31	68.89
		0.20 - 0.50	72.67	67.63
Materia orgánica, M.O. (%)		0.00 - 0.10	4.94	2.97
		0.10 - 0.20	4.83	2.64
		0.20 - 0.50	3.03	1.85
Nitrógeno total, NT, (%)		0.00 - 0.10	0.26	0.18
		0.10 - 0.20	0.23	0.16
		0.20 - 0.50	0.14	0.13

Fuente: Análisis de suelos

7.2.1 El potencial de hidrógeno (pH), del suelo

Como se puede observar en el cuadro (10). Resultados del análisis químico de muestras de suelos Cambisoles, con manejo orgánico y convencional. La muestra del suelo de manejo convencional, presentó valores que tienden a la acidez. El suelo bajo este sistema presentó un pH de 6.6, en los tres estratos de profundidad. Mientras que la muestra analizada, proveniente de la parcela orgánica, presentó un potencial de hidrógeno de 7.0, en los dos primeros estratos de profundidad (0.00 a 0.10 y 0.10 a 0.20). Sin embargo en el estrato de profundidad de 0.20 a 0.50, el potencial de hidrógeno se presentó con un valor de 6.7. La evaluación agronómica, tipifica al pH de ambos suelos, como neutros, con una diferencia en la escala, de 0.3, a favor del suelo convencional.

Las mejores condiciones del potencial de hidrógeno, que favorecen el mejor desarrollo de los vegetales, presentado en el suelo con manejo orgánico, en los estratos de 0.00 a 0.10 y 0.10 a 0.20 m, se debe a las prácticas de manejo, como enmiendas. De acuerdo a la FAO (2003). En el ensayo, realizado por el Instituto Suizo de Investigación de la Agricultura Orgánica. Comparando los parámetros, entre los suelos manejados con métodos convencionales y los que utilizan técnicas orgánicas. Se menciona que el alto contenido de materia orgánica contribuye a evitar la acidificación del suelo. De acuerdo con Wade y Romero (1995), el pH tiene influencia sobre la disponibilidad de la mayoría de nutrientes a la planta, la actividad de los microorganismos en el suelo y el desarrollo de las raíces. La acidez ($\text{pH} < 6.0$), al favorecer la solubilidad de elementos como el aluminio (Al) y manganeso (Mn), al hacerlos más disponibles a la planta hasta la toxicidad, también favorece una mayor incidencia de hongos como *Fusarium* y una menor actividad bacteriana. Además disminuyen los procesos de nitrificación y fijación de nitrógeno en las leguminosas e incrementa la fijación de fósforo.

7.2.2 La conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica en el suelo de la parcela con manejo convencional correspondió a un valor de 176.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que es equivalente a 0.18 dS/m y se encuentra entre el rango de 0.00 – 0.20, que se interpreta como bajo contenido de sales. El suelo con manejo orgánico presentó una concentración de sales, que de acuerdo con la conductividad eléctrica es de 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que es equivalente a 0.23 dS/m y se encuentra dentro del rango de 0.21 – 0.40. Que se interpreta como nivel adecuado de sales. Estos niveles se presentan generalmente en suelos alcalinos y/o arcillosos. De acuerdo USDA citado por López (1991). La fuente principal de sales proviene de los minerales primarios constituyentes de los suelos y de las rocas expuestas de la corteza terrestre, a través de los procesos de meteorización química (hidrólisis, hidratación, solución oxidación y carbonatación), cuando cationes y aniones constituyentes de las sales son liberados en la solución del suelo.

7.2.3 Elementos disponibles

A. El Fósforo (P).

De acuerdo con Fassbender (1982). El contenido total de fósforo (P), es relativamente bajo. Éste elemento se encontró en promedio, 0.03 ppm (0.003%), en el suelo convencional. Sin embargo en el suelo orgánico se encontró en promedio, 2.7 ppm (0.27%). De acuerdo a éstos valores, presentados en el cuadro 10. Se puede apreciar que el suelo orgánico arroja un valor superior. La diferencia a favor del suelo manejado orgánicamente, está ligado al contenido de materia orgánica en el suelo y disminuye con la profundidad, debido a la menor cantidad de materia orgánica y fosfatos orgánicos, presentes en el estrato inferior. Esta disminución de valores de fósforo con la profundidad, se

verificó, en los estratos de 0.00 a 0.10, 0.10 a 0.20 y de 0.20 a 0.50 metros de profundidad, estratos del suelo en el cual se realizaron los análisis. Además la baja disponibilidad de fósforo, en la parcela convencional, podría estar asociado a la fijación de este elemento de acuerdo a la acidez que presenta el suelo convencional.

B. El Potasio (K).

La distribución del contenido de potasio (K), en los suelos, sigue un esquema geomorfológico, relacionado a la presencia de este elemento y la meteorización de feldespatos y micas en los materiales parentales. (Fassbender 1982). Este elemento se encontró con un valor adecuado en el primer estrato del suelo convencional y con valores que superaron el nivel adecuado en el suelo orgánico. Estos valores encontrados de este elemento en el suelo se deben a las condiciones del suelo, es decir que son suelos arcillosos formados por la meteorización de rocas ricas en minerales feldespáticos y micáceos. El potasio (K) intercambiable está en equilibrio con el contenido de la solución del suelo, cuando los vegetales absorben éste elemento o es lavado, es repuesto por la fracción cambiante.

C. El Calcio (Ca)

La mayor cantidad de calcio nativo en el suelo se encuentra asociado a feldespatos, piroxenos, anfíboles, micas y minerales arcillosos. De acuerdo con Fassbender (1982), El calcio predomina generalmente entre las bases cambiables en la cubierta iónica del complejo coloidal del suelo y el contenido depende del material parental y del grado de evolución de los suelos, a través de la meteorización y del lavado en el suelo. El calcio, se encontró en niveles altos, superando los valores adecuados según la interpretación agronómica, manteniéndose este nivel en los estratos inferiores, en el suelo convencional. Sin embargo, la muestra proveniente del suelo con manejo orgánico presentó valores superiores a los adecuados. Estos valores en promedio fueron: 13.4 y 8.32 meq/100 g.

D. El Magnesio (Mg).

De acuerdo con Fassbender (1982). Igual que el calcio y el potasio, el magnesio nativo se encuentra en el suelo asociado a determinados minerales primarios o secundarios, de manera especial el olivino, la biotita, los piroxenos y los anfíboles, éstos materiales, muestran contenidos altos en magnesio. En este estudio, las muestras de suelos provenientes de las parcelas orgánica y convencional presentaron valores altos de magnesio superiores a los adecuados. Siendo los valores promedios, 4.1 y 3.7 meq/100 g. en el suelo con manejo convencional y orgánico, respectivamente. Este nutriente, no se encontró en un nivel superior, en el suelo con manejo orgánico, como se esperaba.

E. Elementos menores: el Cobre (Cu), el Zinc (Zn), el manganeso (Mn) y el Hierro (Fe).

De acuerdo con Fassbender (1982), los elementos pesados: cobre, zinc, manganeso y hierro, presentan características muy diferentes entre los elementos, entre sí y entre las diferentes rocas del suelo y entre los minerales que los constituyen. Una gran parte de éstos elementos se presentan como óxidos e hidróxidos y su contenido es más alto en el horizonte húmico del suelo. Además se presentan en la solución del suelo como cationes y en complejos quelatados. Siendo de ésta manera absorbidos por las plantas. De acuerdo al mismo autor, el contenido de hierro y manganeso en los suelos, son relativamente altos en comparación del cobre y zinc. Situación que se manifestó en los

suelos analizados, los cuales superaron los valores adecuados de éstos microelementos (cobre y cinc). Las fracciones solubles y cambiables de cobre y cinc, son bastante pequeñas, se encuentran regularmente en forma de quelatos, estructuras químicas cíclicas, en las cuales un átomo metálico central, satisface las cargas electromagnéticas de un ligando orgánico, a través de uniones químicas de tipo covalente y iónico simultáneamente. Ésta situación del cobre y cinc, se manifestó en los suelos analizados, los cuales se encontraron en valores inferiores respecto al hierro y manganeso, pero en niveles adecuados. Cuadro (10). De acuerdo a este cuadro, los valores del cobre (Cu) y el hierro (Fe), que se presentaron en esta investigación, fueron inferiores en el suelo con manejo orgánico respecto a los valores del suelo con manejo convencional, sin embargo el nivel del hierro es mayor al adecuado. También es importante observar que el cinc y el manganeso, fueron superiores en el suelo con manejo orgánico, respecto a los valores encontrados en el suelo con manejo convencional.

7.2.4 Elementos intercambiables

Los elementos intercambiables o de reserva en el suelo, Calcio (Ca) y potasio (K). Se presentaron de forma superior en el suelo de manejo orgánico. Sin embargo el magnesio (Mg), no se presentó como se esperaba, ya que fue superior en el suelo de manejo convencional, pero dentro del rango adecuado, en el suelo orgánico. El sodio (Na), se presentó con mayor valor en el suelo convencional. Este elemento es un micronutriente necesario para pocas especies vegetales, ejemplo remolacha azucarera.

7.2.5 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

De acuerdo con Cordón (1991), los suelos del Centro Experimental Docente de Agronomía son originados de ceniza volcánica y de acuerdo al análisis mineralógico, predominan la halosita y caolinita. Coincidiendo con los valores de CIC, que pueden estar alrededor de 20 Meq/ 100 g. valores que se incrementan con la profundidad. Sin embargo el valor determinado en el análisis de la muestra proveniente de la parcela convencional fue de 21.7 en promedio y 22.5 en el análisis de la muestra proveniente de la parcela orgánica. Los promedios de CIC, de 21.7 y 22.5, con superioridad en el suelo de manejo orgánico, indica la superioridad en la actividad de intercambio entre el coloide y la fase acuosa, considerada también como reservas. Los cationes Ca^{++} y K^{+} , son superior en el coloide del suelo de manejo orgánico, superioridad por la presencia del coloide orgánico; El catión Mg^{++} , se encuentra en similares condiciones en ambos suelos. Sin embargo el catión Na^{+} presentó un valor superior en el coloide del suelo de manejo convencional, situación que afecta al suelo, por el efecto de dicho catión.

7.2.6 La saturación de bases

La saturación de bases, de acuerdo al análisis químico se encontró con valores superiores en el suelo de manejo orgánico. Esto indica la alta fertilidad natural del este suelo.

7.2.7 La materia orgánica.

En el suelo con manejo convencional se encontró un valor 2.5% de materia orgánica. Sin embargo en el suelo con manejo orgánico presentó un valor 4.3%. Valor promedio, en los estratos de 0 a 0.10 y de 0.10 a 0.20 m. Esta diferencia, a favor del suelo de manejo orgánico es acorde dicho manejo. De acuerdo con Cordón Sosa (1991), El problema que presentan los suelos del Centro

Experimental Docente de Agronomía, es el bajo contenido de materia orgánica, situación que se manifestó en el análisis de la muestra del suelo proveniente de la parcela convencional.

De acuerdo con la FAO (2003). Al comparar los parámetros, entre los suelos manejados con métodos convencionales y los que utilizan técnicas orgánicas. Los niveles de materia orgánica es, generalmente más alto en los suelos trabajados orgánicamente que en los suelos de explotación tradicional, que han sido fertilizados exclusivamente con minerales y mencionan que el alto contenido de materia orgánica contribuye además a evitar la acidificación del suelo y mejora la estructura y de esa manera reduce el riesgo de erosión.

Cuadro 11. Determinación del coeficiente de correlación entre la materia orgánica y la densidad aparente del suelo con manejo orgánico.

Estrato cm	X	Y	X ²	Y ²	XY
0.00 a 0.10	4.9400	1.0200	24.4036	1.0404	5.0388
0.10 a 0.20	4.8300	1.0900	23.3389	1.1881	5.2647
0.20 a 0.50	3.0300	1.1100	9.1809	1.2321	3.3633
Totales	12.8000	3.2200	56.9134	3.4606	13.6668

Referencia: X= Materia orgánica (%)

Y = Densidad gr/cm³

Coeficiente de correlación (r) = - 0.71

De acuerdo a los resultados presentados en el cuadro 11. Determinación del coeficiente de correlación entre la materia orgánica y la densidad aparente del suelo con manejo orgánico. Se observa la correlación entre la materia orgánica y la densidad de - 0.71. El signo negativo, indica que cuando la materia orgánica aumenta, la densidad aparente del suelo disminuye.

Cuadro 12. Determinación del coeficiente de correlación entre la materia orgánica y la porosidad del suelo con manejo orgánico.

Estrato cm	X	Y	X ²	Y ²	XY
0.00 a 0.10	4.94	62.00	24.40	3844.00	306.28
0.10 a 0.20	4.83	59.00	23.33	3481.00	284.97
0.20 a 0.50	3.03	58.00	9.18	3364.00	175.74
Totales	12.80	179.00	56.91	10689.00	766.99

Referencia: X= Materia orgánica (%)

Y = Porosidad (%)

Coeficiente de correlación (r) = 0.77

De acuerdo con el grado de asociación entre las variables materia orgánica y porosidad del suelo. Cuadros 12. Determinación del coeficiente de correlación entre la materia orgánica y la porosidad del suelo con manejo orgánico. El coeficiente de correlación indica que las variables están asociadas, el signo positivo del coeficiente, indica que cuando la materia orgánica aumenta, la porosidad también aumenta.

7.2.8 Nitrógeno total.

De acuerdo con Fassbender (1982), los suelos de climas templados deberían contener entre 0.02 y 4%, ya que las cantidades de nitrógeno están controladas por el clima y la vegetación, además de la actividad del hombre. Este elemento se encontró en niveles superiores en el suelo orgánico, con un valor de 0.21%, mientras que en el suelo convencional un valor de 0.16%.

7.3 VARIABLES BIOLÓGICAS

Las variables biológicas, obtenidas a través de las pruebas de campo y a través de mediciones realizadas en los dos ciclos del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*). Proporcionaron los siguientes resultados que se presentan a continuación.

7.3.1 Cuantificación de lombrices de tierra

Tal como se indicó en la metodología, la lombriz de tierra se cuantificó en cinco puntos, dentro de las parcelas netas de las áreas en estudio, tomando un volumen de 1 m³ de suelo y se obtuvo los resultados que se presentan a continuación

Cuadro 13. Cantidad de lombrices y ootecos encontrados, en cada metro cúbico de suelos Cambisoles con manejo convencional y orgánico.

ÉPOCA	MUESTREO	PARCELA CONVENCIONAL		PARCELA ORGÁNICA	
		No. De Lombrices	No. De Ootecos	No. De Lombrices	No. De Ootecos
SECA	1	16	2	17	4
	2	10	1	5	0
	3	0	0	3	0
	4	1	0	3	0
	5	1	0	8	0
	X	5.6	0.6	7.2	0.8
LLUVIOSA	1	2	0	3	0
	2	4	0	8	0
	3	6	0	3	0
	4	2	0	2	0
	5	2	0	2	0
	X	3.2	0	3.6	0

Fuente: Datos de campo

El cuadro 13. Cantidad de lombrices y ootecos encontrados, en cada metro cúbico de suelos Cambisoles, con manejo convencional y orgánico. Muestra, un valor de lombrices y ootecos de 7.2

y 0.8 en el suelo orgánico y 5.6 y 0.6 en el suelo convencional, en la época seca y 3.6 lombrices y 0 ootecos en el suelo orgánico y 3.2 y 0 ootecos en el suelo convencional, en la época lluviosa. De acuerdo a estos resultados, se puede apreciar la superioridad numérica, correspondiente al suelo con manejo orgánico, en ambas épocas en que se realizó la prueba. También se observa que en la época lluviosa, la cantidad de lombrices de tierra fue menor, mientras que los ootecos no se encontraron en los suelos en estudio. Esta reducción en el número de lombrices que se observa en la época lluviosa, se debió a la mayor concentración de agua en los dos tipos de suelo.

De acuerdo con USDA (1999) y Restrepo (2002). Las lombrices a través de sus acciones mecánicas y químico-biológicas, favorecieron la formación y la fertilidad del suelo. Creando galerías, realizando la trituración y digestión de la materia orgánica y mejorando la infiltración del agua, la estructura y la porosidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes a través de la humificación y mineralización.

De acuerdo con la FAO (2003). Las lombrices son bioindicadores muy apropiados para medir la fertilidad del suelo y se les conoce por su sensibilidad a los plaguicidas sintéticos y a muchas prácticas agrícolas. Como consecuencia de su biología, las poblaciones de lombrices pueden indicar la situación estructural, microclimática, nutritiva y tóxica de los suelos. En la agricultura convencional, las lombrices se ven afectadas por la utilización de plaguicidas y por el laboreo intensivo del suelo. Por lo que se presentan en menores cantidades e incluso, pueden llegar a desaparecer. En general, las lombrices pueden acelerar los ciclos de los nutrientes. Sus deposiciones mejoran la estructura del suelo y poseen una concentración elevada de nutrientes accesibles para las plantas. La excavación que realizan las lombrices, aumenta la aireación, la porosidad y el drenaje del suelo, todos estos factores importantes en el desarrollo de un sistema radicular sano, en los vegetales.

Para visualizar mejor, la diferencia que se presentó, en el número de lombrices de tierra, se presenta la siguiente gráfica de barras.

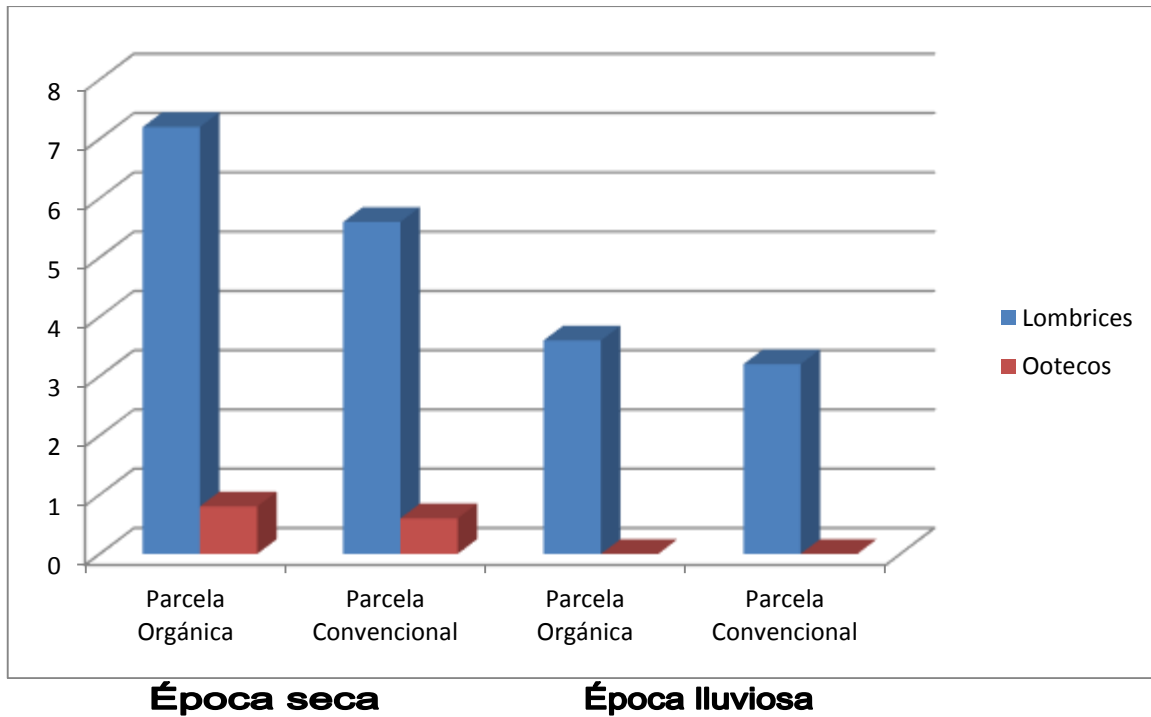


Figura 6. Lombrices y ootecos en suelos con manejo orgánico y convencional en época seca y lluviosa

De acuerdo a la figura 6. Comportamiento de lombrices y ootecos en suelo con manejo orgánico versus suelo de manejo convencional en época seca y lluviosa. Se puede apreciar la diferencia en el número de lombrices de tierra y ootecos, en el suelo de manejo orgánico y convencional y la diferencia que existió en la cuantificación realizada en la época seca y lluviosa.

De acuerdo con la FAO (2003). Una intensa actividad biológica estimula el metabolismo entre el suelo y la flora y debe ser el centro de interés de la producción sostenible y del manejo de la fertilización. También menciona que los suelos cultivados orgánicamente muestran una actividad biológica (lombrices, hongos, bacterias, microorganismos) mucho mayor que los labrados en forma tradicional y con esto, los nutrientes se transforman rápidamente y con ello se mejora la estructura del suelo.

7.3.2 Altura, diámetro basal y biomasa del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*)

El desarrollo alcanzado, en las plantas de Girasol del primer ciclo, se obtuvo a través de las mediciones de altura de plantas, diámetro de tallos y materia seca y se obtuvo los resultados que se presentan a continuación.

Cuadro 14. Altura, diámetro y materia seca de plantas del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus* L.), durante el primer ciclo, época seca

PLANTAS	PARCELA CONVENCIONAL			PARCELA ORGÁNICA		
	Altura del girasol a 27 DDG (cm)	Diámetro de tallos a 15 cm de altura a 51 DDG (cm)	Materia seca de plantas de girasol al inicio de la floración (gr)	Altura del girasol a 27 DDG (cm)	Diámetro de tallos a 15 cm de altura a 51 DDG (cm)	Materia seca de plantas de girasol al inicio de la floración (gr)
1	15	1.8	8.7	19	3.0	182.3
2	17	2.2	38.8	17	2.5	105.4
3	22	2.1	60.6	20	2.2	115.0
4	20	1.8	28.4	17	2.4	131.6
5	20	1.9	27.6	10	0.4	13.1
6	18	2.0	67.0	19	2.5	141.2
7	15	1.9	27.6	19	2.0	132.0
8	17	1.5	98.4	19	2.5	134.9
9	16	1.5	24.9	16	1.8	97.9
10	16	1.5	71.9	16	2.0	113.5
11	16	1.3		20	2.0	
12	17	1.5		25	2.5	
13	20	2.0		25	3.0	
14	23	2.0		20	2.5	
15	19	1.7		23	2.6	
16	18	1.2		15	1.5	
17	12	1.2		24	3.2	
18	12	1.2		20	2.0	
19	13	0.5		25	3.1	
20	10	0.5		23	2.5	
21	13	0.5		18	2.4	
22	23	2.0		22	2.2	
23	25	2.0		30	2.7	
24	23	1.5		30	2.5	
25	19	1.6		21	3.5	
X	17.6	1.6	45.4	20.5	2.4	116.7

Fuente: Datos de campo

Referencia:

DDG = Días de la germinación

De acuerdo a los resultados presentados en el cuadro 14. Altura, diámetro y materia seca de plantas del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus* L.), durante el primer ciclo, época seca. El suelo con manejo orgánico, presentó plantas de mayor altura, diámetro y materia seca, respecto a las plantas establecidas en el suelo de manejo convencional. Siendo éstos valores: 20.5 y 2.4 cm y 116.7 gr; 17.6 y 1.6 cm y 45.4 gr. Respectivamente.

Para una mejor observación de la diferencia que se presentó, en la altura, diámetro basal y biomasa del cultivo de Girasol, en el suelo orgánico y convencional, durante el primer ciclo del cultivo, se presenta la siguiente figura.

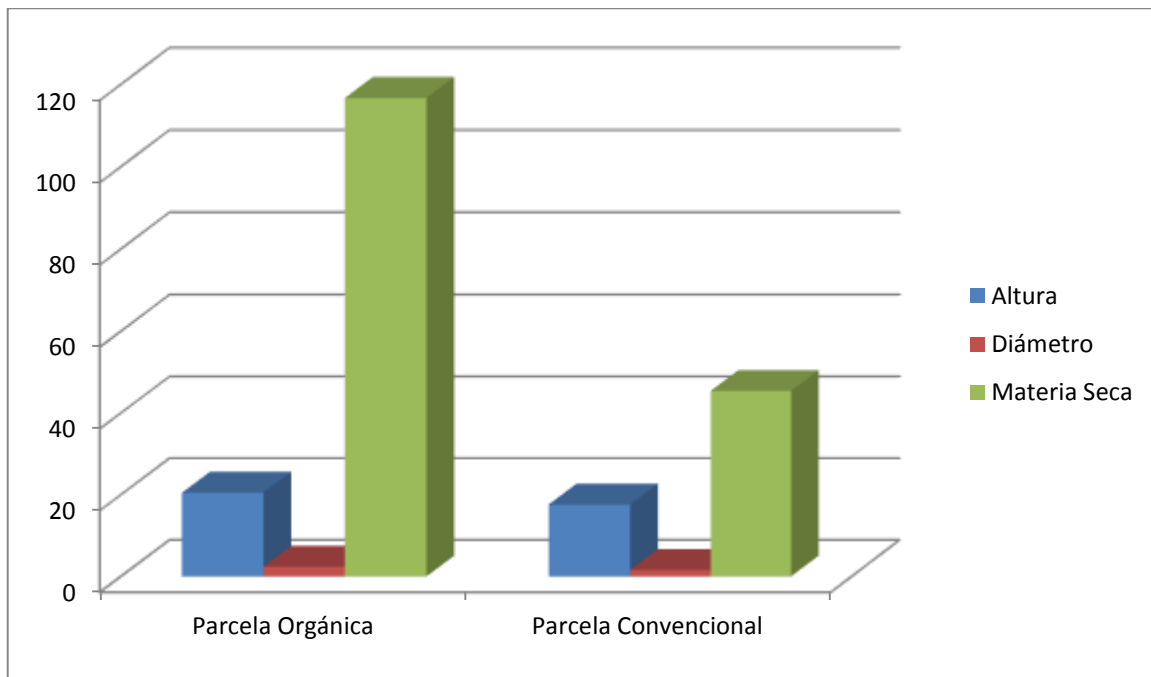


Figura 7. Altura, diámetro y materia seca del Girasol (*Helianthus annuus L.*). Durante el primer ciclo de cultivo, época seca.

De acuerdo a la figura 7. Altura, diámetro y materia seca del Girasol (*Helianthus annuus L.*). Durante el primer ciclo de cultivo, época seca. La altura de las plantas de girasol, el diámetro basal de los tallos y la materia seca, se aprecia de forma mayor en plantas provenientes de la parcela de manejo orgánico del suelo, comparado con lo que se aprecia en plantas provenientes de la parcela convencional. Este mayor desarrollo encontrado en el cultivo, es debido a la restauración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo manejado orgánicamente.

Cuadro 15. Altura y diámetro de tallos del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*), durante el segundo ciclo, época lluviosa

PLANTAS	PARCELA CONVENCIONAL		PARCELA ORGÁNICA	
	Altura del girasol (cm), a 40 DDG	Diámetro de tallos de girasol (cm), a 15 cm de altura a 40 DDG	Altura del girasol (cm) a 40 DDG	Diámetro de tallos de girasol (cm), a 15 cm de altura a 40 DDG
1	20	0.5	60	2.0
2	40	0.6	75	2.5
3	40	0.9	68	1.5
4	38	0.6	47	1.0
5	30	0.4	80	1.8
6	30	0.6	50	1.5
7	40	0.5	48	1.0
8	28	0.4	18	0.5
9	38	0.7	45	1.0
10	40	0.9	40	1.0
11	34	0.8	50	1.5
12	30	0.5	40	1.0
13	28	1.0	50	1.0
14	40	0.8	42	1.0
15	25	0.9	43	1.0
16	35	0.6	40	0.5
17	15	0.4	40	1.0
18	15	0.4	30	0.7
19	40	0.8	50	1.8
20	25	0.7	25	0.6
21	25	0.9	25	0.5
X	31.2	0.7	42.1	1.2

Fuente: Datos de campo

Referencias:

DDG= Días de la germinación

De acuerdo al cuadro 15. Altura y diámetro de tallos del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*), durante el segundo ciclo, época lluviosa. El desarrollo del cultivo de girasol, de acuerdo a la altura de las plantas y al diámetro de los tallos, en el segundo ciclo del cultivo en época lluviosa. Los valores encontrados fueron superiores en plantas provenientes de la parcela de manejo orgánico del suelo, respecto a los valores encontrados en las plantas provenientes del suelo de manejo convencional. Siendo éstos: 42.1, 1.2 y 31.2, 0.7 Respectivamente. Esto como respuesta a las mejores condiciones físicas, químicas y biológicas, del suelo manejado de forma orgánica.

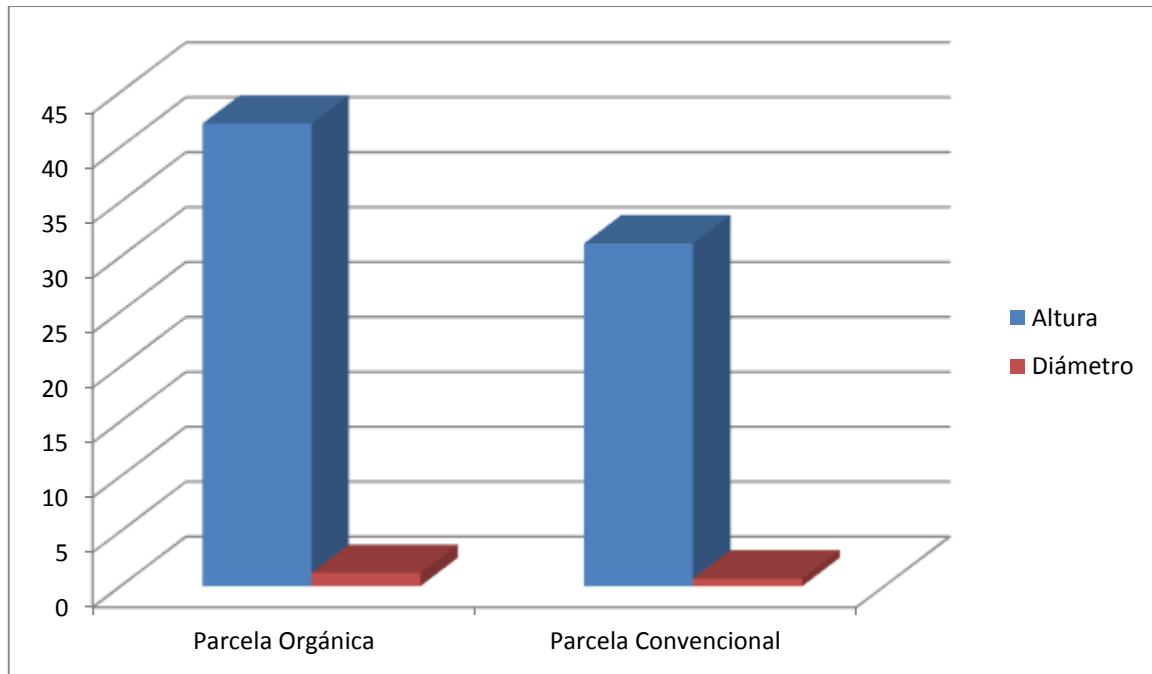


Figura 8. Altura y diámetro de tallos del Girasol (*Helianthus annuus* L.). Durante el segundo ciclo de cultivo, época lluviosa.

De acuerdo a la observación que se puede hacer en la figura 8. Altura y diámetro de tallos del Girasol (*Helianthus annuus* L.). Durante el segundo ciclo de cultivo, época lluviosa. La mayor altura de las barras, corresponden a la parcela orgánica e indican la mayor altura de las plantas de girasol y el mayor diámetro de los tallos. Como consecuencia el mejor desarrollo del cultivo de Girasol, en el suelo con manejo orgánico. Además el mayor desarrollo del cultivo, coincide con: la mejor infiltración del agua, mayor retención de humedad, menor densidad, mayor porosidad, mejor fertilidad, pH 7.0, mejor fertilidad general, mayor contenido de materia orgánica y mayor contenido de lombrices de tierra.

De acuerdo a la FAO (2003). En una investigación en la que se evalúa el rendimiento de frutos y biomasa vegetativa. Se encontró que en el segundo y el tercer año, el rendimiento de fruta fresca en el sistema orgánico fue un 29 y 11.3 %. Más alto que el del sistema no orgánico. La biomasa vegetativa del segundo año fue 12.3 %, inferior en el sistema orgánico con respecto al sistema no orgánico, pero en el tercer año fue un 17.7 por ciento más alto. Coincidiendo con los valores mayores encontrados en el desarrollo del Girasol, en suelos con manejo orgánico y convencional de la presente investigación.

7.3.3 Valor de importancia de arvenses

Debido a la condición vegetativa de la población arvense, el valor de importancia, se determinó en la estación lluviosa, utilizando el Área Mínima, densidad real, fitomasa real y frecuencia real, densidad relativa, fitomasa relativa y frecuencia relativa y se obtuvo los resultados siguientes.

Cuadro 16. Valores de densidad y fitomasa de arvenses, en tres muestreos, en parcela con manejo convencional

No.	Nmbre científico	Densi	Fitom	Dens	Fitom	Dens	Fitom
1	<i>Dyssodia decipiens</i>	42	60	31	40	315	112
2	<i>Argemone mexicana</i>	2	6	7	20	10	11
3	<i>Sonchus oleraceus</i>	1	3	1	1		
4	<i>Eleusine indica</i>	22	15			6	8
5	<i>Commelina diffusa</i>	3	2	5	2	21	4
6	<i>Tithonia rotundifolia</i>	1	1	1	5	3	5
7	<i>Cynodon plechtostachyus</i>	12	1	90	98	120	112
8	<i>Cenchrus echinathus</i>	3	2				
9	<i>Euphorbia heterophilla</i>	1	9	3	6	4	2
10	<i>Echinochloa colonum</i>	1	2				
11	<i>Panicum trichoides</i>	360	224			70	84
12	<i>Melampodium pefolatum</i>	1	1	2	3		
13	<i>Setaria geniculata</i>			4	10	23	40
14	<i>Sida acuta</i>			5	7		
15	<i>Galinsoga urticaefolia</i>					1	1
16	<i>Bidens pilosa</i>					11	4
17	<i>Amaranthus sp.</i>					3	8
18	<i>Trisetum sp.</i>					3	2
19	<i>Portulaca oleracea</i>					13	8
20	<i>Cyperus rotundus</i>					1	2
21	<i>Eupatorium odoratum</i>					2	2
22	<i>Anoda sp.</i>					2	1
23	<i>Commelina sp</i>					1	1

Fuente: Datos de campo

El cuadro 16. Valores de densidad y fitomasa de arvenses, en tres muestreos, en parcela con manejo convencional. Presenta 23 especies de arvenses. En los tres muestreos realizados de acuerdo a la fórmula de Varianza de Subconjuntos. La densidad y la fitomasa en cada muestreo, proporcionó la frecuencia.

Cuadro 17. Valores de densidad y fitomasa de arvenses, en tres muestreos, en parcela con manejo orgánico

No.	Nombre científico	Densi	Fitom	Dens	Fitom	Dens	Fitom
1	<i>Dyssodia decipiens</i>					1	4
2	<i>Eleusine indica</i>			1	1		
3	<i>Commelina difusa</i>	4	3	80	56	11	5
4	<i>Cynodon plechtostachyus</i>	480	300	185	246	65	84
5	<i>Euphorbia heterophilla.</i>	1	10			3	5
6	<i>Tithonia rotundifolia</i>	49	84	22	168	11	3
7	<i>Galinsoga urticaefolia</i>	1	2	25	20		
8	<i>Bidens pilosa</i>					3	30
9	<i>Amaranthus sp.</i>			11	1	3	1
10	<i>Trisetum sp.</i>			120	50	16	4
11	<i>Portulaca oleracea</i>			8	1		
12	<i>Cyperus rotundus</i>			5	1	2	1

Fuente: Datos de campo

El cuadro 17. Valores de densidad y fitomasa de arvenses, en tres muestreos, en parcela con manejo orgánico. Presenta 11 especies. La determinación de los valores de importancia, se presentan a continuación en el siguiente cuadro.

Cuadro 18. Valores de importancia de la vegetación arvense, en suelos Cambisoles, con manejo convencional y orgánico

Parcela Convencional								Parcela Orgánica							
Sp	DR	FIR	FR	DREL	FIREL	FREL	VI	Sp	DR	FIR	FR	DREL	FIREL	FREL	VI
1	129.3	70.7	1.0	32.1	23.1	7.6	62.8	1	0.3	1.3	0.3	0.2	0.4	3.9	4.5
2	6.3	12.3	1.0	1.6	4.0	7.6	13.2	2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	3.9	4.2
3	0.7	1.3	0.7	0.2	0.4	5.3	5.9	3	31.7	21.3	1.0	21.1	5.9	13.0	40.0
4	9.3	7.7	0.7	2.3	2.5	5.3	10.1	4	24.3	210.0	1.0	16.2	58.3	13.0	87.5
5	9.7	2.7	1.0	2.4	0.9	7.6	10.9	5	1.3	5.0	0.7	0.9	1.4	9.1	11.4
6	1.7	3.7	1.0	0.4	1.2	7.6	9.2	6	27.3	85.0	1.0	18.2	23.6	13.0	54.8
7	74.0	70.3	1.0	18.4	22.9	7.6	48.9	7	8.7	7.3	0.7	5.8	2.0	9.1	16.9
8	1.0	0.7	0.3	0.2	0.2	2.3	2.7	8	1.0	10.0	0.3	0.7	2.8	3.9	7.4
9	2.7	5.7	1.0	0.7	1.8	7.6	10.1	9	4.7	0.7	0.7	3.1	0.2	9.1	12.4
10	0.3	0.7	0.3	0.1	0.2	2.3	2.6	10	45.3	18.0	0.7	30.2	5.0	9.1	44.3
11	143.3	102.7	0.7	35.6	0.3	5.3	41.2	11	2.7	0.3	0.3	1.8	0.1	3.9	58.0
12	1.0	1.3	0.7	0.2	0.4	5.3	5.9	12	2.3	0.7	0.7	1.5	0.2	9.1	10.8
13	9.0	16.7	0.7	2.2	5.4	5.3	12.9								
14	1.7	2.3	0.3	0.4	0.8	2.3	3.5								
15	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	2.3	2.5								
16	3.7	1.3	0.3	0.9	0.4	2.3	3.6								
17	1.0	2.7	0.3	0.2	0.9	2.3	3.4								
18	1.0	0.7	0.3	0.2	0.2	2.3	2.7								
19	4.3	2.7	0.3	1.1	8.8	2.3	12.2								
20	0.3	0.7	0.3	0.1	0.2	2.3	2.6								
21	0.7	0.7	0.3	0.2	0.2	2.3	2.7								
22	0.7	0.3	0.3	0.2	0.1	2.3	2.6								
23	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	2.3	2.5								
	402.3	306.5	13.1						149.9	359.9	7.7				

Fuente: Datos de campo

Sp = especie

DR= Densidad real

FIR= Fitomasa real

FR= Frecuencia real

DREL=Densidad relativa

FIREL= Fitomasa relativa

FREL = Frecuencia relativa

VI= Valor de importancia

Según el cuadro 18. Valores de importancia de la vegetación arvense, en suelos Cambisoles con manejo convencional y orgánico. Los mayores valores de importancia corresponden a arvenses procedentes de la parcela orgánica y pertenecen a las siguientes especies: tithonia (*Tithonia rotundifolia*), familia Asteraceae, (54.8); verdolaga, (*Portulaca oleracea*), familia Portulacaceae, (58.0); pangola, (*Cynodon plechtostachyus*), familia Poaceae, 87.5. Es importante la relación de la vegetación arvense con el cultivo, las prácticas agrícolas y el ambiente. Relación que encierra cambios en la comunidad de la vegetación arvense en el agrosistema, como en este caso, en donde se puede observar la predominancia de las arvenses de hoja ancha respecto a las de hoja angosta, en el suelo de manejo orgánico.

De acuerdo con Mateucci Y Colma. (1982). La composición y el patrón espacial de las comunidades vegetales, sirve de índices o indicadores de los efectos del manejo, situación que coincide con los mayores valores de importancia encontrados en el suelo manejado orgánicamente. Además, el área mínima de la comunidad se relaciona simultáneamente con la homogeneidad florística y espacial, de tal manera que para cada comunidad existe una superficie por debajo de la

cual ella no puede expresarse como tal. Las variables describieron el comportamiento, el rendimiento, la abundancia o dominancia de las categorías vegetales en la comunidad.

En la presente investigación se encontró un mayor número de arvenses en el suelo con manejo convencional, respecto al número de arvenses encontradas en el suelo con manejo orgánico. Situación que no fue la esperada en relación a la biodiversidad.

De acuerdo a la FAO (2003). En una investigación evaluando el rendimiento de frutos y biomasa vegetativa, por tres años, en suelo de manejo orgánico y convencional. Se determinó que la biomasa de malezas fue similar en ambos sistemas durante los dos años.

8. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos propuestos, sobre la comparación y determinación del efecto del manejo del suelo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas. Así como las hipótesis planteadas sobre el mejoramiento o modificación positiva de las propiedades. Se pudo comprobar que la infiltración básica del agua, fue mayor en el suelo con manejo orgánico, superando a la infiltración en el suelo con manejo convencional. Los cuales presentaron valores de infiltración promedios de 0.38 y 3.16 cm/h, en la parcela convencional y orgánica, respectivamente. La mayor infiltración del agua en el suelo con manejo orgánico, favoreció el drenaje interno, evitó la escorrentía superficial y redujo la erosión, favoreciendo el balance de agua y aire en el suelo. También esta mayor infiltración del agua en el suelo de manejo orgánico, es una característica que se atribuye al sistema de manejo y a la mayor concentración de materia orgánica en éste tipo de suelo. Lo cual también se pudo comprobar con una diferencia de 2.78 cm/h. a favor del suelo de manejo orgánico.

Según la comparación realizada, se determinó y comprobó que el suelo con manejo orgánico tiene la capacidad de almacenar una mayor cantidad de agua. Esto indica que un cultivo puede mantenerse por más tiempo en un suelo manejado de manera orgánica, sin llegar al punto de marchitez permanente. Los porcentajes promedio de agua determinados en el suelo con manejo orgánico y convencional, fueron: 29.38 y 28.46, respectivamente. La mayor cantidad de agua en el suelo con manejo orgánico se debe al beneficio que otorga la materia orgánica en la retención de agua. A la profundidad de 0.2 a 0.5 metros, el suelo de manejo convencional presentó una mayor concentración de agua respecto al suelo de manejo orgánico. Ésta mayor concentración de agua se debe a la menor concentración de materia orgánica, menor infiltración del agua, mayor compactación del suelo y presencia de texturas finas.

En la comparación, el suelo de manejo orgánico presentó una menor densidad y mayor porcentaje de porosidad, respecto al suelo de manejo convencional. Siendo éstos valores 1.07 gr/cm, 59.67%; 1.25 gr/cm, 52.67%. La menor densidad y mayor porosidad del suelo con manejo orgánico se debe al mayor contenido de materia orgánica. De acuerdo a la prueba estadística, practicada a la densidad del suelo con manejo orgánico y convencional. De acuerdo al cuadro 7, se presentaron diferencias significativas en la densidad, en el suelo de manejo orgánico y convencional. De acuerdo al cuadro 8, no se presentaron diferencias significativas, al 5% de significancia en los estratos de profundidad de 0.00 a 0.10, 0.10 a 0.20 y 0.20 a 0.50 m, en ambos tipos de suelos.

De acuerdo al nivel de degradación o sea la pérdida de la capacidad productiva del suelo, la mejora en la restauración de las funciones originales, se obtiene mediante la implementación de un Sistema Orgánico de producción, o prácticas ecológicas de cultivo, el cual afecta positivamente las propiedades químicas, como: el pH, concentración de sales, nutrientes disponibles e intercambiables: fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), cobre (Cu), cinc (Zn) y hierro (Fe). Capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases, materia orgánica y nitrógeno total del suelo. En ésta investigación, el pH, se modificó con una tendencia a la neutralidad, siendo el promedio de pH observado en los tres estratos de profundidad, 6.9 en el suelo manejado orgánicamente y 6.6 en el suelo de manejo convencional utilizado como comparador; la conductividad eléctrica de 0.23 dS/m, se interpretó como una adecuada concentración de sales. Mientras que en el suelo de manejo convencional el valor en la conductividad eléctrica se interpretó como bajo contenido de sales; de los elementos disponibles: fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, cobre cinc y hierro. Solamente el magnesio, manganeso, cobre y el hierro se presentaron con un menor valor en el suelo de manejo orgánico, respecto al suelo de manejo convencional. Pero de estos elementos, con niveles inferiores en el suelo

de manejo orgánico, el magnesio, manganeso y hierro, se presentaron de forma superior al nivel adecuado y solamente el cobre, presentado con un nivel inferior en el suelo de manejo orgánico, también se encontró en un nivel inferior al adecuado; de los elementos intercambiables: calcio, magnesio, sodio y potasio. El magnesio se presentó en un nivel inferior en el suelo de manejo convencional. Sin embargo el sodio (Na), se presentó en un nivel inferior en el suelo de manejo orgánico, como se esperaba; La capacidad de intercambio catiónico, se presentó con un nivel superior en el suelo con manejo orgánico, manifestando de esta manera la contribución del coloide orgánico; a través de la saturación de bases, se determinó la fertilidad natural de ambos suelos, con un nivel superior en el suelo de manejo orgánico; el porcentaje de materia orgánica se presentó con mayor valor en el suelo con manejo orgánico, situación que contribuyó positivamente con otras propiedades como la fertilidad principalmente en la actividad de intercambio del coloide orgánico, así como sinergismos entre los diferentes factores. El nitrógeno total (N), también fue superior en el suelo de manejo orgánico. Además se determinó que existe una correlación entre las variables materia orgánica y densidad y porosidad del suelo, el cual presentó coeficientes de correlación $r = -0.71$ y 0.77 , respectivamente.

En la determinación de lombrices de tierra y ootecos, se cuantificó 7.2 y 0.8, en el suelo de manejo orgánico y 5.6 y 0.6. Respectivamente. En el suelo de manejo convencional. En la época seca. Mientras que en la época lluviosa el número de éstos organismos descendió. Pero siempre se mantuvo un nivel superior en el suelo de manejo orgánico. Este organismo contribuyó con las propiedades físicas, química, por ejemplo en la infiltración del agua, la porosidad y la fertilidad del suelo.

En la determinación de las variables del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*). Durante el primero y segundo ciclo del cultivo, la altura de plantas y diámetro basal de tallos se presentaron con valores superiores en las plantas provenientes de la parcela con manejo orgánico. Respecto a los valores que proporcionaron en éstas variables, las plantas de la parcela convencional. La materia seca de éste cultivo determinada, en el primer ciclo, también fue superior en las plantas de la parcela con manejo orgánico.

A través del estudio de la vegetación arvense, en el suelo con manejo convencional y orgánico, determinado en la época lluviosa. Se determinó que los mayores valores de importancia corresponden a arvenses procedentes de la parcela orgánica y pertenecen a las siguientes especies: tithonia (*Tithonia rotundifolia*), familia Asteraceae, (54.8); verdolaga, (*Portulaca oleracea*), familia Portulacaceae, (58.0); pangola, (*Cynodon plechtostachyus*), familia Poaceae, 87.5. Además se manifestó la predominancia de malezas de hoja ancha, en la parcela orgánica. Sin embargo, no se presentó, una mayor diversidad de malezas en la parcela orgánica, ya que las especies encontradas fueron 11, en comparación a las 23 encontradas en la parcela convencional.

De acuerdo con Mateucci Y Colma. (1982). la composición y el patrón espacial de las comunidades vegetales, sirve de índices o indicadores de los efectos del manejo, situación que coincidió con los mayores valores de importancia encontrados en el suelo manejado orgánicamente.

De acuerdo a la FAO (2003). El objetivo de la agricultura orgánica es conservar y mejorar la fertilidad, relacionado con el contenido de materia orgánica, la actividad biológica y minimizar la erosión. El contenido de materia orgánica es importante para el medio ambiente por su capacidad de limitar el daño físico y de mejorar la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica. Los suelos con alta diversidad funcional de microorganismos, muy frecuentes tras décadas de agricultura orgánica desarrollan propiedades que suprimen las enfermedades y permiten crear resistencia en las

plantas. Situación que se observó, en la comparación del cultivo de Girasol (*Helianthus annuus L.*), de ambos tipos de suelo. Además, en la comparación de los resultados de las propiedades físicas, químicas y biológicas, se determinó y comprobó, la modificación positiva o el efecto del manejo orgánico en el suelo.

9. RECOMENDACIONES

Para mejorar las propiedades físicas del suelo, tales como: la infiltración del agua, la retención de la humedad, minimizar la densidad e incrementar el espacio poroso. Se deben aplicar medidas que favorezcan el drenaje interno, minimicen la escorrentía superficial, minimicen la erosión hídrica y que favorezca el balance de agua y aire en el suelo. A través de la implementación de prácticas ecológicas de cultivo.

Para mejorar las propiedades químicas del suelo, tales como: el pH, la concentración de sales, la fertilidad general, la capacidad de intercambio catiónico, la saturación de bases y el contenido de materia orgánica. Se deben implementar, prácticas ecológicas de cultivo. Siendo el reciclaje de nutrientes la base de la fertilidad del suelo, a través de la mineralización de la materia.

Para mejorar la microbiología del suelo, incrementar el número de organismos como la lombriz de tierra, transformar el tipo de vegetación arvense y alcanzar un mayor desarrollo de los cultivos. Se deben de implementar prácticas ecológicas de cultivo.

Para no alterar las condiciones del suelo y no dañar los productos y servicios del ecosistema. Se debe de evitar el monocultivo comercial, la intensificación de cultivos y la contaminación. Debido a que estas prácticas contribuyen con la degradación de los suelos y las aguas y también a la extinción de algunas especies. Se deben de implementar prácticas ecológicas de cultivo, que incrementan el contenido de materia orgánica en el suelo. Las prácticas agroecológicas impiden que se degraden los recursos naturales y se pierdan los suelos y su potencial productivo. También este sistema, restaura el equilibrio ecológico natural, debido a que las funciones del ecosistema son su principal insumo productivo. El manejo del suelo, se debe realizar a través de un conocimiento holístico del medio, para recuperar sistemas degradados y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos productivos y a la vez, lograr la inocuidad de los alimentos que se producen.

La aplicación de principios ecológicos es importante para el desarrollo de agroecosistemas sostenibles, basado en el uso de recursos en beneficio del medio ambiente, del agricultor y del consumidor. Mejorando el suelo, diversificando la producción, modificando las condiciones climáticas que favorecen el desarrollo de plagas y enfermedades, regenerando y conservando los recursos naturales.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Altieri, MA. 1993. El rol ecológico de la biodiversidad en agroecosistemas. *Agroecología y Desarrollo* 4:2-11.
2. Aponte, A *et al.* 1994. Efecto de las enfermedades sobre el rendimiento de 8 híbridos de girasol durante la época seca y lluviosa en Maracay, Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 7(1):8-13.
3. Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, Centro de Investigaciones Agroquímicas. 157 p.
4. Bornemisza, L. 1982. Introducción a la química de suelos. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía / OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 73 p.
5. Chapman, HD; Pranttp, F. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. México, Trillas. 195 p.
6. Cordón Sosa, EN. 1991. Levantamiento detallado de suelos del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Recursos Naturales Renovables. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 138 p.
7. Días-Romeu, A. 1978. Metodologías de muestro de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones de invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p.
8. FAO, IT. 2001. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso en la agricultura sostenible y desarrollo rural. Boletín de Tierras y Agua de la FAO no. 5. 198 p.
9. FAO, IT. 2003. Agricultura orgánica y seguridad alimentaria. Ed. por Nadia El-Hage Scialabba y Caroline Hattam. Roma, Italia. 280 p. (Colección FAO Ambiente y Recursos Naturales no. 4).
10. Fassbender, H. 1982. Química de suelos, con énfasis en suelos de América latina. San José, Costa Rica, IICA. p. 23.
11. Frioni, L. 1999. Procesos microbianos (en línea). Argentina, Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Consultado 5 ene 2007. Disponible en: www.fagro.edu.uy/~microbiologia/docs/Procesos%20Microbianos.pdf
12. Gavande, S. 1982. Física de suelos: principios y aplicaciones. México, Limusa. 351 p.
13. López, FR. 1991. La degradación y pérdida de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 94 p.
14. López, R. 2000. Determinación del valor de importancia de las malezas. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 6p.

15. Magdoff, F. 1996. Calidad y manejo del suelo. *Agroecología y Desarrollo* no. 10:25-33.
16. Martin, A. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. 2 ed. México, AGT Editor. 491 p.
17. Mateucci, S; Colma, A. 1982. Metodologías para el estudio de la vegetación. Washington DF, US, OEA. 168 p. (Colección Biología, Monografía no. 22).
18. Restrepo, J. 2002. El suelo la vida y los abonos orgánicos. Mangua, Nicaragua, SIMAS. 84 p. (Colección Mejores Prácticas).
19. Rivas, J *et al.* 2004. Efecto de sistemas de preparación de suelos sobre algunas propiedades físicas del suelo y biométricas en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Llanos Altos de Monagas (en línea). Maturin, Monagas, Venezuela, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Revista UDO Agrícola 4(1):36-41. Consultado 12 ago 2010. Disponible en <http://www.bioline.org.br/pdf?cg04005>
20. Ruiz E, FH *et al.* 2007. Efecto de los sistemas de manejo en el estado físico de un suelo arenoso (Yermosol Háplico) de una zona árida de Baja California sur, México (en línea). La Habana, Cuba, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias (RCTA) 16(1):74-76. Consultado 12 ago 2010. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/932/93216118.pdf>
21. Tobias V, HA. 1997. Guía para la descripción de suelos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 71 p.
22. Tocagni, H. 1980. El girasol. Buenos Aires, Argentina, Albatros. 91 p.
23. Toniutti, MA. 1999. Evaluación de la masa microbiana en el proceso de recuperación de suelos. Revista FAVE 13(2):5-11. Esperanza, Santa Fe, Argentina. Consultado 15 dic 2006. Disponible en: www.fca.unl.edu.ar/Revista/13-2-1999-1.PDF
24. USDA, US. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Trad. M. Rosales. US, USDA, Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales / Instituto de Calidad del Suelo. 82 p.
25. Wade, M; Romero, N De. 1995. Guía práctica para la interpretación de análisis de suelos. Guatemala, AGRILAB, Laboratorio Agrícola. 24 p.

11. ANEXO

Cuadro 19A. Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración en estación seca, en el suelo de manejo orgánico

Tiempo	Interv. de tiempo (min.)	Tiempo acum. (min.)	Lec. (cm)	Dif. lec.	Infilt. en Cent./h.	Log. Infilt	Log tiempo acum.	Σ log. de infilt.	Σ Log. tiempo acum..
3:55			12.5	0.7	42	1.62	0		
3:56	1	1	11.8	2.5	50	1.70	0.60		
3:59	3	4	9.3	0.9	10.8	1.03	0.95		
4:04	5	9	8.4	1.1	8.25	0.92	1.23	5.27	2.78
4:12	8	17	7.3	0.9	4.5	0.65	1.46		
4:24	12	29	6.4	1.2	4.8	0.68	1.64		
4:39	15	44	5.2	0.4	1.3	0.11	1.79		
4:57	18	62	4.8	0.2	0.4	-0.4	1.96	1.04	5.39

Fuente: Datos de campo

Interv.= intervalo

Min.= minuto

Acum. = acumulado

Lec. = lectura

cm. = centímetro

Dif. = diferencia

h = hora

Infilt. = infiltración

Log. = logaritmo

Σ = sumatoria

$$I = KT^n$$

$$\log I = \log K + n \log T$$

$$5.27 = 4 \log K + n(2.78)$$

$$1.04 = 4 \log K + n(5.39) \quad \times -1$$

$$4.23 = -n2.61$$

$$n = -1.62$$

Sustituyendo

$$5.27 = 4 \log K + (-1.62)(2.78)$$

$$2.44 = \log K \quad \text{antilog.}$$

$$K = 277.01$$

$$I = 277.01 T^{-1.62}$$

$$I_b = 277.01 (-600 \times -1.62)^{-1.62}$$

$$I_b = 3.96 \text{ cm/h}$$

Cuadro 20A. Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración en estación seca, en el suelo de manejo convencional

Tiempo	Interv. de tiempo (min.)	Tiempo acum. (min.)	Lec. (cm)	Dif. lec.	Infilt. en Cent./h.	Log. Infilt	Log tiempo acum.	Σ log. de infilt	Σ Log. tiempo acum..
3:00			45.2						
3:01	1	1	34.8	10.4	624	2.80	0		
3:04	3	4	24.5	10.3	618	2.79	0.60		
3:09	5	9	14.7	9.8	117.6	2.07	0.95		
3:15	6	15	7.7	7.7	70	1.84	1.18	9.5	2.73
3:20	5		49.1						
3:35	15	30	39.5	9.6	38.4	1.58	1.48		
3:55	20	50	31.8	7.7	23.1	1.36	1.70		
4:15	20	70	25.9	5.9	17.7	1.25	1.84		
4:35	20	90	21.1	4.8	14.4	1.16	1.95	5.79	6.97

Fuente: Datos de campo

Interv.= intervalo

Min.= minuto

Acum. = acumulado

Lec. = lectura

cm. = centímetro

Dif. = diferencia

h = hora

Infilt. = infiltración

Log. = logaritmo

Σ = sumatoria

$$I = KT^n$$

$$\log I = \log K + n \log T$$

$$9.5 = 4 \log K + n(2.73)$$

$$-5.79 = -4 \log K - n(6.97) \quad \times -1$$

$$3.73 = -n4.24$$

$$n = -0.88$$

Sustituyendo

$$9.5 = 4 \log K + (-0.88)(2.73)$$

$$2.98 = \log K \quad \text{antilog.}$$

$$K = 954.99$$

$$I = 954.99T^{-0.88}$$

$$I_b = 954.99(-600 \times -0.88)^{-0.88}$$

$$I_b = 0.77 \text{ cm/h}$$

Cuadro 21A. Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración en estación lluviosa, en el suelo de manejo orgánico

Tiempo	Interv. de tiempo (min.)	Tiempo acum. (min.)	Lec. (cm)	Dif. lec.	Infilt. en Cent./h.	Log. Infilt	Log tiempo acum.	Σ log. de infilt	Σ Log. tiempo acum..
2:05			14.50						
2:06	1	1	14.10	0.4	24	1.38	0		
2:09	3	4	13.90	0.2	4	0.60	0.60		
2:14	5	9	13.70	0.2	2.4	0.38	0.95		
2:24	10	19	13.50	0.2	1.2	0.08	1.28	2.44	2.83
2:28									
2:43	15	34	13.48	0.02	0.08	-1.09	1.53		
3:03	20	54	13.47	0.01	0.03	-1.52	1.73		
3:33	30	84	13.46	0.01	0.02	-1.70	1.92		
4:03	30	114	13.45	0.01	0.02	-1.70	2.06	-6.01	7.24

Fuente: Datos de campo

Interv.= intervalo

Min.= minuto

Acum. = acumulado

Lec. = lectura

cm. = centímetro

Dif. = diferencia

h = hora

Infilt. = infiltración

Log. = logaritmo

Σ = sumatoria

$$I = KT^n$$

$$\log I = \log K + n \log T$$

$$2.44 = 4 \log K + n(2.83)$$

$$6.01 = -4 \log K - n(7.24) \quad \times -1$$

$$8.45 = -n4.41$$

$$n = -1.92$$

Sustituyendo

$$2.44 = 4 \log K + (-1.92)(2.83)$$

$$7.87 = 4 \log K \quad \text{antilog.}$$

$$K = 92.79$$

$$I = 92.79T^{-1.92}$$

$$I_b = 92.79 (-600 \times -1.92)^{-1.92}$$

$$I_b = 2.36 \text{ cm/h}$$

Cuadro 22A. Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración en época lluviosa, en suelo de manejo convencional

Tiempo	Interv. de tiempo (min.)	Tiempo acum. (min.)	Lec. (cm)	Dif. lec.	Infilt. en Cent./h.	Log. Infilt	Log tiempo acum.	Σ log. de infilt	Σ Log. tiempo acum..
3:20			14.9						
3:21	1	1	14.0	0.9	54	1.73	0		
3:24	3	4	13.2	0.8	16	1.20	0.60		
3:29	5	9	12.1	1.1	13.2	1.12	0.95		
3:39	10	19	10.0	2.1	12.6	1.10	1.28	5.15	2.83
3:43			15.0						
4:13	30	49	12.0	3.0	6	0.78	1.69		
4:43	30	79	10.0	2.0	4	0.60	1.84		
5:13	30	109	8.1	1.9	3.8	0.58	2.04		
5:43	30	139	6.2	1.9	3.8	0.58	2.14	2.54	7.71

Fuente: Datos de campo

Interv.= intervalo

Min.= minuto

Acum. = acumulado

Lec. = lectura

cm. = centímetro

Dif. = diferencia

H. = hora

Infilt. = infiltración

Log. = logaritmo

Σ = sumatoria

$$I = KT^n$$

$$\log I = \log K + n \log T$$

$$5.15 = 4 \log K + n(2.83)$$

$$-2.54 = -4 \log K - n(7.71) \quad \times -1$$

$$2.61 = -n4.88$$

$$n = -0.53$$

Sustituyendo

$$5.15 = 4 \log K + (-0.53)(2.83)$$

$$1.66 = \log K \text{ antilog.}$$

$$K = 45.71$$

$$I = 45.71 T^{-0.53}$$

$$I_b = 45.71 (-600 \times -0.53)^{-0.53}$$

$$I_b = 0.0008 \text{ cm/h}$$

Cuadro 23A. Registro de datos de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 12/04/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
C ₁ 0.00 – 0.10	7.0	104.4	92.7	97.4	85.7	13.65
C ₁ 0.10 – 0.20	6.5	112.0	91.8	105.5	85.3	23.68
C ₁ 0.20 – 0.50	8.3	131	101.3	122.7	93.0	31.93
C ₂ 0.00 – 0.10	7.5	122.5	105.4	115.0	97.9	17.46
C ₂ 0.10 – 0.20	6.9	131.6	108.4	124.7	101.5	18.19
C ₂ 0.20 – 0.50	6.6	114	90.6	107.4	84.0	27.85
C ₃ 0.00 – 0.10	7.9	124	108.6	116.1	100.7	15.29
C ₃ 0.10 – 0.20	8.3	133.4	107.1	125.1	98.8	26.61
C ₃ 0.20 – 0.50	8.0	140.5	109.5	132.5	101.5	30.54
C ₄ 0.00 – 0.10	6.6	128	115.7	121.4	109.1	11.27
C ₄ 0.10 – 0.20	7.8	104.2	85.0	96.4	77.2	24.87
C ₄ 0.20 – 0.50	7.4	127.1	99.9	119.7	92.5	29.40
C ₅ 0.00 – 0.10	6.9	130.2	113.6	123.3	106.7	15.56
C ₅ 0.10 – 0.20	7.8	150.7	122.8	142.9	115.0	24.26
C ₅ 0.20 – 0.50	7.7	102.7	78.6	95.0	70.9	33.99

Fuente: Datos de campo

C = convencional

Cuadro 24A. Registro de datos de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado el 12/04/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
O ₁ 0.00 – 0.10	7.4	118.2	96.8	110.8	89.4	23.93
O ₁ 0.10 – 0.20	6.6	141.0	112.2	134.4	105.6	27.27
O ₁ 0.20 – 0.50	7.1	141.3	109.1	134.2	102.0	31.56
O ₂ 0.00 – 0.10	7.0	136.2	110.1	129.2	103.1	25.31
O ₂ 0.10 – 0.20	6.7	150.4	117.5	143.7	110.8	29.69
O ₂ 0.20 – 0.50	6.9	124.3	96.0	117.4	89.1	31.76
O ₃ 0.00 – 0.10	7.7	155.0	122.2	147.3	114.5	28.64
O ₃ 0.10 – 0.20	7.2	137.6	107.8	130.4	100.6	29.62
O ₃ 0.20 – 0.50	6.7	137.6	107.1	130.9	100.4	30.37
O ₄ 0.00 – 0.10	7.7	133.5	109.7	125.8	102.0	23.33
O ₄ 0.10 – 0.20	6.7	114.0	90.4	107.3	83.7	28.19
O ₄ 0.20 – 0.50	6.5	131.1	101.9	124.6	95.4	30.60
O ₅ 0.00 – 0.10	7.9	134.8	112.3	126.9	104.4	21.55
O ₅ 0.10 – 0.20	6.5	109.0	87.0	102.5	80.5	27.32
O ₅ 0.20 – 0.50	6.2	117.5	91.0	111.3	84.8	31.25

Fuente: Datos de campo

O = Orgánico

Cuadro 25A. Registro de datos de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 06/05/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
C ₁ 0.00 – 0.10	7.0	132.5	106.5	125.5	99.5	26.13
C ₁ 0.10 – 0.20	6.5	131.5	104.8	125.0	98.3	27.16
C ₁ 0.20 – 0.50	8.3	139.0	106.2	130.7	97.9	33.50
C ₂ 0.00 – 0.10	7.5	130.2	106.8	122.7	99.3	23.56
C ₂ 0.10 – 0.20	6.9	116.1	92.6	109.2	85.7	27.42
C ₂ 0.20 – 0.50	6.6	115.2	88.5	108.6	81.9	32.60
C ₃ 0.00 – 0.10	7.9	116.8	99.9	108.9	92.0	18.36
C ₃ 0.10 – 0.20	8.3	131.0	103.7	122.7	95.4	28.61
C ₃ 0.20 – 0.50	8.0	146.0	110.6	138.0	102.6	34.50
C ₄ 0.00 – 0.10	6.6	115.6	96.5	109.0	89.9	15.10
C ₄ 0.10 – 0.20	7.8	128.5	102.5	120.7	94.7	27.77
C ₄ 0.20 – 0.50	7.4	119.4	92.8	112.0	85.4	31.14

Fuente: Datos de campo

Cuadro 26A. Registro de datos de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado 06/05/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
O ₁ , 0.00 – 0.10	7.4	123.5	100.8	116.1	93.4	24.30
O ₁ , 0.10 – 0.20	6.6	131.0	100.5	124.4	93.9	32.48
O ₁ , 0.20 – 0.50	7.1	101.5	83.8	94.4	76.7	24.37
O ₂ , 0.00 – 0.10	6.8	88.9	71.3	82.1	64.5	27.28
O ₂ , 0.10 – 0.20	6.7	103.8	84.8	97.1	78.1	24.32
O ₂ , 0.20 – 0.50	6.4	85.5	70.2	79.1	63.8	23.98
O ₃ , 0.00 – 0.10	7.7	120.2	95.4	112.5	87.7	28.07
O ₃ , 0.10 – 0.20	7.2	105.4	83.0	98.2	75.8	29.55
O ₃ , 0.20 – 0.50	6.7	116.8	92.0	110.1	85.3	29.07
O ₄ , 0.00 – 0.10	7.7	123.5	101.3	115.8	93.6	23.71
O ₄ , 0.10 – 0.20	6.7	101.4	82.5	94.7	75.8	24.93
O ₄ , 0.20 – 0.50	6.5	113.2	90.9	106.7	84.4	26.42

Fuente: Datos de campo

O = Orgánico

Cuadro 27A. Registro de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado el 30/05/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
O ₁ 0.00 – 0.10	7.5	102.3	80.4	94.8	72.9	30.04
O ₁ 0.10 – 0.20	7.8	103.2	81.4	95.4	73.6	29.62
O ₁ 0.20 – 0.50	7.3	100.0	78.2	92.7	70.9	30.75
O ₂ 0.00 – 0.10	6.7	105.0	82.2	98.3	75.5	30.20
O ₂ 0.10 – 0.20	6.9	129.3	100.8	122.4	93.9	30.35
O ₂ 0.20 – 0.50	6.0	111.0	87.3	105.0	81.3	29.15
O ₃ 0.00 – 0.10	7.6	170.0	133.7	162.4	126.1	28.79
O ₃ 0.10 – 0.20	7.2	130.2	101.4	123.0	94.2	30.57
O ₃ 0.20 – 0.50	6.6	98.1	76.0	91.5	69.4	31.84
O ₄ 0.00 – 0.10	7.5	131.4	102.8	123.9	95.3	29.33
O ₄ 0.10 – 0.20	6.5	93.2	72.8	86.7	66.3	30.77
O ₄ 0.20 – 0.50	6.7	114.7	89.5	108.0	82.8	30.43
O ₅ 0.00 – 0.10	7.0	92.0	70.7	85.0	63.7	33.44
O ₅ 0.10 – 0.20	7.0	84.0	64.6	77.0	57.6	33.68
O ₅ 0.20 – 0.50	6.4	91.3	72.2	84.9	65.8	29.03

Fuente: Datos de campo

O = Orgánico

Cuadro 28A. Registro de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 30/05/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
C ₁ 0.00 – 0.10	7.4	109.2	86.0	101.8	78.6	29.52
C ₁ 0.10 – 0.20	6.7	107.9	79.5	101.2	72.8	39.01
C ₁ 0.20 – 0.50	8.6	99.4	74.8	90.8	66.2	37.16
C ₂ 0.00 – 0.10	7.8	114.3	89.5	106.5	81.7	30.35
C ₂ 0.10 – 0.20	7.5	122.1	94.4	114.6	86.9	31.88
C ₂ 0.20 – 0.50	6.6	97.2	72.6	90.6	66.0	37.27
C ₃ 0.00 – 0.10	8.4	106.1	83.7	97.7	75.3	29.75
C ₃ 0.10 – 0.20	6.7	111.2	86.3	104.5	79.6	31.28
C ₃ 0.20 – 0.50	6.8	107.1	80.5	100.3	73.7	36.09
C ₄ 0.00 – 0.10	8.0	117.4	91.5	109.4	83.5	31.02
C ₄ 0.10 – 0.20	8.0	101.1	75.9	93.1	67.9	37.11
C ₄ 0.20 – 0.50	7.5	95.5	71.0	88.0	63.5	38.58
C ₅ 0.00 – 0.10	6.3	93.7	72.5	87.4	66.2	32.02
C ₅ 0.10 – 0.20	8.0	116.0	91.0	108.0	83.0	30.12
C ₅ 0.20 – 0.50	7.4	123.4	93.5	116.0	86.1	34.73

Fuente: Datos de campo

C = Convencional

Cuadro 29A. Registro de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado el 04/08/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
O ₁ 0.00 – 0.10	7.4	86.8	71.7	79.4	64.3	23.48
O ₁ 0.10 – 0.20	8.2	97.2	77.9	89.0	69.7	27.69
O ₁ 0.20 – 0.50	7.6	98.8	79.1	91.2	71.5	27.55
O ₂ 0.00 – 0.10	6.9	113.6	95.9	106.7	89.0	19.89
O ₂ 0.10 – 0.20	7.3	94.6	76.5	87.3	69.2	26.16
O ₂ 0.20 – 0.50	6.5	91.0	67.6	84.5	61.1	38.30
O ₃ 0.00 – 0.10	7.8	93.8	77.8	86.0	70.0	22.86
O ₃ 0.10 – 0.20	7.2	82.9	66.3	75.7	59.1	28.09
O ₃ 0.20 – 0.50	6.8	83.3	78.2	76.5	71.4	23.46
O ₄ 0.00 – 0.10	7.8	108.4	89.3	100.6	81.5	23.44
O ₄ 0.10 – 0.20	7.4	110.5	88.9	103.1	81.5	26.50
O ₄ 0.20 – 0.50	6.8	82.4	66.0	75.6	59.2	27.70
O ₅ 0.00 – 0.10	7.3	86.4	71.2	79.1	63.9	23.79
O ₅ 0.10 – 0.20	7.4	95.8	77.5	88.4	70.1	26.10
O ₅ 0.20 – 0.50	6.5	79.5	64.1	73.0	57.6	26.74

Fuente: Datos de campo

O = Orgánico

Cuadro 30A. Registro de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 04/08/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
C ₁ , 0.00 – 0.10	7.3	111.0	90.5	103.7	83.2	24.64
C ₁ , 0.10 – 0.20	6.9	114.4	92.6	107.5	85.7	25.44
C ₁ , 0.20 – 0.50	8.7	127.0	99.5	118.3	90.8	30.29
C ₂ , 0.00 – 0.10	7.8	90.2	76.9	82.4	69.1	19.25
C ₂ , 0.10 – 0.20	7.8	105.5	84.1	97.7	76.3	28.05
C ₂ , 0.20 – 0.50	6.8	103.4	82.0	96.6	75.2	28.46
C ₃ , 0.00 – 0.10	8.4	112.1	95.8	103.7	87.4	18.65
C ₃ , 0.10 – 0.20	6.9	91.7	88.8	84.8	81.9	3.54
C ₃ , 0.20 – 0.50	6.9	111.7	73.4	104.8	66.5	17.59
C ₄ , 0.00 – 0.10	8.1	96.8	81.0	88.7	72.9	21.67
C ₄ , 0.10 – 0.20	8.2	105.9	84.5	97.7	76.3	28.05
C ₄ , 0.20 – 0.50	7.5	98.4	77.8	90.9	70.3	29.30
C ₅ , 0.00 – 0.10	6.5	99.3	83.9	92.8	77.4	19.90
C ₅ , 0.10 – 0.20	8.0	105.4	85.2	97.4	77.2	26.17
C ₅ , 0.20 – 0.50	7.6	89.3	71.2	81.7	63.6	28.46

Fuente: Datos de campo

C = Convencional

Cuadro 31A. Registro de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado el 09/09/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
O ₁ , 0.00 – 0.10	24.7	110.0	87.4	85.3	62.7	36.04
O ₁ , 0.10 – 0.20	43.1	139.4	116.9	96.3	73.8	30.49
O ₁ , 0.20 – 0.50	43.6	132.9	111.2	89.3	67.6	32.10
O ₂ , 0.00 – 0.10	25.4	138.2	107.4	112.8	82.0	37.56
O ₂ , 0.10 – 0.20	25.4	126.9	100.9	101.5	75.4	34.62
O ₂ , 0.20 – 0.50	26.0	155.0	122.5	129.0	96.5	33.68
O ₃ , 0.00 – 0.10	42.8	153.1	123.2	110.3	80.4	37.19
O ₃ , 0.10 – 0.20	25.2	111.5	89.5	86.3	64.3	34.21
O ₃ , 0.20 – 0.50	25.2	101.4	82.3	76.2	57.1	33.45
O ₄ , 0.00 – 0.10	23.4	124.4	96.7	101.0	73.3	37.79
O ₄ , 0.10 – 0.20	25.2	120.7	96.0	95.5	70.8	34.89
O ₄ , 0.20 – 0.50	43.2	125.1	104.1	81.9	60.9	34.48
O ₅ , 0.00 – 0.10	25.4	118.0	92.8	92.6	67.4	37.39
O ₅ , 0.10 – 0.20	42.9	156.6	127.9	113.7	85.0	33.76
O ₅ , 0.20 – 0.50	43.3	143.5	118.3	100.2	75.0	33.60

Fuente: Datos de campo

O = Orgánico

Cuadro 32A. Registro de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 09/09/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
C ₁ , 0.00 – 0.10	24.5	146.5	114.7	122.0	90.2	35.25
C ₁ , 0.10 – 0.20	43.8	173.5	141.3	129.7	97.5	32.20
C ₁ , 0.20 – 0.50	25.6	162.0	121.7	136.4	96.1	41.94
C ₂ , 0.00 – 0.10	43.1	148.8	123.4	105.7	80.3	31.63
C ₂ , 0.10 – 0.20	25.0	136.8	108.4	111.8	83.4	34.05
C ₂ , 0.20 – 0.50	25.4	137.5	107.1	112.1	81.7	30.41
C ₃ , 0.00 – 0.10	26.0	142.6	115.4	116.6	89.4	30.42
C ₃ , 0.10 – 0.20	25.3	129.8	105.4	104.5	80.1	30.46
C ₃ , 0.20 – 0.50	26.2	139.0	108.2	112.8	82.0	37.56
C ₄ , 0.00 – 0.10	43.1	163.0	133.5	119.9	90.4	32.63
C ₄ , 0.10 – 0.20	24.7	145.2	112.8	120.5	88.1	36.78
C ₄ , 0.20 – 0.50	44.4	160.0	129.7	115.6	85.3	35.52
C ₅ , 0.00 – 0.10	43.1	151.5	124.1	108.4	81.0	33.83
C ₅ , 0.10 – 0.20	25.4	139.0	110.5	113.6	85.1	33.49
C ₅ , 0.20 – 0.50	25.0	169.5	132.5	144.5	107.5	34.42

Fuente: Datos de campo

C = Convencional

Cuadro 33A. Registro de humedad del suelo de manejo orgánico, realizado 05/10/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
O ₁ 0.00 – 0.10	43.2	173.8	142.6	130.6	99.4	31.39
O ₁ 0.10 – 0.20	24.4	133.4	106.5	109.0	82.1	32.76
O ₁ 0.20 – 0.50	24.4	124.2	99.6	99.8	75.2	32.71
O ₂ 0.00 – 0.10	43.2	143.3	121.5	100.1	78.3	27.84
O ₂ 0.10 – 0.20	25.4	110.0	90.2	84.6	64.8	30.56
O ₂ 0.20 – 0.50	26.0	103.1	83.9	77.1	57.9	33.16
O ₃ 0.00 – 0.10	43.0	117.3	101.2	74.3	58.2	27.66
O ₃ 0.10 – 0.20	24.8	100.0	83.6	75.2	58.8	27.89
O ₃ 0.20 – 0.50	23.5	113.1	91.7	89.6	68.2	31.38
O ₄ 0.00 – 0.10	44.4	127.9	110.1	83.4	65.7	26.94
O ₄ 0.10 – 0.20	25.5	101.0	83.3	75.5	57.8	30.62
O ₄ 0.20 – 0.50	25.3	101.3	83.2	76.0	57.9	31.26
O ₅ 0.00 – 0.10	25.0	91.8	77.3	66.8	52.3	27.72
O ₅ 0.10 – 0.20	25.4	99.3	81.1	73.9	55.7	32.68
O ₅ 0.20 – 0.50	25.9	115.7	94.2	89.8	68.3	31.48

Fuente: Datos de campo

O = orgánico

Cuadro 34A. Registro de humedad del suelo de manejo convencional, realizado el 05/10/07

Profundidad m	Peso Bote	Psh + Bote	Pss + Bote	Psh	Pss	% H
C ₁ , 0.00 – 0.10	42.8	127.3	109.9	84.5	67.1	25.93
C ₁ , 0.10 – 0.20	43.1	127.3	108.6	84.2	65.5	28.55
C ₁ , 0.20 – 0.50	25.1	104.7	82.5	79.6	57.4	38.68
C ₂ , 0.00 – 0.10	42.9	133.3	114.0	90.4	71.1	27.14
C ₂ , 0.10 – 0.20	24.8	115.4	94.5	90.6	69.7	29.98
C ₂ , 0.20 – 0.50	24.4	103.1	85.0	78.7	60.6	29.87
C ₃ , 0.00 – 0.10	25.4	118.2	99.3	92.8	73.9	25.58
C ₃ , 0.10 – 0.20	43.8	123.6	105.6	79.8	61.8	29.13
C ₃ , 0.20 – 0.50	42.9	144.2	120.2	101.3	77.3	31.05
C ₄ , 0.00 – 0.10	26.2	125.8	103.0	99.6	76.8	29.69
C ₄ , 0.10 – 0.20	24.9	96.3	80.2	71.4	55.3	29.11
C ₄ , 0.20 – 0.50	42.4	139.2	115.4	96.8	73.0	30.60
C ₅ , 0.00 – 0.10	25.2	105.4	90.6	80.2	65.4	22.63
C ₅ , 0.10 – 0.20	43.9	111.4	95.9	67.5	52.0	29.81
C ₅ , 0.20 – 0.50	25.6	107.5	85.5	81.9	59.9	36.73

Fuente: Datos de campo

C = Convencional

Cuadro 35A. Matriz de datos de densidad

Convencional	0-10	1	1.27
	0-10	2	1.22
	0-10	3	1.17
	0-10	4	1.19
	10-20	1	1.38
	10-20	2	1.28
	10-20	3	1.28
	10-20	4	1.28
	20-50	1	1.22
	20-50	2	1.32
	20-20	3	1.24
	20-50	4	1.30
Orgánico	0-10	1	0.98
	0-10	2	1.06
	0-10	3	1.06
	0-10	4	1.00
	10-20	1	0.94
	10-20	2	1.09
	10-20	3	1.22
	10-20	4	1.12
	20-50	1	1.08
	20-50	2	0.98
	20-50	3	1.21
	20-50	4	1.16

Fuente: Datos de campo

Cuadro 36A. Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Parcela	0.21	1	0.21	39.71	<0.0001
Profundidad	0.03	2	0.02	2.86	0.0834
Parcela*Profundidad	2.5E-03	2	1.3E-03	0.24	0.7927
Error	0.10	18	0.01		
Total	0.34	23			



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



INTERESADO: FRANCISCO QUITAN
PROCEDENCIA: CAMPOS DEL CEDA, USAC, GUATEMALA
FECHA DE INGRESO: 23/7/07
PARCELA ORGANICA

IDENTIFICACION	pH	µS/cm C.E.	ppm		Meq/100 gr		Ppm					Meq/100 gr				% NT	
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O
0-10 cm	7.0	245	12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15	20.00	13.72	3.52	0.48	1.62	98.20	4.94
10-20 cm	7.0	270	5.04	400	16.22	4.16	1.00	10.00	11.00	44.00	24.00	15.72	3.78	0.52	1.41	89.31	4.83
20-50 cm	6.7	185	2.98	295	13.10	3.44	1.50	8.00	18.00	38.50	23.60	11.72	3.58	0.49	1.36	72.67	3.03
			0.21	270	10.92	3.54	2.50	3.00	19.00	19.00							0.14





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



INTERESADO: FRANCISCO QUXITAN
PROCEDENCIA: CAMPOS DEL CEDA, USAC. GUATEMALA
FECHA DE INGRESO: 23/7/07
PARCELA CONVENCIONAL

IDENTIFICACION	pH	$\mu\text{S}/\text{cm}$ C.E.	ppm		Mg/100 gr		Ppm						Mg/100 gr				%	
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	ClC	Ca	Mg	Na	K	SB.	MO	NT
			12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15								
0-10 cm	6.6	185	0.07	198	9.05	4.00	3.50	3.50	48.00	45.00	21.20	9.73	4.36	0.61	1.10	74.53	2.97	0.18
10-20 cm	6.6	170	0.01	103	8.42	3.95	4.00	3.00	63.00	34.50	20.40	9.23	3.45	0.57	0.82	68.89	2.64	0.16
20-50 cm	6.6	175	0.01	73	7.49	4.32	3.50	1.00	41.00	31.50	23.60	9.48	5.26	0.67	0.56	67.63	1.85	0.13

Estimación del número de unidades de muestreo
 Varianza de subconjuntos

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (X - x) / n$$

Donde:

S^2 = varianza

$\sum$ = sumatoria

X = valores de n

x = número de muestreo

Densidad

$D = N/A$

Donde:

D = densidad

N = número de individuos

A = área

Frecuencia

$F = (m_i / M) 100$

Donde:

F = frecuencia

m_i = número de veces que aparece una especie

M = número de unidades muestreadas

Fitomasa

$FI = Pse/A$

Donde:

FI = fitomasa

Pse = peso seco por especie

A = área de muestreo

Densidad real

$D. Real = D1 + D2 + \dots Dn / \text{número de unidades muestreadas}$

Frecuencia real

$F. Real = F1 + F2 + \dots Fn / \text{número de unidades muestreadas}$

Fitomasa real

$FI Real = FI1 + FI2 + FI_n / \text{número de unidades muestreadas}$

Densidad relativa

$$D \text{ rel.} = (\text{Densidad real} / \sum \text{densidades reales}) 100$$

Frecuencia relativa

$$F. \text{ rel.} = (\text{frecuencia real} / \sum \text{frecuencias reales}) 100$$

Fitomasa relativa

$$FI. \text{ rel.} = (\text{fitomasa real} / \sum \text{fitomasas reales}) 100$$

Valor de Importancia

$$V. I. = \text{Densidad relativa} + \text{frecuencia relativa} + \text{fitomasa relativa}$$



Figura 9A.Comparación del desarrollo del girasol en suelos con manejo convencional y orgánico. (1er. Ciclo)



Figura 10A. Comparación de plantas de girasol de parcelas convencional y orgánica (2do. Ciclo)

$$\text{Coeficiente de correlaci3n (r)} = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \left(\frac{\sum X}{N} \right) \left(\frac{\sum Y}{N} \right)}{\sqrt{\left[\frac{\sum X^2}{N} - \left(\frac{\sum X}{N} \right)^2 \right] \left[\frac{\sum Y^2}{N} - \left(\frac{\sum Y}{N} \right)^2 \right]}}$$