



CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

TESIS

**EFFECTIVIDAD BIOLÓGICA DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN EL CULTIVO
DE MAÍZ Y CHILE EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES**

PRESENTA

Anabel Flores Chávez

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGRONÓMICAS

TUTOR(ES)

Dr. Fernando Ramos Gourcy

Dr. Onésimo Moreno Rico

COMITÉ TUTORAL

Dr. José de Jesús Luna Ruiz

MC. Amalio Ponce Montoya

Aguascalientes, Ags., 4 de Julio del 2014



M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante Anabel Flores Chávez, con ID 6350 quien realizó la tesis titulada: **Efectividad biológica del humus de lombriz en el cultivo de maíz y chile en el estado de Aguascalientes** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 27 de junio del 2014


Dr. Fernando Ramos Gourcy

Tutor de tesis

c.c.p. Interesado
c.c.p. Secretario de Investigación y Posgrado
c.c.p. Archivo

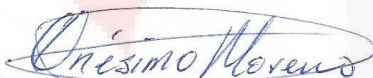


M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante Anabel Flores Chávez, con ID 6350 quien realizó la tesis titulada: **Efectividad biológica del humus de lombriz en el cultivo de maíz y chile en el estado de Aguascalientes** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el VOTO APROBATORIO, para que él pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 27 de junio del 2014


Dr. Onésimo Moreno Rico

Tutor de tesis

c.c.p. Interesado
c.c.p. Secretario de Investigación y Posgrado
c.c.p. Archivo



M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente como integrante del comité tutorial designado del estudiante **Anabel Flores Chávez**, con ID 6350 quien realizó la tesis titulada: **Efectividad biológica del humus de lombriz en el cultivo de maíz y chile en el estado de Aguascalientes** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el VOTO APROBATORIO, para que él pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 27 de junio del 2014

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José de Jesús Luna Ruiz'.

Dr. José de Jesús Luna Ruiz

Integrante del Comité Tutorial

c.c.p. Interesado
c.c.p. Secretario de Investigación y Posgrado
c.c.p. Archivo



M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio del presente como integrante del comité tutorial designado del estudiante Anabel Flores Chávez, con ID 6350 quien realizó la tesis titulada: **Efectividad biológica del humus de lombriz en el cultivo de maíz y chile en el estado de Aguascalientes** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el VOTO APROBATORIO, para que él pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 27 de junio del 2014

M.C. Anjalio Ponce Montoya

Integrante del Comité Tutorial

c.c.p. Interesado
c.c.p. Secretario de Investigación y Posgrado
c.c.p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES
CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ANIVERSARIO
UAA

OFICIO NO. CCA-D-111500-194-14

DRA. GUADALUPE RUÍZ CUÉLLAR
DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
PRESENTE.

Por medio del presente me permito comunicarle a usted que la tesis titulada "EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN EL CULTIVO DE MAÍZ Y CHILE EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES", de la alumna **C. ANABEL FLORES CHÁVEZ**, egresada de la Maestría en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, respeta las normas y lineamientos establecidos institucionalmente para su elaboración y su autor cuenta con el voto aprobatorio de su tutor y comité tutorial.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Jesús María, Ags., 30 de Junio del 2014.
"Se Lumen Proferre"

M. en C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

- c.c.p. C.P. Ma. Esther Rangel Jiménez.- Jefe del Departamento del Control Escolar
- c.c.p. Sección de Certificados y Títulos
- c.c.p. Secretario Técnico
- c.c.p. Estudiante
- c.c.p. Archivo

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por la beca otorgada que permitió la realización de mis estudios.

Al Centro de Ciencias Agropecuarias por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto.

Al CONACyT por la beca otorgada con el número 443392.

A la empresa Humus de Aguascalientes SPR de LR por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto.

Al Dr. Fernando Ramos Gourcy, gracias por su apoyo y confianza para integrarme a este proyecto así como para la realización de mi tesis.

Al Dr. Onésimo Moreno Rico por sus aportaciones y apoyo para la realización de mi tesis.

A la M.C. Liliana Barba por su gran apoyo en el laboratorio.

A mi familia por su amor y ser mi fortaleza, en especial a mis dos ángeles (Martha y Carlos), que siguen en mis pensamientos todos los días.

Dr. José de Jesús Luna Ruiz por sus aportaciones para la realización de mi tesis.

M.C. Amalio Ponce Montoya por sus consejos y aportaciones para la realización de mi tesis.

A mis compañeros de maestría por su sincera amistad y apoyo incondicional.

DEDICATORIAS

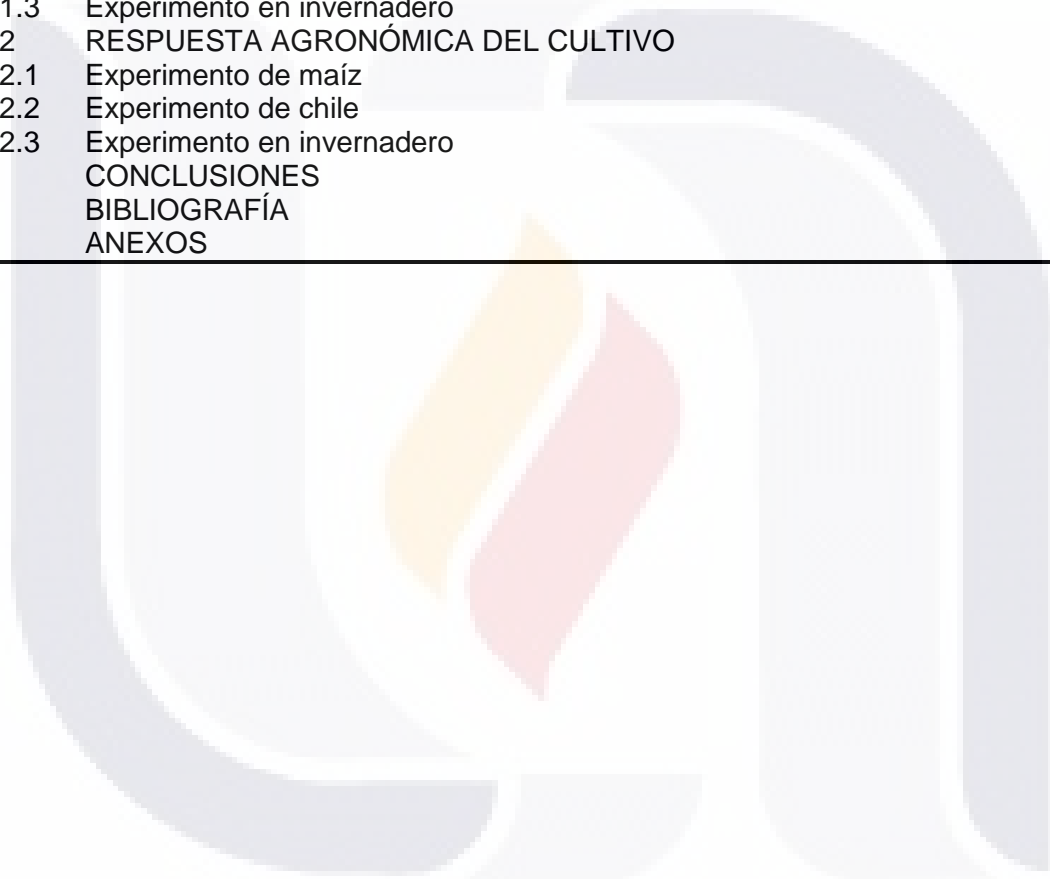
A mi madre, eres mi ejemplo a seguir, mi mejor amiga y mi mayor apoyo. Gracias por enseñarme a luchar por lo que uno desea y a nunca dejarme caer a pesar de todos los obstáculos que me ha presentado la vida, me lo demuestras todos los días y mi admiración por ti crece cada día más. Te amo mamá.



INDICE GENERAL

No.	Contenido	Página
	ÍNDICE GENERAL	1
	ÍNDICE DE TABLAS	3
	ÍNDICE DE FIGURAS	4
	ACRÓNIMOS	5
	RESUMEN	7
	ABSTRACT	8
	INTRODUCCIÓN	9
1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2	ANTECEDENTES	11
2.1	SUELO	11
2.1.1	Propiedades Físicas	11
2.1.2	Propiedades Químicas	12
2.1.3	Degradación de suelos y desertificación: Un problema global	12
2.1.4	La degradación de suelos en México	14
2.1.5	Degradación de suelos en Aguascalientes	15
2.2	ABONOS ORGÁNICOS	15
2.3	HUMUS DE LOMBRIZ	18
2.4	ÁCIDOS HÚMICOS	20
2.5	EFECTO DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN LA FERTILIDAD DEL SUELO	21
2.6	EFECTO DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTOS DE LAS PLANTAS	23
2.7	IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE MAÍZ	29
2.7.1	Importancia Mundial	29
2.7.2	Importancia Nacional	29
2.7.3	Importancia Estatal	30
2.8	IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE CHILE	30
2.8.1	Importancia Mundial	30
2.8.2	Importancia Nacional	31
2.8.3	Importancia Estatal	32
3.	OBJETIVOS	33
3.1	OBJETIVO GENERAL	33
3.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	33
4.	HIPÓTESIS	34
5	MATERIALES Y MÉTODOS	35
5.1	DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE TRABAJO	35
5.2	ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL HUMUS DE LOMBRIZ	36
5.3	EXPERIMENTO DE MAÍZ	36
5.3.1	Descripción y manejo de las unidades experimentales	37
5.3.2	Muestreo y análisis de suelos	39
5.3.3	Variables de respuesta agronómica de maíz	43
5.4	EXPERIMENTO DE CHILE	45
5.4.1	Descripción y manejo de las unidades experimentales	46
5.4.2	Muestreo y análisis de suelos	48
5.4.3	Variables de respuesta agronómica de chile	49
5.5	EXPERIMENTO EN INVERNADERO	49
5.5.1	Aplicación de tratamientos y manejo de unidades experimentales	51

No.	Contenido	Página
5.5.2	Muestreo y análisis de suelos	51
5.5.3	Variables de respuesta agronómica en invernadero	51
5.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	52
5.6.1	Experimento de maíz	52
5.6.2	Experimento de chile	52
5.6.3	Experimento en invernadero	52
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
6.1	PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO	54
6.1.1	Experimento de maíz	54
6.1.2	Experimento de chile	57
6.1.3	Experimento en invernadero	59
6.2	RESPUESTA AGRONÓMICA DEL CULTIVO	62
6.2.1	Experimento de maíz	62
6.2.2	Experimento de chile	65
6.2.3	Experimento en invernadero	67
	CONCLUSIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA	72
	ANEXOS	81



INDICE DE TABLAS

No.	Contenido	Página
1	Análisis de composición de nutrimentos del humus de lombriz.	36
2	Aportaciones de nutrientes al suelo para cada tratamiento del estudio en el ensayo de maíz.	37
3	Diseño experimental del ensayo de maíz.	37
4	Aportaciones de nutrientes al suelo para cada tratamiento del estudio en el ensayo de chile.	45
5	Diseño experimental del ensayo de chile	46
6	Características físico-químicas de los suelos utilizados en la fase de invernadero.	50
7	Distribución de los tratamientos en el ensayo de invernadero.	50
8	Promedios de las propiedades físico-químicas del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de campo en el cultivo de maíz.	54
9	Parámetros de salinidad del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de campo en el cultivo de maíz.	55
10	Propiedades físico-químicas del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de campo en el cultivo de chile.	57
11	Parámetros de salinidad del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de campo en el cultivo de chile.	58
12	Resultado del análisis de varianza de las propiedades físico-químicas del suelo en el ensayo de invernadero.	59
13	Promedio de las propiedades físico-químicas del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de invernadero.	60
14	Efecto del humus de lombriz en la respuesta agronómica del cultivo de maíz.	62
15	Análisis de tejido vegetal en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz en el cultivo de maíz.	64
16	Efecto del humus de lombriz en la respuesta agronómica del cultivo de chile.	65
17	Análisis de tejido vegetal en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz en el cultivo de chile.	67
18	Resultado del análisis de varianza en la respuesta agronómica en el ensayo de invernadero.	6
19	Efecto del humus de lombriz en la respuesta agronómica del cultivo de maíz bajo condiciones de invernadero.	68

INDICE DE FIGURAS

No.	Contenido	Página
1	Ejemplo de un suelo degradado. Fuente: http://www.ecologiahoy.com/degradacion-del-suelo	13
2	Atlas Mundial de Desertificación. Fuente: UNEP, Centro de Información y Referencia Internacional de Suelos (ISRIC).	13
3	Superficie relativa afectada por procesos de degradación del suelo en México. Fuente: Semarnat, 2003.	14
4	Superficie Afectada (ha) en Aguascalientes, por procesos de degradación. Fuente: Semarnat, 2005.	15
5	Tipos de Abonos orgánicos. Fuente: Soto y col. 2004.	16
6	Participación de la producción de maíz en la producción de cereales 1996-2006. Fuente: Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON-SIAP).	30
7	Superficie cultivada de chile en la república mexicana. Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).	31
8	Fotografía aérea de la zona de trabajo, donde se marca en círculo azul la Posta Zootécnica y en círculo rojo el Área Agrícola donde se llevará a cabo el presente experimento.	35
9	Dimensiones Parcela experimental y útil del ensayo de maíz	38
10	Establecimiento ensayo de maíz	39
11	Muestreo de suelos.	40
12	Dimensiones Parcela experimental y útil del ensayo de chile	47
13	Establecimiento ensayo de chile	48

ACRÓNIMOS

-	Menos	Cs	Cesio
%	Por ciento	CsCl	Cloruro de Cesio
°	Grados	Cu	Cobre
'	Minutos	DA	Densidad aparente
"	Segundos	dSm ⁻¹	Decisiemens por metro
° C	Grados centígrados	DOF	Diario Oficial de la Federación
+	Más	DTPA	Ácido del dietilen-triamino-pentaacético
±	Más menos	EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
<	Menor que	Fe	Fierro
>	Mayor que	gr	Gramos
Al	Aluminio	gr/cm ³	Gramos por centímetro cúbico
AgNO ₃	Nitrato de plata	gr/fruto	Gramos por fruto
B	Boro	ha	Hectáreas
BaCl ₂ ·2H ₂ O	Cloruro de bario dihidratado	HCl	Ácido clorhídrico
C	Carbono	HClO ₄	Ácido clorhídrico
Ca	Calcio	HCO ⁻³	Bicarbonatos
CaCO ₃	Carbonato de Calcio	HNO ₃	Ácido Nítrico
CaCl ₂	Cloruro de Calcio	H ₃ PO ₄	Ácido Fosfórico
CE	Conductividad eléctrica o específica	H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
Cl ⁻	Cloruros	INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
CIC	Capacidad de intercambio catiónico	K	Potasio
cm	Centímetros		
CO ₃ ⁻²	Carbonatos		

KCl	Cloruro de Potasio	NaHCO ₃	Bicarbonato de Sodio
kg	Kilogramos	NaOH	Hidróxido de Sodio
kg/ha	Kilogramos por hectárea	P	Fósforo
kg/m	Kilogramos por metro	pH	Potencial hidrógeno
kg/planta	Kilogramos por planta	ppm	Partes por millón
km	Kilómetros	S	Azufre
La	Lantano	SAS	Statistical Analysis System
L/ha	Litros por hectárea	Semarnat	Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales
m	Metros		
m ²	Metros cuadrados	SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
mg	Miligramos		
mg ha ⁻¹	Miligramos por hectárea	SO ^{4,-2}	Sulfatos
mg kg ⁻¹	Miligramos por kilogramos	TEA	Trietanolamina
mg L ⁻¹	Miligramos por litro	Ton	Toneladas
Mg	Magnesio	Ton/ha	Toneladas por hectárea
MgO	Óxido de Magnesio	V	Volumen
mL	Mililitros	VC:A	Vermicomposta: Arena
ml/L	Mililitros por litro	Zn	Zinc
mm	milímetros		
Mn	Manganeso		
MO	Materia Orgánica		
msnm	Metros sobre el nivel del mar		
nm	Nanómetros		
N	Nitrógeno		
Na	Sodio		

RESUMEN

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia favorable sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad. El uso del humus de lombriz incrementa la fase orgánica del suelo y mejora las características fisicoquímicas para conservación y fertilización del suelo, derivando esto en una mayor productividad y un menor costo de operación. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad del humus de lombriz sobre las propiedades del suelo y variables productivas en los cultivos de maíz y chile. Se establecieron tres experimentos para evaluar la efectividad biológica del humus de lombriz; bajo condiciones de campo: 1) en el cultivo de maíz se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro tratamientos (0, 10, 20 y 30 ton/ha) y tres repeticiones con arreglo en franjas y 2) en el cultivo de chile se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo en franjas con seis tratamientos (Testigo absoluto, Fertilización química, 15 ton/ha de humus de lombriz, 10 000 l/ha de lixiviado, 15 000 l/ha de lixiviado y 20 000 l/ha de lixiviado); bajo condiciones de invernadero: 3) se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones con un arreglo factorial (2x4), dos tipos de suelo (cultivado y no cultivado) y cuatro dosis de humus de lombriz (0, 10, 20 y 30 ton/ha). Se midieron variables sobre las propiedades físico-químicas del suelo y respuesta agronómica del cultivo. En el ensayo de campo de maíz se detectaron diferencias significativas al 5% para la variable de pH y no se observaron diferencias significativas para el rendimiento de grano. En el ensayo de chile diferencias al 5% de probabilidad a favor del humus de lombriz fueron observadas para las variables rendimiento, diámetro de fruto y largo de fruto. En el ensayo de invernadero se detectaron diferencias significativas a favor del humus de lombriz en las propiedades físico-químicas y en la respuesta agronómica del cultivo. Estos resultados sugieren que la aplicación del humus de lombriz al suelo tiene un efecto positivo en sus propiedades físico químicas, en condiciones controladas ocurrió un efecto del humus al incrementar hasta en 1% el porcentaje de materia orgánica en el suelo. En la respuesta agronómica del cultivo hubo una respuesta positiva del humus de lombriz en el crecimiento de la planta.

Palabras clave: humus de lombriz, suelo, maíz, chile.

ABSTRACT

The organic manure has been used for a long time and its favourable impact on the soil's fertility has been proved, even though its chemical composition, the contribution of nutrients to the crops and the effect on the soil vary according to the source, age, handling and moisture content. The worm humus usage increases the soil's organic phase and improves the physicochemical characteristics for the soil's conservation and fertilization, resulting into a higher productivity and a lesser operation cost. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of vermicompost on soil properties and crop production variables in corn and chili. Three experiments were established to evaluate the biological effectiveness of the worm humus under field conditions 1) In corn cultivation a random complete block with four treatments experiment was designed (0, 10, 20 and 30 t ha⁻¹) and three replicates with crop borders and 2) in chilies cultivation a whole random with crop borders experiment was designed with under-sampling with six treatments (absolute witness, chemical fertilization, 15 t/ha worm humus, 10,000 l/ha leachate, 15 000 l/ha leachate and 20 000 l/ha leachate); under this greenhouse conditions: 3) a completely randomized with four repetitions and a factorial arrangement 2 x 4 design was used, two types of soil (cultivated and not cultivated) and four doses of the worm humus (0, 10, 20 and 30 ton/ha). The variables were measured over the soil's chemical-physical properties, and the crop's agronomic response. In the corn's field trial significant differences at 5% for variable pH were detected and no significant differences for grain yield were observed. In the trial of chile differences at 5% probability in favor of vermicompost were observed for performance variables, fruit diameter and length of fruit. In the greenhouse test significant differences in favor of vermicompost on the physico-chemical properties and agronomic crop response were detected. These results suggest that the application of vermicompost humus to the soil has a positive effect on their physical and chemical properties under controlled conditions occurred an effect of humus to increase up to 1% the percentage of organic matter in the soil. In the agronomic crop's response there was a positive response of vermicompost on the growth of the plant.

Keywords: humus, soil, corn, chili.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura sustentable, la aplicación de materiales orgánicos al suelo es necesaria porque éstos son fuente vital para reconstruir la materia orgánica del suelo y para suministrar nutrimentos. Durante la Revolución Verde en México, la práctica general sobre la fertilización al suelo se concentraba en aplicar fertilizantes químicos a base de nitrógeno (N) y fósforo (P), marginando a los abonos orgánicos, que fueron la base y sustento de la agricultura por siglos (Arredondo, 1996).

Los insostenibles manejos en las prácticas de fertilización en los sistemas agrícolas intensivos son parcialmente responsables de la degradación de la calidad del agua, debido a la concentración de los nutrientes liberados que terminan contaminando el suelo y las aguas superficiales (Townsend y col., 2008). El uso intensivo del suelo durante años ha generado importantes problemas de contaminación y degradación; que ha traído como consecuencia una alteración en el sistema productivo (Legaz y Primo, 1992; Abril y col., 1998).

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero y col., 2000). La materia orgánica que contiene ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (Castellanos, 1980).

Dentro de los abonos orgánicos empleados en diversos sistemas de producción destaca la vermicomposta, producida por la ingestión de compuestos orgánicos por lombrices (Atiyeh y col., 2001 y 2002). La vermicomposta o humus de lombriz se utiliza como mejorador de suelo en cultivos hortícolas y como sustrato no contaminante (Urrestarazu y col., 2001), además se ha considerado como un aditivo del suelo para reducir el uso de fertilizantes minerales. El humus de lombriz parece ser una alternativa relevante al uso de los fertilizantes químicos porque conduce a mejoras similares en el crecimiento de las plantas, además de que al mismo tiempo hay un aumento en la calidad del suelo y una disminución en la lixiviación de nutrientes.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la desertificación es considerada uno de los grandes problemas ambientales en el mundo, ya que afecta aproximadamente al 70% de sus tierras áridas y, en la mayoría de los países, se presenta una tendencia hacia su agravamiento. En México, se estima que la desertificación afecta a una superficie que representa entre un 80% y 97% de su territorio, provocando la disminución de los rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales, así como la pérdida de la diversidad biológica. Aguascalientes ya presenta altos niveles de degradación que trae como consecuencia repercusiones sociales, económicas y ambientales (Semarnat, 2003).

Las prácticas agronómicas convencionales (monocultivo, fertilización química, aplicación de pesticidas, etcétera) producen una reducción en la diversidad biológica de la biota edáfica en general, destruyen los microorganismos benéficos, perjudican la fertilidad natural del suelo ocasionando pérdidas de grupos capaces de favorecer el desarrollo vegetal (Altieri, 1999).

Dependiendo de su composición química, procedencia y manejo, los abonos orgánicos pueden aportar cantidades importantes de nutrimentos para los cultivos (López-Martínez y col., 2001). Sin embargo, la influencia de la vermicomposta sobre las propiedades del suelo depende de la cantidad, tipo y tamaño de los materiales orgánicos añadidos. La vermicomposta constituye una alternativa eficaz para disminuir la cantidad de fertilizantes inorgánicos, ya que conduce a mejorar las propiedades del suelo y la retención de nutrientes, y tiene los mismos efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas como los observados con los fertilizantes químicos (Arancón y col., 2006).

2. ANTECEDENTES

2.1 SUELO.

El suelo constituye una cubierta delgada en la superficie terrestre, de unos pocos centímetros a varios metros, permite el enraizamiento de las plantas (anclaje), con lo que éstas pueden obtener agua, oxígeno y nutrientes. El suelo no es un medio inerte ni estático, sino que se desarrolla a lo largo del tiempo bajo la influencia de factores ecológicos de formación (roca, clima, organismos vivos, geomorfología, tiempo). Las múltiples formas de acción de estos factores hacen que los suelos presenten una gran variabilidad espacio-temporal. El tiempo necesario para la formación de un suelo es suficientemente largo como para tener que considerar que el suelo es un recurso natural no renovable a escala humana. De ahí la importancia de proteger los suelos frente a su posible degradación (Porta y col., 2008).

2.1.1 Propiedades físicas del suelo

La importancia de las propiedades físicas es tan relevante o más que las químicas, en el comportamiento y funciones de los suelos. La persistencia de las propiedades físicas a lo largo del tiempo tiene mayor influencia en el comportamiento, funciones y usos de un suelo que las químicas, siendo además más difícil de poder corregir sus defectos. Por ello, en caso de degradarse, no resultará fácil su rehabilitación. Las principales propiedades desde el punto de vista agronómico son las siguientes: la distribución porcentual según el tamaño de partículas, porosidad, densidad aparente, densidad real, retención de agua, permeabilidad y la infiltración. La aptitud de un suelo para desarrollar determinadas funciones viene condicionada, en gran medida, por estas propiedades, ya que determinan el almacenamiento y circulación del agua, el régimen de humedad del suelo, la facilidad de extracción de agua por parte de las plantas, la aireación, la facilidad de crecimiento de las raíces, la susceptibilidad a la erosión, los hábitats para los microorganismos, entre otros aspectos (Porta y col., 2008).

2.1.2 Propiedades químicas del suelo.

Los elementos químicos pueden hallarse en la fase sólida (en las redes cristalinas de los minerales y en la materia orgánica), en la fase líquida (en solución y en la interface entre las partículas sólidas y el agua del suelo) y en la fase gaseosa. La forma en la que se encuentra un elemento condiciona su reactividad, movilidad y biodisponibilidad. La biodisponibilidad de un elemento o compuesto expresa su disponibilidad para un organismo específico, es decir, la posibilidad de que cause un efecto (positivo o negativo) sobre el organismo en cuestión. La biodisponibilidad incide grandemente en la calidad de un suelo, ya que establece relaciones entre el comportamiento de los elementos y compuestos y su efecto sobre los organismos. En el caso de los elementos nutrientes, para que sean efectivos, interesa que se hallen en el suelo en una forma disponible, lo contrario de lo que interesa que ocurra con aquellos elementos y compuestos contaminantes o fitotóxicos. La biodisponibilidad de un elemento de naturaleza inorgánica se expresa en términos de concentración, mientras que con elementos orgánicos se hace a partir de una especie química específica (Porta y col., 2008). Los elementos esenciales para las plantas son aquellos sin los que la planta no es capaz de completar cualquier estadio de desarrollo (Cresser y col., 1993), entre los más importantes tenemos al Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).

2.1.3 Degradación de suelos y desertificación: un problema global

La degradación del suelo es la reducción de la capacidad de la tierra para proporcionar bienes y servicios y, por lo tanto, para sustentar la vida animal y humana. Sus causas son variadas pero pueden ser resumidas en dos grandes vertientes: las variaciones climáticas y las actividades humanas. La degradación puede ocurrir en cualquier ecosistema, pero cuando se presenta en zonas áridas se califica como desertificación, y es en estas áreas donde el problema es más grave, ya que los suelos son particularmente frágiles, la vegetación es escasa y el clima extremo. Este proceso se manifiesta inicialmente con la reducción de la productividad de las actividades económicas que sustenta, hasta alcanzar grados que hacen imposible el uso productivo del suelo (Figura 1). Alrededor del 70% de los 5.2 billones de hectáreas de tierras áridas utilizadas para agricultura en el mundo ya

están empobrecidos. Por lo tanto, la desertificación daña hoy casi un 30% de la superficie de los suelos del planeta (Inventario Nacional de Suelos/Semarnat, 2003).



Figura 1. Se muestra un ejemplo de un suelo degradado. (<http://www.ecologiahoy.com/degradacion-del-suelo>).

En la mayoría de los países, se presenta una tendencia hacia su agravamiento, que pone en peligro los medios de subsistencia de la sexta parte de la población mundial (Figura 2). En México, se estima que la desertificación afecta a una superficie que representa entre un 80% y 97% de su territorio, provocando la disminución de los rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales, así como la pérdida de la diversidad biológica. (López, 2001).

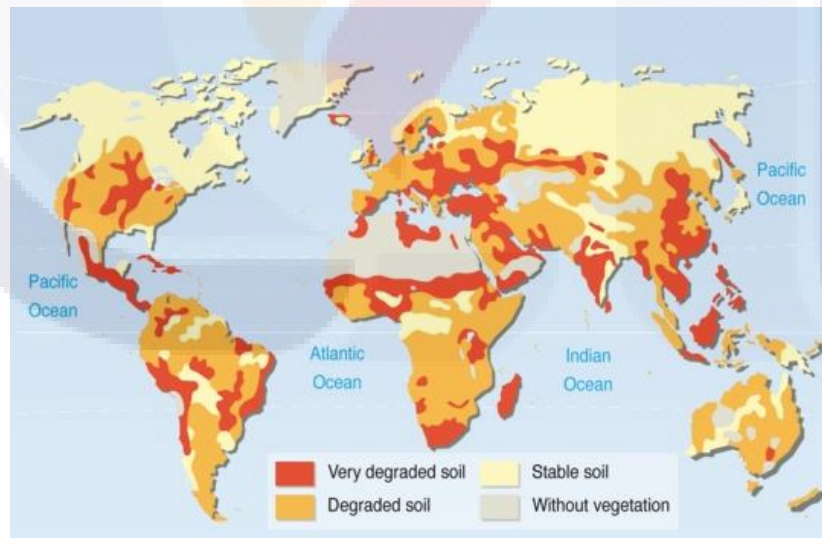


Figura 2. Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, Centro de Información y Referencia Internacional de Suelos (ISRIC)).

2.1.4 La degradación de suelos en México

En México, la desertificación forma parte de un problema de orden nacional que es la degradación de suelos en usos agropecuarios en tierras áridas. La desertificación es ante todo un problema de desarrollo sostenible. Es una cuestión de pobreza y bienestar humano, así como de la preservación del medio ambiente. El proceso más importante de degradación del suelo en México es el químico (Figura 3). Los efectos más dramáticos se presentan por la declinación de la fertilidad y la reducción del contenido de materia orgánica, lo que deriva en zonas improductivas para cualquier actividad económica. De la misma manera, la erosión también afecta las capas superficiales de las tierras, donde si bien es posible seguir desarrollando actividades agropecuarias y forestales, se presenta una baja considerable en la producción. Se ha identificado que la mayor degradación de los suelos del país se debe a la deforestación asociada a cambios de uso del suelo hacia actividades agropecuarias. El deterioro de los suelos relacionado con tales actividades se debe a prácticas de producción inadecuada tales como la aplicación excesiva de riego, la quema de residuos de cosecha, el exceso de labranza y la falta de prácticas de conservación de suelo y agua. (Semarnat, 2003).

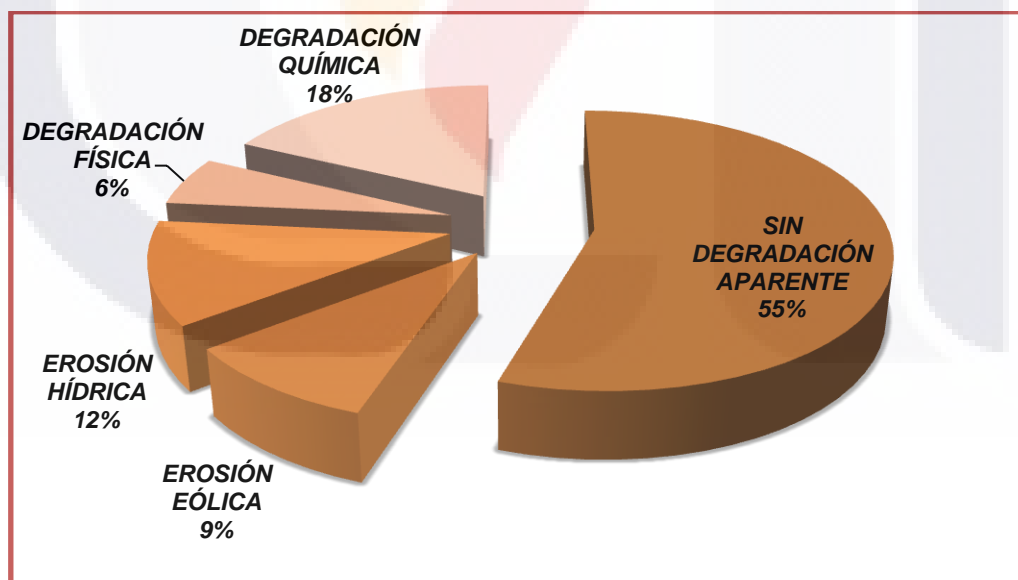


Figura 3. Superficie relativa afectada por procesos de degradación del suelo en México (Semarnat, 2003).

2.1.5 Degradación de suelos en Aguascalientes

En el estado de Aguascalientes el 50% del territorio se encuentra bajo algún tipo de degradación, entre las que se destacan degradación química (Figura 4), siendo uno de los factores causantes de esta, la agricultura. La desertificación es uno de los factores más serios que afecta la agricultura en el estado, este fenómeno trae consigo la disminución de la productividad de los suelos y la degradación de los mismos. (Semarnat, 2005)

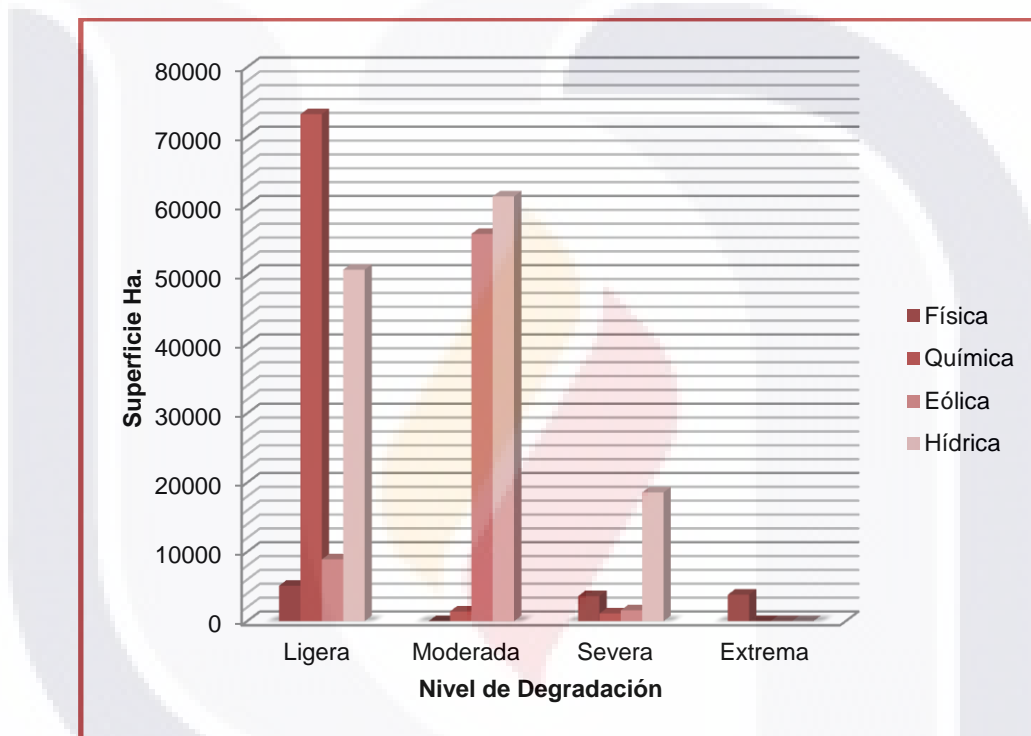


Figura 4. Superficie Afectada (ha) en Aguascalientes por procesos de degradación (Semarnat, 2005).

2.2 ABONOS ORGÁNICOS

Un abono orgánico es todo material orgánico aportado al suelo, con la intención de mejorar la disponibilidad de nutrientes, la textura, la estructura, la capacidad de retención de agua y la capacidad de infiltración. Es el resultado de un conjunto de materiales biodegradados y ricos en nutrientes. Con la aplicación de abonos orgánicos, además de aportar nutrientes, se busca aumentar la actividad biológica en el suelo, mejorando de esta manera la calidad y cantidad de la micro vida en el suelo (Soto y Meléndez, 2004).

Entre los abonos orgánicos, los más conocidos son la composta, el bocashi y el humus de lombriz, aunque también son comúnmente utilizados las aplicaciones de gallinaza y otros desechos vegetales frescos, como la pulpa del café (Figura 5).



Figura 5. Tipos de Abonos orgánicos (Soto, G. y col. 2004).

Un abono orgánico puede ser considerado fertilizante o acondicionador del suelo, dependiendo de su efecto en la nutrición vegetal. Los fertilizantes son fuente de nutrimentos rápidamente disponibles y tienen un efecto directo, que se refleja en corto tiempo en el crecimiento de las plantas. Los acondicionadores del suelo afectan el crecimiento de los cultivos indirectamente al mejorar las propiedades físicas, tales como la retención de agua, aireación, estructura y drenaje; propiedades que están íntimamente relacionadas con la prevención de la erosión del suelo y la recuperación de suelos degradados (Castellanos y col., 1996; López-Martínez y col., 2001; Cooperband, 2002). También, favorecen la diversidad y la actividad microbiológica del suelo (Neely y col., 1991).

En el mercado existe una gran variedad de tipos de abonos orgánicos debido tanto a la cantidad de materias primas disponibles como a los diferentes procesos de elaboración (Soto, 2003; Soto y Meléndez, 2003). Esto ha motivado en cierta forma, que en los últimos años se incremente su utilización para la producción de muchos cultivos (Meléndez,

2003). Su demanda también se relaciona con el efecto positivo que estos materiales tienen sobre el mejoramiento de diversas propiedades del suelo así como por su posible uso como sustitutivos o complementos de los fertilizantes sintéticos (Bertsch 1998; Castro y col., 2009).

Dependiendo de su composición química, procedencia y manejo, los abonos orgánicos pueden aportar cantidades importantes de nutrimentos para los cultivos, lo que reduce el uso de fertilizantes químicos (López-Martínez y col., 2001); también, pueden prevenir y controlar a patógenos del suelo (Van Brüggen y Grünwald, 1996; Romero-Lima y col., 2000).

Una de las ventajas adicionales de la fertilización orgánica es la menor pérdida potencial de nutrientes y la posibilidad de hacer una sola fertilización durante el ciclo de cultivo; resultando en una mayor actividad microbiana debido a las mejoras en la fertilidad física, química y biológica del suelo (Cervantes-Flores, 2004). Por otro lado, es posible obtener rendimientos equivalentes o superiores en producción orgánica respecto a los obtenidos con manejo convencional del suelo; debido a la mejoras edáficas anteriormente mencionadas (Bulluck III y col., 2002).

Las prácticas de gestión que implican la acumulación de materia orgánica del suelo tienden a tener una mayor capacidad para suministrar nutrientes (Seiter y Horwath, 2004; Gomiero y col., 2008), mejorar considerablemente la calidad del suelo, del agua y en consecuencia garantizar la producción sostenible de cultivos y la seguridad alimentaria. Jouquet y col. (2011), ponen de manifiesto la limitante del uso de la composta como sustituto de los fertilizantes químicos cuando se esperan efectos a corto plazo en el crecimiento de las plantas. La composta de lombriz, sin embargo, constituye una alternativa eficaz para disminuir la cantidad de fertilizantes inorgánicos, ya que conduce a mejorar las propiedades del suelo y la retención de nutrientes, y tiene los mismos efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas como los observados con los fertilizantes químicos.

2.3 HUMUS DE LOMBRIZ

Los métodos tradicionales de compostaje se traducen en pérdidas de 55% de la materia orgánica y de 30 a 50% de N (Ketkar, 1993). El vermicompostaje con lombrices ha sido reconocida como una técnica de compostaje que transforma sustancias orgánicas complejas en un producto estabilizado como el humus (Benítez y col., 2000). En este proceso, el introducir las lombrices de tierra mantiene condiciones aeróbicas en los residuos orgánicos, ingieren sólidos, convierten una parte de los compuestos orgánicos en biomasa y productos de la respiración, y expulsa lo restante en productos parcialmente estabilizados (es decir, vermicomposta) (Benítez y col., 2000). La vermicomposta obtenida es finamente dividida como un material parecido a una turba con alta porosidad, buena aireación, drenaje, capacidad de retención de agua, y una actividad microbiana muy alta, que la hace excelente como enmienda del suelo o acondicionador y como sustrato de cultivo (Edwards y Arancon, 2004; Arancon y col., 2008).

La norma NMX-FF-109-SCFI-2007 define el humus de lombriz de la siguiente forma: *“Producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante la crianza sistemática de lombrices de tierra, denominada lombricultura, que se utiliza fundamentalmente como mejorador, recuperador o enmienda orgánica de suelos, abono orgánico, inoculante microbiano, enraizador, germinador, sustrato de crecimiento, entre otros usos.”*

El humus de lombriz, está constituido exclusivamente por material orgánico resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia, derivado de la crianza de lombrices alimentadas con desechos orgánicos (NMX-FF-109-SCFI-2007).

Este material constituye un inóculo microbiano eficaz para el suelo, siendo su función primordial la de equilibrar la vida microbiana existente en él. Además, este compuesto acelera la germinación de semillas, acorta el período vegetativo de los cultivos, mejora y recupera las propiedades del suelo de cultivo, entre otras propiedades. El uso de la vermicomposta incrementa la fase orgánica del suelo y mejora las características fisicoquímicas para conservación y fertilización del suelo, derivando esto en una mayor productividad y un menor costo de operación (García, 2005).

Los efectos de las vermicompostas sobre el crecimiento de diversos cultivos incluyendo cereales y leguminosas, especies vegetales, plantas ornamentales y florales ha sido evaluado bajo condiciones de invernadero y en un menor grado bajo condiciones de campo (Atiyeh y col., 2002a).

La aplicación de humus de lombriz al suelo se considera una buena práctica de manejo en cualquier sistema de producción agrícola, debido a la estimulación del crecimiento y la actividad microbiana del suelo, la subsecuente mineralización de los nutrientes de la planta y el aumento de la fertilidad y calidad del suelo (Arancon y col., 2006; Ferreras y col., 2006).

Sin embargo, la influencia de la vermicomposta sobre las propiedades del suelo depende de la cantidad, tipo y tamaño de los materiales orgánicos añadidos. Además, la influencia sobre el mantenimiento de la calidad del medio ambiente que depende de los sustratos utilizados durante el proceso de vermicompostaje (Tejada y González, 2009).

La vermicomposta contiene sustancias activas que actúan como reguladoras de crecimiento, posee gran capacidad de intercambio catiónico (CIC), así como un alto contenido de ácidos húmicos, además de gran capacidad de retención de la humedad y porosidad elevada que facilita la aireación y drenaje del suelo y de los medios de crecimiento (Orozco y col., 1996; Castillo y col., 2000; Ndegwa y col., 2000). Castellanos y Pratt (1981) y Hartz y col. (2000), mencionan que el aporte de N y Carbono (C) al suelo puede ser significativo y se favorece la humificación y la formación de estructuras que generen capacidad de carga a nivel coloidal. Además de N y C, el aporte de otros elementos como el Calcio (Ca^+), Magnesio (Mg^+), Potasio (K^+) y Fósforo (P^+) puede ser importante, en suelos con una baja fertilidad (Evanylo y col., 2008).

Algunos estudios han corroborado el efecto positivo de estos materiales en el mejoramiento de la capacidad buffer del suelo y su efecto en la disminución de la acidez y correspondiente aumento en el pH del mismo (Babou y col., 2007; Narambuye y Haynes, 2007).

2.4 ÁCIDOS HÚMICOS

Las sustancias húmicas son una mezcla heterogénea de materiales orgánicos de origen natural que surgen de la descomposición de residuos vegetales y animales. Estos materiales orgánicos contienen carbono, que sirve como una fuente de alimento para los organismos del suelo tales como bacterias, algas, hongos y lombrices. Estos organismos del suelo rompen los enlaces químicos de los residuos a medida que digieren el carbono. Los residuos de los subproductos sirven como bloques de construcción de las sustancias húmicas, que no se descomponen fácilmente por los organismos del suelo (Hopkins y Stark, 2003), que disminuirá la lixiviación de nutrientes con agua de riego, y aumentará la eficiencia del uso de los fertilizantes (Mikkelsen, 2005).

Los ácidos húmicos tienen una gran capacidad para retener y transportar nutrientes, metales, pesticidas, etcétera; además de ser la fuente más importante de carbono orgánico terrestre y acuático (Álvarez y col., 2004; Brigante y col., 2006). Activan también, los procesos bioquímicos en plantas, como la respiración y fotosíntesis, con lo que se incrementa el contenido de clorofila, absorción de nutrientes, crecimiento de organismos del suelo, desarrollo de raíces, calidad y rendimientos de muchas plantas (Aganga y Tshwenyane, 2003).

También, se ha demostrado que los ácidos húmicos pueden servir como reguladores del crecimiento para controlar los niveles hormonales, estimular el crecimiento de plantas y aumentar la tolerancia al estrés, mejorar las propiedades físicas del suelo y de los iones metálicos complejos (Stevenson, 1982;. Serenella y col., 2002). Tienen constantes bajas de estabilidad de quelatos sintéticos para los metales (Mackowiak y col., 2001), incrementan el crecimiento y rendimiento de varios cultivos como las hortalizas (Hayes y Wilson, 1997; Padem y col., 1997; Atiyeh y col., 2002a; Zandonadi y col., 2007).

Además, se ha demostrado que provoca aumento en la biomasa y en la actividad microbiana (Sánchez-Monedero y col., 2008) y modifica la estructura de la comunidad bacteriana, estimulando el aumento de grupos bacterianos de acción favorable, que disminuyen el impacto de los fitopatógenos (De Brito- Álvarez y col., 1995; Chaoui y col., 2002).

2.5 EFECTO DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN LA FERTILIDAD DEL SUELO

Maheshwarapa y col. (1999) y Atiyeh y col. (2001) reportan que aumentos en la tasa de humus de lombriz en el suelo dio como resultado la disminución del pH. La producción de NH_4^+ , CO_2 y ácidos orgánicos durante el metabolismo microbiano de la vermicomposta puede ser atribuido a la disminución del pH del suelo (Albanell y col., 1988).

Marinari y col. (2000), Bhattacharjee y col. (2001), Hidalgo y Harkess (2002a, b), Ferreras y col. (2006), establecen que la adición de humus de lombriz puede producir una mejora significativa en las propiedades físicas tanto de los sustratos artificiales de cultivo como del suelo.

Los resultados obtenidos por Dimas y col. (2001), al evaluar abonos orgánicos indican cambios en las características químicas del suelo (MO, N y P) antes y después de la siembra de maíz. La Materia Orgánica (MO) mostro diferencias en los tratamientos en un 15%; se observó igual comportamiento con nitrógeno y fósforo. Esto se debe a que los abonos orgánicos liberan nutrimentos durante su mineralización. Sin embargo, no se registraron cambios significativos en pH, conductividad eléctrica (CE), Ca, Mg, Sodio (Na) y K. Lo anterior indica que el efecto de los abonos orgánicos fue sobre el aumento de MO, N y P. En el caso de características físicas, no existió diferencia significativa.

De acuerdo con Atiyeh y col. (2002), las lombrices de tierra provocan diferentes efectos benéficos, físicos, químicos y biológicos, sobre los suelos y sobre los medios de crecimiento, en consecuencia se ha demostrado que estos efectos pueden incrementar el rendimiento de los cultivos tanto en ecosistemas naturales como en los ecosistemas controlados. Los efectos benéficos se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y de la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos, a una creciente población microbiana y de metabolitos biológicamente activos, que participan como los reguladores de crecimiento de la planta.

En un estudio realizado por Álvarez-Sánchez y col. (2006) muestra que la adición de abonos orgánicos provocó cambios significativos en pH, CE, N inorgánico y MO. El material Tierra y abono para pasto provocó una disminución en el pH del suelo, en tanto

que el Super abono natural y Tabaco tendieron a alcalinizarlo. De los materiales orgánicos ensayados sólo la Tierra y abono para pasto, Super abono natural, Tabaco, Tierra de hoja y Abono de borrego incrementaron significativamente el contenido de sales en el suelo, aunque a cantidades no tóxicas para los cultivos, además, provocó cambios en la disponibilidad de N inorgánico.

Azarmi y col. (2008), manifiesta los efectos de la vermicomposta en las propiedades físicas y químicas del suelo al evaluarla en campo con un cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* var Súper Beta). Los resultados mostraron que la adición de humus de lombriz a una dosis de 15 ton/ha aumento significativamente ($P \leq 0,05$) el contenido de carbono orgánico total, el N, P, K, Ca, Zn y Mn en comparación con las parcelas testigo. Los suelos tratados con vermicomposta tenían significativamente más CE en comparación con las parcelas no enmendadas. La adición de humus de lombriz en el suelo causó una disminución del pH del suelo provocando un aumento en la capacidad buffer del suelo (Babou y col., 2007 y Naramabuye y Haynes, 2007). Se mejoraron las propiedades físicas tales como densidad aparente y porosidad en el suelo modificado con humus de lombriz (Azarmi y col., 2008).

Romina y col. (2009), destacan el efecto positivo de la combinación de lombricomposta y harina de hueso, encontrando un aumento en los contenidos de carbono orgánico particulado, la capacidad de intercambio catiónico y fósforo extractable en el suelo y los mayores rendimientos de acelga.

Tejada y González (2009), demostraron que la vermicomposta tuvo un efecto positivo sobre las propiedades biológicas del suelo y en la calidad y los parámetros de rendimiento del arroz con respecto al suelo. Éste aumento en las propiedades biológicas del suelo, produjo un incremento en la nutrición de la planta, lo que aumentó la calidad del arroz y su rendimiento. La aplicación de vermicomposta derivada de estiércol de vaca aumentó la concentración de proteína del grano (5,6%), la concentración de almidón del grano (7,8%), el porcentaje de granos completos (3,1%), y el rendimiento del arroz (7,9%) en comparación con los suelos con aplicaciones de vermicomposta a base de forraje verde. Estos resultados sugieren que la composición química de las vermicompostas influye en

las propiedades biológicas del suelo, y por lo tanto en los parámetros de rendimiento del arroz.

Estudios realizados por Castro y col. (2009) y Durán y Henríquez (2010), reportan un aumento sustancial en los contenidos disponibles de Ca, Mg, K y P conforme aumentaron las proporciones para diversos tipos de abonos orgánicos, aduciendo el aporte masivo de nutrientes en las altas cantidades de abonos orgánicos aplicados.

Kalantari y col. (2010), al evaluar el efecto de la composta y vermicomposta en el crecimiento de maíz revelan que las concentraciones de macro (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn) en las partes aéreas de la planta de maíz fueron significativamente ($P \leq 0,01$) afectados por los tratamientos. Las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en los tratamientos eran más altas que en el control. Las concentraciones de Fe y Mn en todos los tratamientos fueron significativamente ($P \leq 0,01$) más alta que el control, pero la concentración de Cu no se vio afectada por los tratamientos. La concentración de Zn en los tratamientos con vermicomposta fue menor que en el control.

En el estudio realizado por Jouquet y col. (2011), manifiestan que tanto la composta como la vermicomposta condujeron a una mejora en las propiedades del suelo con un incremento en el pH, materia orgánica del suelo y contenido de nutrientes, en comparación con el suelo fertilizado con productos minerales sintéticos. La fertilización química, es la práctica menos eficaz basada en la cantidad de nutrientes lixiviados en el suelo (aproximadamente 38% de N y 22% de K, comparado con menos de 10 y 5% de N y K con abonos orgánicos). La vermicomposta parece ser una alternativa relevante a los fertilizantes químicos porque conduce a mejoras similares en el crecimiento de plantas así como, al mismo tiempo, hay un aumento de la calidad del suelo y una disminución en la lixiviación de nutrientes.

2.6 EFECTO DEL HUMUS DE LOMBRIZ SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE LAS PLANTAS.

Los resultados de la prueba de campo en Juchitepec, Estado de México en el cultivo de papa variedad *Alpha* usando combinaciones de abonos orgánicos y fertilizantes minerales

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

para ajustar la dosis recomendada de fertilización de 165-200-300, indicaron que la gallinaza fue el abono que aportó mayor cantidad de nutrimentos de origen orgánico, tuvo la mejor respuesta en rendimiento comercial, producción de materia seca, acumulación de N por tubérculos y presentó el mayor contenido de C-biomasa microbiana en suelo. La aplicación de vermicomposta produjo menores niveles de rendimiento que los otros abonos, con una reducción del rendimiento al elevar la dosis de vermicomposta, pero en la dosis recomendada obtuvo mayor concentración de N en tubérculos y, por lo tanto, mejor calidad biológica al aumentar el contenido de proteína (Romero-Lima y col., 2000).

En un estudio de efectividad biológica realizado por Álvarez-Sánchez y col. (2006), muestra que la adición de abonos orgánicos al suelo afectó el crecimiento del trigo como altura, peso seco de raíz, paja, grano y peso. Efectos significativos se encontraron en 30% de los abonos evaluados como Tierra y abono para pasto, Tabaco y Super abono natural. El máximo rendimiento del cultivo se alcanzó cuando la dosis de Tierra y abono para pasto fue de 15 ton/ha, dosis mayores ocasionaron un efecto en detrimento del crecimiento del cultivo. El resto de los materiales orgánicos no mostró efectividad en la producción de raíz, paja, grano y materia seca. Los abonos orgánicos incrementaron significativamente la absorción de N, P, K, Cu y Zn por el cultivo con relación al testigo absoluto, lo que indica que fueron fuentes importantes de estos nutrimentos. Las mayores extracciones nutrimentales fueron favorecidas por los materiales Tierra y abono para pasto, Tabaco y Super abono natural. El primero de éstos fue fuente importante de N, P, K, Cu y Zn; de forma similar, el Tabaco, excepto de Cu; el Super abono natural proporcionó cantidades significativas de N, P y Zn. A diferencia de éstos, el Abono de borrego y Tierra y abono para macetas no fueron fuente importante de ningún nutrimento. El resto de los materiales favoreció la acumulación de P por el cultivo.

Atiyeh y col. (2000), al sustituir el medio de crecimiento comercial Metro – Mix 360 con 20% de vermicomposta de estiércol de cerdo, concluyeron que además de mejorar el crecimiento de plántulas de tomate, también se logró incrementar significativamente el rendimiento de este cultivo bajo condiciones de invernadero, con una producción de 5.1 kg/planta. Este valor resultó 58% más alto que el rendimiento del testigo (Metro – Mix 360 sin vermicomposta).

Dimas y col. (2001), indican que el rendimiento de grano de maíz con el tratamiento de fertilización inorgánica 120-40-00 de N-P-K fue el mejor (6.05 ton/ha); el abono orgánico de composta (5.66 ton/ha) mostró similares resultados. Por lo tanto, los abonos orgánicos, principalmente composta con dosis de 20 a 30 ton/ha, son una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica. Esto se debe a que los abonos orgánicos abastecen al suelo de nutrimentos como el N y los demás elementos esenciales que contiene la composta. Se sugiere trabajar en el mediano plazo con abonos orgánicos de composta y gallinaza en las dosis de 20 a 30 y 4 a 8 ton/ha, respectivamente; con ellos se han obtenido los mejores resultados y hay que mantenerlas como una alternativa viable a la sustitución o reducción de la fertilización inorgánica.

Atiyeh y col. (2002), señalan que la mayor respuesta de crecimiento y de rendimiento de las plantas se ha presentado cuando la vermicomposta constituye una proporción relativamente pequeña (10 - 40%) del volumen del medio de crecimiento de la planta dentro de los que estos materiales son incorporados. Generalmente, ni proporciones más grandes o más reducidas de vermicomposta sustituyendo a los medios de crecimiento no han incrementado el crecimiento de las plantas.

Chaoui y col. (2003), señalan que a diferencia de los fertilizantes minerales, la vermicomposta constituye una fuente de nutrientes de liberación lenta, que se van poniendo a disposición de la planta a medida que ésta los va necesitando.

En la comparación de dos genotipos de tomate - Adela y André – desarrollados en diferentes mezclas de vermicomposta: arena (VC:A; %:%, en base peso) vs sustrato con arena y solución nutritiva, en invernadero, se destacó lo siguiente: para el genotipo André el rendimiento de 17.05 kg/m², con la mezcla 12.5:87.5 (%:%) aunque resultó estadísticamente igual ($P \leq 0.05$) al testigo, en el que se obtuvieron 15.10 kg/m², lo superó en un 11.43%. (Moreno–Reséndez y col., 2005). Adicionalmente, los mismos autores establecieron que con la misma mezcla: a) se obtuvieron los valores promedio significativamente más altos para las variables de calidad: número de lóculos (5), sólidos solubles (6.2 ° Brix), diámetro ecuatorial (7.47 cm) y peso de fruto (224.71 gr/fruto); b) en el caso del diámetro polar (6.5 cm) esta mezcla sólo fue superada por la mezcla 50:50 (%:%) donde se obtuvo un valor de 6.9 cm; y c) con respecto al espesor de pulpa los

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

diferentes tratamientos fueron estadísticamente iguales con un promedio de 0.8 cm. Los resultados sugieren que la fertilización del genotipo André, a través de la solución nutritiva, puede ser sustituida con la aplicación de vermicomposta en el medio de crecimiento.

Las ventajas de utilizar tratamientos con vermicomposta agregando adicionalmente micronutrientes o bien sin ellos, con respecto al tratamiento testigo (fertilización inorgánica), indican que los frutos en el cultivo de tomate incrementaron contenidos de sólidos solubles, número, absorción de K^+ e inician la floración 10 días antes (Rodríguez-Dimas y col., 2007).

Fortis-Hernández y col. (2009), evaluaron el efecto de la aplicación de abonos orgánicos (biocomposta y vermicomposta) en la producción de forraje de un híbrido de maíz amarillo bajo riego por goteo. En sus resultados reportan que los mayores rendimientos de forraje correspondieron a la vermicomposta (64 mg ha^{-1}) y a la biocomposta (56 mg ha^{-1}); los relativos a materia seca fueron de 13 mg ha^{-1} y 11 mg ha^{-1} , respectivamente.

Datos agrupados de más de dos años en un estudio realizado por Lingaraju y col. (2010), revelaron que los tratamientos orgánicos fueron superiores en comparación con la aplicación de sólo fertilizantes inorgánicos. Entre los abonos orgánicos, la aplicación de estiércol de corral (FYM) a $7,5 \text{ ton/ha}$ registró un rendimiento significativamente mayor del maíz ($5,988 \text{ kg/ha}$), rendimiento de gramo de Bengala ($1,566 \text{ kg/ha}$) y rendimiento equivalente de maíz ($11,650 \text{ kg/ha}$) en comparación al resto de los abonos orgánicos, seguido del tratamiento con vermicomposta a 2.5 ton/ha y estiércol de aves de corral a 1.0 ton/ha .

Kalantari y col. (2010), encontraron que el mejor crecimiento en las plantas de maíz fue observado con el tratamiento de humus de lombriz al 3% + sulfato de Fe y humus de lombriz 3%, las concentraciones de nutrientes estaban en sus niveles normales en estos tratamientos. El tratamiento con composta produjo menos materia seca en comparación con el humus de lombriz y el testigo. La vermicomposta producida sólo a partir de estiércol y combinada con sulfato de Fe se considera adecuada para las mezclas de macetas con la dosis de 3% (base en peso). La comparación de los niveles normales de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

micro y macro nutrientes con los determinados en este tratamiento mostró que las concentraciones de estos elementos eran suficientes. Sin embargo, la aplicación de composta a base de estiércol no es apropiada porque reduce el rendimiento de materia seca.

Domínguez y col. (2010), mencionan que la aparición de otros trabajos ha puesto de manifiesto que los efectos del humus de lombriz podrían no reducirse a los meramente físicos y químicos y señalan la posible existencia de mecanismos biológicos de estimulación del crecimiento vegetal.

Los resultados que obtienen Robledo y col. (2010), sugieren que existe una relación entre los efectos causados por el agregado de vermicomposta sobre la dinámica microbiológica del suelo de invernáculo y la productividad del mismo. El aumento en dicha productividad puede relacionarse con un incremento de la abundancia de microorganismos promotores del crecimiento vegetal.

Estudios sobre los efectos de los ácidos húmicos han provocado resultados consistentemente positivos sobre el crecimiento de la planta independientemente de la nutrición. Por ejemplo, en experimentos controlados, los ácidos húmicos incrementaron la producción de materia seca de plántulas de maíz y avena; el número y la longitud de las raíces de tabaco, los pesos secos de plántulas, raíces, y nódulos de la soya, el nogal y las plantas de trébol, el crecimiento vegetativo de las plantas de achicoria, e indujeron la formación de retoños (plántulas) y raíces en cultivos tropicales desarrollados en cultivo de tejidos (Atiyeh y col., 2002a).

La incorporación de ácidos húmicos derivados del proceso de vermicomposteo, dentro de cada medio de crecimiento, incrementó significativamente el crecimiento de las plantas de tomate y de pepino, en términos de la altura de las plantas, el área foliar, y el peso seco de plántula y raíces. El crecimiento de la planta incrementó conforme se aumentó la concentración de los ácidos húmicos dentro de los medios de crecimiento hasta cierta proporción, pero esto difirió de acuerdo con la especie de planta, el origen de la vermicomposta, y la naturaleza del medio de crecimiento. El crecimiento de la planta tendió a incrementarse por los tratamientos de las plantas con 50 - 500 ppm de ácidos

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

húmicos, pero con frecuencia disminuyó significativamente cuando las concentraciones de los ácidos húmicos aplicados al medio de crecimiento rebasó los 500 - 1000 ppm. Las respuestas de crecimiento probablemente fueron debidas a la actividad que como hormonas tiene los ácidos húmicos de las vermicompostas o podrían haberse debido a hormonas de crecimiento de la planta adsorbidas dentro de los tomates (Atiyeh y col., 2002a).

Selim y col. (2009), en un estudio han concluido que la adición de los ácidos húmicos a los abonos que contengan nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) a través del sistema de riego por goteo dio como resultado menor lixiviación de N y K a zonas más profundas y de mayor disponibilidad de P a una capa más profunda de suelo. Los mejores tratamientos para mejorar el rendimiento, la calidad del tubérculo, el estado nutricional de los órganos de papa y la fertilidad del suelo en comparación con la dosis recomendada de NPK (control) fue la adición de los ácidos húmicos con fertirrigación al 100% seguido por el tratamiento al 75% de la fertirrigación NPK combinado con poca diferencia entre los dos tratamientos.

Yasar y col. (2009), demostraron en un estudio que tanto las aplicaciones foliares y en el suelo de ácidos húmicos, resultan en mayores rendimientos y calidad de los pimientos cultivados orgánicamente. La aplicación de los ácidos húmicos influyó significativamente en el contenido de clorofila y este efecto fue principalmente en el contenido de clorofila b. La aplicación foliar de 20 ml/L y de 20 ml/L de ácidos húmicos al suelo, resultó en el mayor contenido de clorofila. Las aplicaciones foliares y al suelo también, condujo a una media significativamente mayor en el peso del fruto, y a un rendimiento precoz que el control.

Resultados similares se obtuvieron en frutos de tomate por Atiyeh y col. (2002), quienes determinaron que el tratamiento de ácidos húmicos a diferentes concentraciones mejoró significativamente el rendimiento del tomate.

2.7 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE MAÍZ

2.7.1 Importancia mundial

México es el cuarto productor de maíz en el mundo, y también es un importante consumidor del mismo. Aunque se cubre prácticamente la totalidad de la demanda del maíz blanco con la producción nacional, el país es deficitario en maíz amarillo, que tiene diversos usos, principalmente pecuario, por lo que se tienen requerimientos de importación superiores a los cinco millones de toneladas promedio anual. Los principales países productores de maíz son: Estados Unidos de América, que contribuyó con el 40% de la producción, seguido por China con el 19%, Brasil con 6% y México con 3%. (Miramontes-Piña y col., 2007).

2.7.2 Importancia nacional

Desde el punto de vista alimentario, económico y social, el maíz es el cultivo más importante de México. Durante el periodo 1996 - 2006 ocupó el 51% de las superficies sembradas y cosechadas, en promedio anual; generó el 7.4% del volumen de producción agrícola, representando el 30% del valor de la producción. La participación del volumen obtenido de maíz en la producción de cereales aumento, ya que en 1996 la participación del maíz fue de 61.5%, en tanto que en 2006 llegó al máximo nivel alcanzado en el periodo que se analiza: 68.6% de la producción de cereales (Figura 6). Los principales estados productores de maíz blanco son: Sinaloa, que aporta el 23%; Jalisco, 13%; Michoacán, Chiapas y Guerrero que contribuyen con el 7% cada uno; en conjunto, estas entidades aportaron el 57% de la producción de 2005. Otros importantes estados en la producción de este grano son Estado de México y Guanajuato con 6% en cada caso; Veracruz, 5% y Puebla con 4%. (Miramontes-Piña y col., 2007).

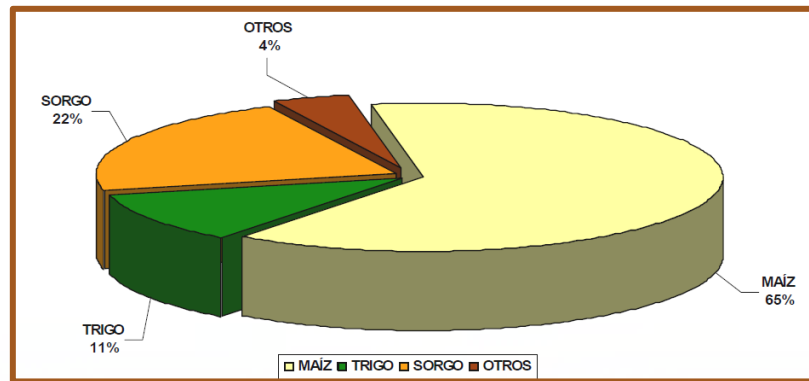


Figura 6. Participación de la producción de maíz en la producción de cereales 1996-2006 (Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON-SIAP)).

2.7.3 Importancia estatal

En el año 2009, se sembraron en el estado de Aguascalientes 22,066 hectáreas con cultivo de maíz, correspondiendo al 64.66% de la superficie cultivada bajo condiciones de irrigación. El valor de la producción fue alrededor de 478 millones de pesos anuales, cifra que correspondió al 50.84% del valor de la producción para todos los cultivos bajo riego en el estado (SIAP, 2011).

2.8 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE CHILE

2.8.1 Importancia Mundial

La producción de chile a escala mundial se localiza principalmente en China, México, Turquía, España, Estados Unidos, Nigeria e Indonesia. En los últimos 10 años, esa producción, se ha incrementado gradualmente a una tasa de crecimiento anual promedio de 6.26% para un acumulado durante el período 1992-2001 de 56,3%. Con facilidad podría pensarse que México es el país con mayor producción mundial, al ser el que mayor variedad genética de *Capsicum* posee, sin embargo no es así, ocupa el segundo lugar después de China y es por los bajos rendimientos que registra, los que oscilan alrededor de 10 ton/ha. México es la región del mundo en donde se produce no sólo el mayor volumen de chile en fresco, sino que además, presenta el mayor número de variedades, las que dependen de la región (ya que algunas se adaptan mejor a ciertas condiciones ambientales), así como de la cultura productiva y de consumo. (SIAP, 2011).

2.8.2 Importancia Nacional

Después del maíz, el chile es el producto agrícola más representativo de México; se cultivan 148.7 mil hectáreas de chiles, con una producción de cerca de 2.33 millones de toneladas de producto fresco. Los principales estados productores son Zacatecas y Chihuahua quienes representan el 30 y el 21% respectivamente de la superficie cultivada a nivel nacional (Figura 7).

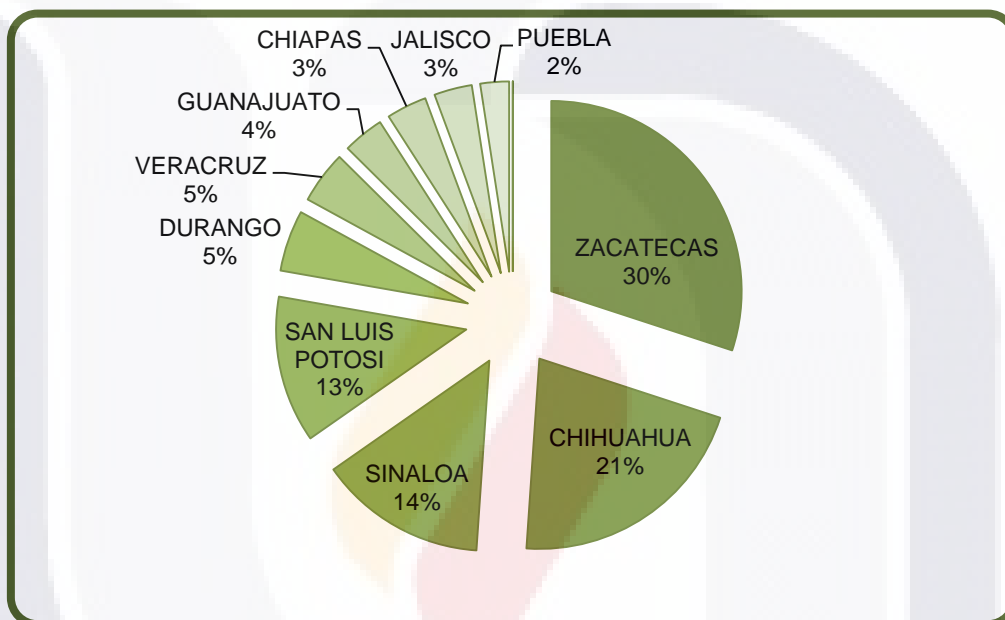


Figura 7. Superficie cultivada de chile en la República Mexicana (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)).

El chile verde, principal tipo por volumen y valor, se produce durante la mayor parte del año. La cosecha del ciclo otoño-invierno inicia en diciembre y concluye en agosto. El ciclo primavera-verano abarca de junio a marzo (SIAP, 2012).

En la última década la superficie sembrada de chiles registró un decremento medio anual de -0.6%, sin embargo, el rendimiento aumentó: la producción mantuvo un ritmo de crecimiento de 1.5%. El comportamiento es resultado de la incorporación de sistemas de producción cada vez más avanzados y de la proliferación de invernaderos y otros esquemas de agricultura protegida.

2.8.3 Importancia estatal

El cultivo de chile es la hortaliza más importante en el estado de Aguascalientes. Las estadísticas para el ciclo primavera-verano del 2012 indican una superficie de 781 ha, cantidad muy superior a la superficie plantada con jitomate o tomate verde. La producción de chile verde fue de 12,704.7 toneladas para ese ciclo (SIAP, 2012).



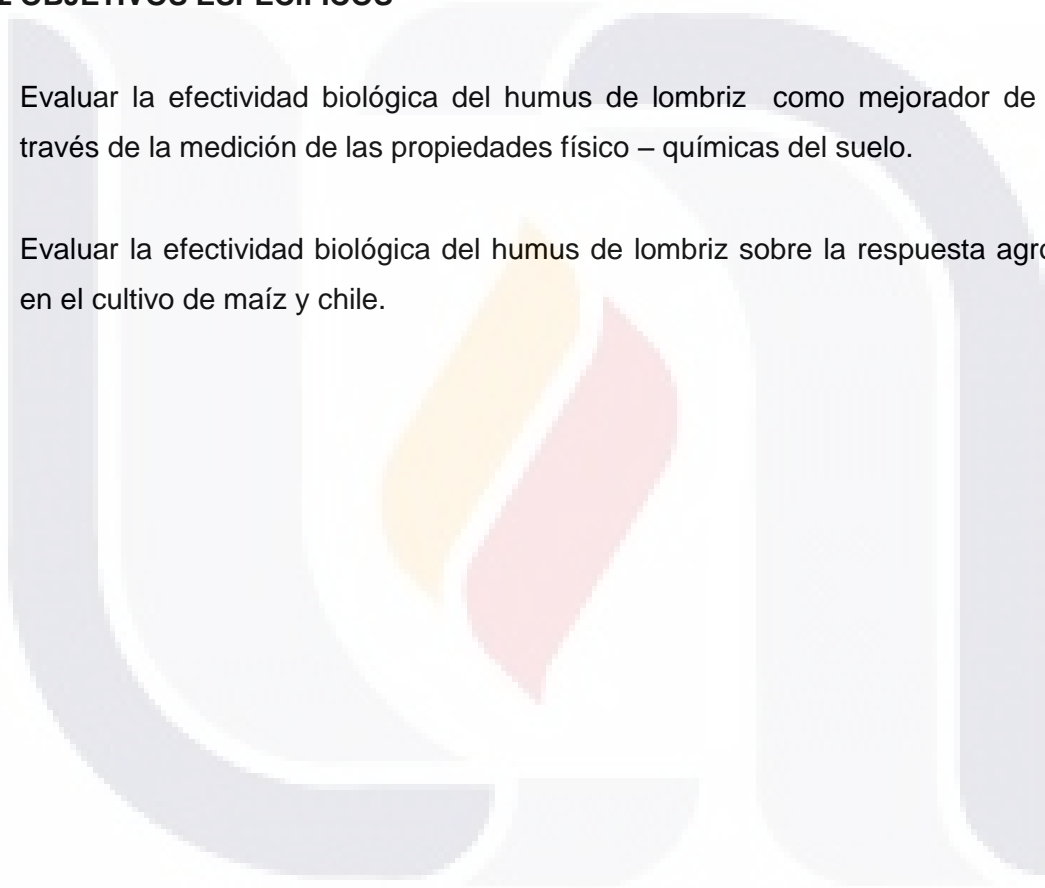
3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la efectividad del humus de lombriz sobre las propiedades del suelo y variables productivas en los cultivos de maíz y chile.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la efectividad biológica del humus de lombriz como mejorador de suelo a través de la medición de las propiedades físico – químicas del suelo.
- Evaluar la efectividad biológica del humus de lombriz sobre la respuesta agronómica en el cultivo de maíz y chile.



4. HIPÓTESIS

El humus de lombriz en ciertas concentraciones mejora las propiedades físico – químicas del suelo y la respuesta agronómica en los cultivos de maíz y chile.



5. MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron tres experimentos para abordar los objetivos planteados durante el estudio; bajo condiciones de campo se realizó un experimento con cultivo de maíz durante el ciclo primavera-verano (PV) en el año 2011 y con el cultivo de chile durante PV-2012; y bajo condiciones de invernadero se estableció un experimento con cultivo de maíz en el período comprendido entre agosto y noviembre del 2013.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE TRABAJO DEL EXPERIMENTO.

Se llevaron a cabo tres experimentos en el Área Agrícola de la Posta Zootécnica del Centro de Ciencias Agropecuarias (CCA) de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), situada en las coordenadas siguientes: 21°58'20" Latitud Norte, 102°21'44" Longitud Oeste y a 1,905 msnm. La zona geográfica donde se emplazó el proyecto es de agricultura de regadío, aunque se trata de un terreno seco y árido. Desde Aguascalientes, en dirección norte y a unos 10 kilómetros (km) de distancia, se localiza el Municipio de Jesús María. Siguiendo al oeste a través de una carretera secundaria con longitud de 3 km se llega hasta a la Posta Zootécnica. El Área Agrícola se sitúa a unos 2 km en dirección este de la Posta. Para acceder a este lugar existe un camino de tierra sin asfaltar que se encuentra en perfecto estado, transitable para cualquier vehículo y maquinaria agrícola, ya sea pesada o ligera (Figura 8).



Figura 8. Fotografía aérea de la zona de trabajo, donde se marca en círculo azul el Centro de Ciencias Agropecuarias y en círculo rojo el Área Agrícola donde se llevará a cabo el presente experimento.

5.2 ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL HUMUS DE LOMBRIZ

Se evaluó humus de lombriz granulado y en forma líquida (lixiviado), ambas presentaciones producidas por la empresa Humus de Aguascalientes SPR de LR. El producto fue analizado para determinar el contenido de nutrientes, el pH y la conductividad eléctrica (CE), el estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Nutrientes Vegetales que se encuentra en el CCA de la UAA. A partir de los análisis (tabla 1) y las demandas de nutrientes para los cultivos de maíz y chile se diseñaron los tratamientos del presente estudio.

Tabla 1. Análisis del contenido de nutrientes totales del humus de lombriz.

Nutriente	Humus de Lombriz	
	Granulado	Lixiviado
N%	1.68	0.83
P%	0.76	0.44
K%	1.15	16.13
Ca%	2.27	1.27
Mg%	0.61	0.48
Na mg kg ⁻¹	1208.3	604.30
Fe mg kg ⁻¹	7098	7.80
Mn mg kg ⁻¹	314.9	0.90
Zn mg kg ⁻¹	153.0	0.40
Cu mg kg ⁻¹	30.4	0.30
B mg kg ⁻¹	70.7	0.00
pH	8.66	7.80
C.E. (dS m ⁻¹)	2.65	9.10

N=Nitrógeno, P=Fósforo, K=Potasio, Ca=Calcio, Mg=Magnesio, Na=Sodio, Fe=Fierro, Mn=Manganeso, Zn=Zinc, Cu=Cobre, B=Boro, C.E.=Conductividad eléctrica.

5.3 EXPERIMENTO DE MAÍZ.

Los tratamientos se diseñaron considerando una producción esperada de 10 ton/ha de grano para lo que Ramos Gourcy y col. (2011) estimó que es necesario aplicar 250kg/ha de Nitrógeno (N), 150kg/ha Fósforo (P), 260kg/ha Potasio (K), 45kg/ha Calcio (Ca), y

60kg/ha Magnesio (Mg). Los tratamientos y las aportaciones de nutrientes se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Aportaciones de nutrientes al suelo para cada tratamiento del estudio en el ensayo de maíz.

Nutriente	Contenido de humus de lombriz – granulado (%)	Tratamientos (ton/ha de humus de lombriz)			
		0 (Control)	10	20	30
		Contenido de nutrientes (kg/ha)			
N	1.68	0	168	336	504
P	0.76	0	76	152	228
K	1.15	0	115	230	345
Ca	2.27	0	227	454	681
Mg	0.61	0	61	122	183

N=Nitrógeno, P=Fósforo, K=Potasio, Ca=Calcio, Mg=Magnesio.

Se utilizó un diseño experimental de Bloques al Azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones (4x3) con arreglo en franjas (Tabla 3).

Tabla 3. Diseño experimental del ensayo de maíz

BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III
BORDE		
Tratamiento 20 ton/ha	Tratamiento Control 0 ton/ha	Tratamiento 10 ton/ha
Tratamiento Control 0 ton/ha	Tratamiento 30 ton/ha	Tratamiento 20 ton/ha
Tratamiento 10 ton/ha	Tratamiento 20 ton/ha	Tratamiento 30 ton/ha
Tratamiento 30 ton/ha	Tratamiento 10 ton/ha	Tratamiento Control 0 ton/ha
BORDE		

5.3.1 Descripción y manejo de las unidades experimentales.

La superficie de cada unidad experimental fue de 32 m² que correspondió a cuatro surcos de 10 m de largo con una separación de 0.8 m. La parcela útil se integró de los dos surcos centrales y 5 m de longitud (parte central de la unidad experimental), como se muestra en la figura 9. Entre cada repetición se dejó una separación de 0.5 m. Se dejó un

surco como borde en cada lado del ensayo. La superficie del experimento fue de 446.4 m².

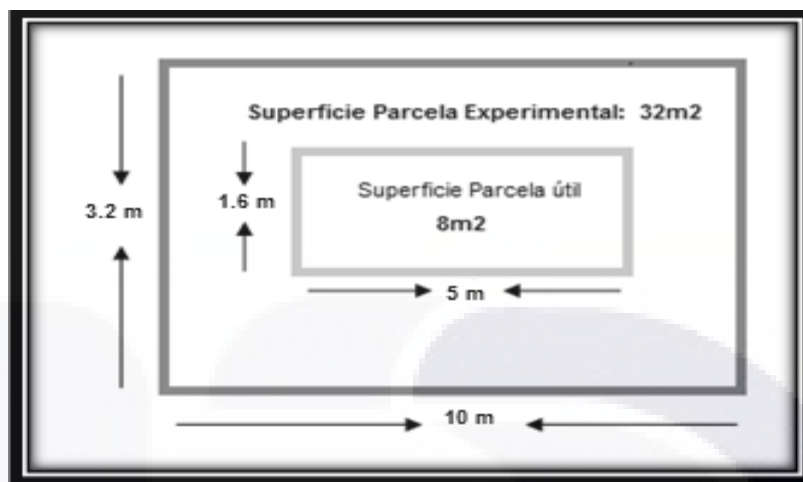


Figura 9. Dimensiones de la parcela experimental y útil del ensayo de maíz.

El humus de lombriz fue aplicado manualmente e incorporado con un paso de rastra antes de la siembra, la que se llevó a cabo el día 11 de julio del 2011 a una distancia de 0.15cm entre semillas y entre surcos de 0.80cm para una densidad de 84,000 plantas por hectárea. En cada surco se colocó cintilla para riego por goteo de la marca John Deere calibre 6,000 con emisores a cada 20 cm. Se utilizó un híbrido de maíz blanco Cebú de la Casa Semillera ASGROW. Para el establecimiento del cultivo se empleó la sembradora de precisión marca John Deere (figura 10).

La preparación del terreno se manejó de la forma tradicional de preparación de suelos (arado, dos pasos de rastra, siembra y escarda). El riego de la parcela se llevo a cabo según la evapotranspiración potencial que se midió en el tanque evaporímetro tipo "A" que se dispone en el Área Agrícola. Se llevo además un control de la humedad a través de un medidor de humedad del suelo. Para el control fitosanitario de la parcela (malezas, plagas y enfermedades), se empleó el paquete tecnológico para el manejo de cultivo de maíz de grano del INIFAP (Inifap, 1998). Todas las actividades fueron calendarizadas, llevándose un registro pormenorizado de cumplimiento del cronograma propuesto.



Figura 10. Establecimiento del ensayo de maíz.

5.3.2 Muestreo y análisis de suelos

Se realizaron dos muestreos al suelo (figura 11); al inicio y al término del experimento, se consideró una muestra compuesta de suelo por cada una de las unidades experimentales. Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0-40 cm aproximadamente, utilizando una barrena de media caña marca AMS de 40 cm de longitud. La muestra se tomó introduciendo la barrena en el suelo hasta unos 40 cm de profundidad, tirando de ella hacia arriba y pasando el suelo adherido a una bolsa de plástico transparente de 30x40 cm. Se hicieron un promedio de 30 sub muestreos y se colocaron en las bolsas de plástico hasta completar aproximadamente 2 kilogramos de tierra, cada bolsa fue etiquetada para identificar cada tratamiento. Estas sub muestras se colectaron recorriendo la parcela en zig – zag.



Figura 11. Muestreo de suelos.

Cada muestra se analizó por separado, los Análisis de Fertilidad y Salinidad del suelo se hicieron en el Laboratorio de Análisis de suelo, Agua y Nutrientes Vegetales perteneciente al Departamento de Disciplinas Agrícolas del CCA de la UAA. La metodología usada en estos análisis se basa en los establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Se prepararon las muestras del suelo (ANEXO A) de acuerdo con el procedimiento establecido por la Norma Oficial Mexicana (DOF, 2002). Para cada variable a medir se utilizaron los siguientes métodos:

- **Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos** (DOF, 2002). Bajo este método se eliminó la agregación debida a materia orgánica y la floculación debida a los cationes calcio y magnesio. No se eliminaron otros cementantes como carbonatos. El tiempo de lectura fue de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm (arena) y de 2 horas para partículas de diámetro mayores de 0.002 mm (limo y arena). (ANEXO B)
- **Determinación del pH del suelo a través del Método electrométrico en una solución de agua pura 1:2** (Jackson, 1964). (ANEXO C)
- **Determinación de la densidad aparente del suelo por medio de probeta** (DOF, 2002). (ANEXO D)
- **Determinación de materia orgánica del suelo a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black** (Jackson, 1964). La

determinación de materia orgánica del suelo se evaluó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basó en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Con este procedimiento se detectó entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que fue necesario introducir un factor de corrección. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77). (ANEXO E)

- **Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo a través del Método para la determinación de nitrógeno inorgánico extraíble con el procedimiento micro-Kjeldahl** (Bremner, 1965). Se utilizó como índice de disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Se basó en la extracción del amonio intercambiable por equilibrio de la muestra de suelo con KCl 2 N (cloruro de potasio) y su determinación por destilación mediante arrastre de vapor en presencia de MgO (óxido de magnesio). La adición de la aleación de Devarda permitió incluir la determinación de nitratos y nitritos. (ANEXO F)
- **Determinación del fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos por el procedimiento de Olsen y colaboradores** (Olsen y col., 1965). El fósforo fue extraído del suelo con una solución de NaHCO₃ 0.5 M (bicarbonato de sodio) ajustado a un pH de 8.5. En suelos neutros, calcáreos o alcalinos, conteniendo fosfatos de calcio, este extractante disminuye la concentración de Ca (calcio) en solución a través de una precipitación del CaCO₃ (carbonato de calcio), por tanto la concentración de P (fósforo) en solución se incrementó (ANEXO G)
- **Método para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺) de los suelos, empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante** (DOF, 2002). (ANEXO H)
- **Método para la determinación de micro nutrientes y metales contaminantes (hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo, cadmio y níquel) del suelo por medio del Quelatante DTPA** (Lindsay y col., 1978). Los procedimientos analíticos

tendientes a evaluar la disponibilidad de algún metal, tal como zinc, cobre, hierro, manganeso, plomo, cadmio o níquel, fundamentalmente se asocian a su capacidad para disolver o extraer alguna forma química del metal presente en el suelo. Entre las sustancias utilizadas para recuperar a los metales del suelo, destacan aquellas que emplean a compuestos orgánicos con la capacidad de formar complejos estables, tal es el caso del DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético) (ANEXO I).

- **Determinación de boro en el suelo con azometina-h a través del Método para la determinación de boro del suelo, usando como extractante cloruro de calcio 1.0 M y cuantificándolo con una solución de azometina-H (DOF, 2002).** La extracción del boro del suelo se hizo con una solución de cloruro de calcio 1.0 M, ya que debido a la acción floculante del calcio sobre los componentes del suelo no se presenta turbidez en los extractos. (ANEXO J)
- **Obtención del extracto de Saturación por filtración con vacío.** En un recipiente de plástico con tapadera hermética se pesaron 300 gr de suelo, se agregó agua destilada al suelo mezclando con ayuda de una espátula, hasta alcanzar el punto aproximado de saturación, se tapó el recipiente plástico que contiene la mezcla suelo-agua y se dejó reposar durante 20 horas para permitir que el suelo embeba agua. En un embudo Buchner se colocó papel filtro Ahlstrum No. 94, se ajustó un tapón de hule monohoradado al embudo, para la colecta del extracto de saturación se colocó un tubo de ensayo en el interior de un matraz kitazato posteriormente se instaló el embudo con su tapón sobre el matraz de forma que el vástago del embudo quedo alineado con la boca del tubo de ensayo que se encontraba en el interior del matraz, mediante un tubo de plástico se conectó el matraz kitazato con una línea de vacío, se colocó la pasta de suelo saturado que previamente se había preparado en el embudo Buchner para poder transferir la pasta y se activó la bomba de vacío (DOF, 2002).
- **La determinación del pH y C.E. del suelo medido en el extracto de saturación se hizo a través un potenciómetro (DOF, 2002).** Se tomó la muestra del extracto de saturación para hacer las mediciones. Se calibró el potenciómetro con las

soluciones reguladores, se enjuagaron con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras, se introdujo el electrodo en la suspensión, se registró el pH y la CE de cada una de las muestras al momento en que la lectura se estabilizo.

- **Método para determinar los cationes solubles (Ca, Mg, Na y K) en el extracto de saturación por medición en un aparato de absorción atómica (Ca y Mg) y en un espectrofotómetro de flama (Na y K)** (Chapman, 1965). El calcio y el magnesio solubles fueron medidos por espectrofotometría de absorción atómica y el potasio y el sodio por espectrofotometría de emisión atómica en los extractos diluidos. Las interferencias en las mediciones fueron eliminadas con lantano (La) y cesio (Cs) respectivamente (Allan, 1971). (ANEXO K)
- **Método para determinar los aniones solubles (cloruros, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos) en el extracto de saturación por titulación volumétrica y por turbidimetría** (DOF, 2002). Para la determinación de CO_3^{-2} HCO^{-3} y Cl^- se utilizaron métodos volumétricos. Los SO_4^{-2} se determinó por turbidimetría. (ANEXO L)

5.3.3 Variables de respuesta agronómica en maíz.

En cada una de las unidades experimentales se midieron las siguientes variables:

- **Rendimiento (ton/ha).** La producción se obtuvo de la unidad experimental para todos los tratamientos del estudio y se transformó a toneladas por hectárea. Se cosecharon las mazorcas ubicadas en la parcela útil cuando presentaron un porcentaje de humedad de aproximadamente 10-15%, el grano se pesó en una báscula electrónica Marca Torrey.
- **Diámetro de mazorca cosechada.** Se seleccionaron 10 mazorcas para cada tratamiento, el diámetro de la mazorca se midió por medio de un vernier marca Scala.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- **Longitud de la mazorca cosechada.** Se seleccionaron 10 mazorcas para cada tratamiento, el largo de la mazorca se midió por medio de un flexo metro marca Surtek.
 - **Peso seco de biomasa total, biomasa aérea y biomasa radicular.** Se consideraron tres aspectos básicos para seleccionar las plantas: 1) Plantas sanas y con un estado medio general de todas la plantas, 2) Que se encontraran a la distancia de acuerdo a la densidad de siembra establecida y 3) Que no fueran plantas aisladas. Se extrajeron 10 plantas secas de cada unidad experimental, se limpiaron quitando los excedentes de tierra y se pesaron en una báscula mecánica Marca Ohaus.
 - **Análisis de tejido vegetal.** Se tomaron muestras de tejido vegetal (hojas) para cada tratamiento, cada muestra se analizó por separado. Se seleccionaron plantas que presentaron un estado general medio de todas las plantas. Se desestimaron los extremos. Se eligió una hoja joven completamente formada, ésta equivale a la 4 – 6 hoja desde la parte superior de la planta hacia abajo. Se eligieron las hojas de ambos lados de la línea de cultivo. El número de hojas oscilo entre 15 – 100, recolectándose aproximadamente 200 gramos de material foliar.

Los Análisis de Tejido Vegetal se hicieron en el Laboratorio de Análisis de suelo, Agua y Nutrientes Vegetales perteneciente al Departamento de Disciplinas Agrícolas y en el Laboratorio de Control de Calidad perteneciente al Departamento de Tecnología de Alimentos. La metodología usada en estos análisis se basó en el Manual de Procedimientos Analíticos para Análisis de Suelos y Plantas del laboratorio de Fertilidad de Suelos IRENAT – Colegio de Postgraduados. Para cada variable a medir se utilizaron los siguientes métodos:

- Determinación del nitrógeno total por medio del Método de Dumas (Leco, 2008).
- Determinación de Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Sodio, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso mediante el método de Solubilización de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn por digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (Allan, 1971).

5.4 EXPERIMENTO DE CHILE.

Para establecer las dosis por tratamiento se considero una producción esperada de 30 ton/ha en donde las demandas de nutrientes para el cultivo son: Nitrógeno 166 kg/ha; Fósforo 100 kg/ha; Potasio 250 kg/ha; Calcio 150 kg/ha y Magnesio 50 kg/ha (Castellanos, 2005). A partir de las demandas de nutrientes por el cultivo se diseñaron los siguientes seis tratamientos del estudio (Tabla 4):

Tabla 4. Aportaciones de nutrientes al suelo para cada tratamiento del estudio en el ensayo de Chile.

Nutrientes	Contenido Humus de Lombriz (%)		Tratamientos					
			Control	Fertilización Química Kg/ha	Humus de Lombriz granulado 15 ton/ha	Lixiviado 10,000 lt/ha	Lixiviado 15,000 lt/ha	Lixiviado 20,000 lt/ha
	Granulado	Lixiviado	Contenido de nutrientes (kg/ha)					
N	1.68	0.83	0	166	252	83	124.5	166
P	0.76	0.44	0	100	114	43.5	65.3	87
K	1.15	16.13	0	250	173	1 613.1	2 419.7	3 226.2
Ca	2.27	1.27	0	150	341	127.4	191.1	254.8
Mg	0.61	0.48	0	50	92	47.8	71.7	95.6

N=Nitrógeno, P=Fósforo, K=Potasio, Ca=Calcio, Mg=Magnesio.

Se utilizó un diseño experimental completamente al Azar con arreglo en franjas con seis tratamientos, cada tratamiento ocupa una franja de acuerdo con la Tabla 5.

Tabla 5. Diseño experimental del ensayo de Chile.

Borde	Lixiviado 10,000 lt/ha
	Tratamiento Fertilización
Borde	Humus de Lombriz 15 ton/ha
	Tratamiento Fertilización
Borde	Fertilización Química
	Tratamiento
Borde	Lixiviado 15,000 lt/ha
	Tratamiento Fertilización
Borde	Lixiviado 20,000 lt/ha
	Tratamiento Fertilización
Borde	Control
	Tratamiento
Borde	

5.4.1 Descripción y manejo de las unidades experimentales.

La superficie de cada unidad experimental fue de 96 m² que corresponde a 4 surcos de 15 m de largo con una separación entre surcos de 1.6 m. La parcela útil se integró de los cuatro surcos y 12 m de longitud dándonos una superficie de 76.8m² (Figura 12). La superficie del experimento fue de 576 m².

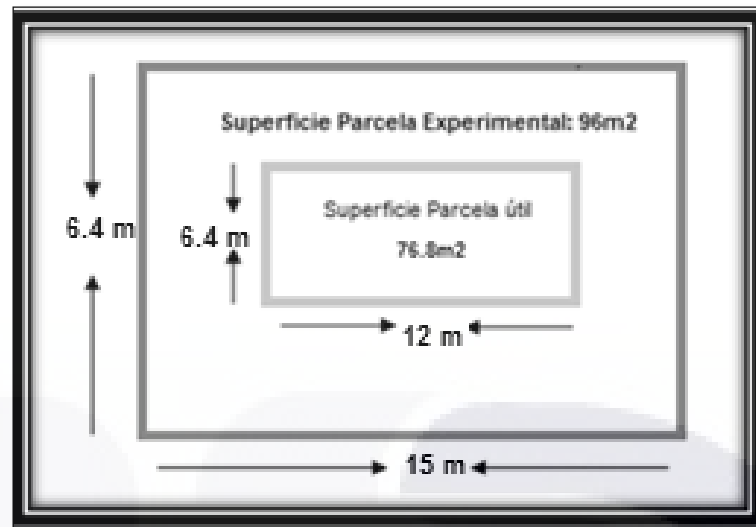


Figura 12. Dimensiones de la parcela experimental y útil en el ensayo de chile.

El tratamiento humus de lombriz granulado fue aplicado e incorporado de forma manual en el surco antes de colocar el plástico para acolchado, el trasplante de chile se llevó a cabo el 27 de abril del 2012. Cada surco fue acolchado con plástico plata/negro de 80 micras de espesor, quedando el color plata hacia arriba. El acolchado plástico venía perforado para establecer plantas cada 30 cm a doble hilera a tres bolillo, el número de plantas por unidad experimental fue de 400. La densidad de plantación fue de aproximadamente 42,000 plantas por hectárea. Por debajo del acolchado se colocó por cada hilera la cintilla de riego marca John Deere calibre 6,000 con emisores cada 20 cm. La aplicación de los tratamientos a base de fertilización química y humus de lombriz en lixiviado por medio de la cintilla de riego se inició a los 10 días después del trasplante (Figura 13). Se estableció el híbrido de chile ancho Vencedor de la Casa Semillera SEMINIS. Las plántulas fueron obtenidas a través de la siembra en charolas de 200 cavidades. Se realizó el manejo de la plántula según el programa que realizó el Área Agrícola de la Posta Zootécnica de la UAA.



Figura 13. Establecimiento del ensayo de chile.

El riego de la parcela se llevo a cabo según la evapotranspiración potencial que se midió en el tanque evaporímetro tipo “A” que se dispone en el Área Agrícola. Se llevo además un control de la humedad a través de un medidor de humedad del suelo. Para el control fitosanitario de la parcela (malezas, plagas y enfermedades), se empleó el paquete tecnológico para el cultivo de chile en acolchado plástico y fertirriego publicado por el Departamento de Fitotecnia del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Todas las actividades fueron calendarizadas, llevándose un registro pormenorizado de cumplimiento del cronograma propuesto.

5.4.2 Muestreo y análisis de suelos

En este ensayo se realizó el mismo procedimiento utilizado en el ensayo de maíz para la toma de muestras de suelo así como para las variables evaluadas. Cada muestra se analizó por separado, los Análisis de Fertilidad y Salinidad del suelo se hicieron en el

Laboratorio de Análisis de suelo, Agua y Nutrientes Vegetales. La metodología usada en estos análisis se basó en los establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

5.4.3 Variables de respuesta agronómica en Chile.

En cada una de las unidades experimentales se midieron las siguientes variables:

- **Rendimiento (kg/planta).** Se cosecharon los frutos de 30 plantas ubicadas en la parcela útil y se pesaron en una báscula mecánica Marca Ohaus. Los frutos se cosecharon cuando ya se encontraban en su punto de madurez comercial.
- **Ancho del fruto cosechado.** Se seleccionaron 30 frutos para cada tratamiento, las mediciones se hicieron por medio del vernier marca Scala.
- **Longitud del fruto cosechado.** Se seleccionaron 30 frutos para cada tratamiento, las mediciones se hicieron por medio del flexo metro marca Surtek.
- **Análisis de tejido vegetal.** Para las muestras y análisis de tejido vegetal (hojas) de cada tratamiento se utilizó el mismo procedimiento llevado a cabo para el ensayo de maíz.

5.5 EXPERIMENTO EN INVERNADERO.

Para la fase de invernadero se tomaron muestras de suelo de dos sitios diferentes pertenecientes al Área Agrícola de la Posta Zootécnica del CCA de la UAA, se realizaron los análisis para conocer algunas características físico-químicas de los suelos (Tabla 6). Las muestras utilizadas pertenecían a un sitio de una parcela de cultivo y a un sitio de un suelo sin cultivar.

Tabla 6. Características físico-químicas de los suelos utilizados en la fase de invernadero.

Tipo de suelo	pH	CE (dS m ⁻¹)	DA (gr/cm ³)	MO (%)
SUELO CULTIVADO	8.0	2.97	1.33	0.31
SUELO SIN CULTIVAR	7.6	1.42	1.25	0.86

CE=Conductividad eléctrica, DA=Densidad aparente, MO=Materia orgánica.

Entre julio y octubre de 2013 se realizó un experimento con un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones con un arreglo factorial 2x4 (Tabla 7), en donde el factor A es el tipo de suelo (cultivado y no cultivado) y el factor B son las dosis de humus de lombriz (0, 10, 20 y 30 ton/ha).

Tabla 7. Distribución de los tratamientos en el ensayo de invernadero.

Factor A 2 Suelos	X	Factor B 4 Dosis	=	8 Tratamientos combinados	X	4 Repeticiones	=	32 Unidades Experimentales
-----------------------------	---	----------------------------	---	-------------------------------------	---	--------------------------	---	--------------------------------------

Tratamientos	Dosis de humus de lombriz	Tipo de suelo	Macetas
1	Control (0 ton/ha)	Cultivado	1-4
2	10 ton/ha	Cultivado	5-8
3	20 ton/ha	Cultivado	9-12
4	30 ton/ha	Cultivado	13-16
5	Control (0 ton/ha)	No cultivado	17-20
6	10 ton/ha	No cultivado	21-24
7	20 ton/ha	No cultivado	25-28
8	30 ton/ha	No cultivado	29-32

1	17	23	6	27	10	9	18
2	14	11	26	29	7	30	13
21	22	25	12	24	19	8	4
5	3	31	15	32	28	20	16

5.5.1 Aplicación de tratamientos y manejo de las unidades experimentales.

El humus fue aplicado e incorporado antes de la siembra, la mezcla fue colocada en una bolsa para maceta de once litros de capacidad utilizando un volumen de suelo de ocho litros. En las macetas se sembraron cuatro semillas de maíz, que se utilizó como planta indicadora, a los diez días después de la siembra (dds) se desahijaron las plántulas dejando solo dos por maceta para toma de datos. Cada unidad experimental correspondió a una maceta. Las primeras mediciones en planta se realizaron a los 21 días después de la siembra, realizando lecturas cada 7 días, la última medición se realizó a los 65 dds, se dejó secar la planta en la maceta para posteriormente pesar biomasa y por último tomar las muestras de suelo para su análisis.

5.5.2 Muestreo y análisis de suelo.

Se consideró una muestra compuesta de suelo para cada una de las unidades experimentales. Las muestras se tomaron a una profundidad de 20 cm aproximadamente, utilizando una barrena de media caña de 40 cm de longitud marca AMS. Se hicieron para cada maceta 7 muestreos y se colocaron en bolsas de plástico transparente de 40x30cm. Cada muestra se analizó por separado, los Análisis de Fertilidad y Salinidad del suelo se hicieron en el Laboratorio de Análisis de suelo, Agua y Nutrientes Vegetales. Las variables evaluadas en este ensayo fueron: pH, CE, Densidad Aparente y Materia orgánica.

5.5.3 Variables de respuesta agronómica en invernadero.

En cada una de las unidades experimentales se midieron las siguientes variables:

- **Peso seco de biomasa total, biomasa aérea y biomasa radicular:** se extrajeron las plantas secas de cada unidad experimental, se limpiaron quitando los excedentes de tierra y se pesaron en una báscula mecánica Marca Ohaus.
- **Diámetro de Tallo:** las mediciones se realizaron con un vernier marca Scala tomando como base el diámetro al primer nudo. Se tomaron seis muestras a lo

largo del ciclo del cultivo, a los 21, 28, 35, 42, 49 y 65 días después de la siembra (dds).

- **Altura de planta:** las mediciones se realizaron con un flexo metro marca Surtek considerando como referencia la altura de la planta desde la base del suelo hasta el último nudo. Se tomaron cuatro muestras a lo largo del ciclo del cultivo a partir del los 35, 42, 49 y 65 dds.

5.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

5.6.1 Experimento de maíz. Se aplicó el modelo lineal aditivo para el diseño en Bloques Completos al Azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones (Steel y Torrie, 1986), el que está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la observación en el i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

μ = Media general.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del k-ésimo bloque o repetición.

ε_{ij} = Componente aleatorio.

5.6.2 Experimento de chile. Se aplicó el modelo lineal aditivo para el diseño completamente al azar con arreglo en franjas, el que está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la observación en el i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

μ = Media general.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} = Componente aleatorio.

5.5.3 Experimento en invernadero. Se aplicó el modelo factorial 2x4 bajo un diseño completamente al azar con 4 repeticiones, que está dado por:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta obtenida en la k-ésima repetición del i-ésimo nivel del Factor A y el j-ésimo nivel del Factor B.

μ = Efecto medio general.

A_i = Efecto atribuido al i-ésimo nivel del factor A.

B_j = Efecto atribuido al j-ésimo nivel del factor B.

$(AB)_{ij}$ = Efecto atribuido a la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A y j-ésimo nivel del factor B.

ε_{ijk} = Término de error aleatorio, donde los ε_{ijk} tienen una distribución Normal e independientes con media 0 y varianza σ^2 .

Para cada una de las variables evaluadas se corrieron los análisis de varianza empleando los paquetes estadísticos SAS [SAS, 1999] y STATISTICA Ver. 6.0 (Statistica, 2007). Además, se utilizó la prueba DMS (diferencia mínima significativa) para la comparación de las medias de los tratamientos experimentales contra el testigo, con un valor de significancia del 5%.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO.

6.1.1 Experimento de maíz. Los valores de las propiedades físico-químicas evaluadas al finalizar el ciclo de cultivo de maíz se utilizaron para realizar los análisis de varianza (ANEXO M) y las pruebas de comparación de medias (Tabla 8 y Tabla 9).

Tabla 8. Promedios de las propiedades físico-químicas del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de campo en el cultivo de maíz.

Propiedad del suelo	§NOM 021 SEMARNAT 2000	Tratamientos (ton/ha de humus de lombriz)			
		Control (0)	10	20	30
Textura		Franco	Franco	Franco	Franco
Densidad Aparente	gr/cm ³	1.37	1.4 ^{ns}	1.4 ^{ns}	1.4 ^{ns}
pH	> 8.5 Fuertemente alcalino	8.33	8.36 ^{ns}	8.67 ^{ns}	8.80*
CE (dS m ⁻¹)	1.1 – 2.0 Muy ligeramente salino	1.93	1.77 ^{ns}	1.83 ^{ns}	1.43 ^{ns}
MO (%)	1.6 – 3.5 Medio	1.23	1.23 ^{ns}	1.43 ^a	1.46 ^a
N inorgánico (mg kg ⁻¹)	0.0 – 10.0 Muy bajo	7.60	3.63 ^{ns}	5.40 ^{ns}	4.70 ^{ns}
P (mg kg ⁻¹)	> 11 Alto	34.40	30.40 ^{ns}	50.67 ^{ns}	49.60 ^{ns}
K (mg kg ⁻¹)	400 – 800 Moderadamente alto	516.9	481.8 ^{ns}	560.9 ^{ns}	596.4 ^{ns}
Ca (mg kg ⁻¹)	1,500 – 2,500 Medio	1 468.7	1 563.7 ^{ns}	1 592.2 ^{ns}	1 750.5 ^{ns}
Mg (mg kg ⁻¹)	100 – 200 Moderadamente bajo	108.5	116.1 ^{ns}	118.8 ^{ns}	131.5 ^{ns}
CIC Cmol (+) Kg ⁻¹	5-15 Baja	11.16	11.34 ^{ns}	11.99 ^{ns}	13.08*
Fe (mg kg ⁻¹)	3-5 Bajo 5-8 Medio	4.80	4.03 ^{ns}	4.60 ^{ns}	4.03 ^{ns}
Mn (mg kg ⁻¹)	4-7 Moderadamente bajo	3.50	3.40 ^{ns}	3.90 ^{ns}	3.16 ^{ns}

Zn (mg kg ⁻¹)	1.3-2.5 Medio	2.93	1.30 ^{ns}	1.23 ^{ns}	1.90 ^{ns}
Cu (mg kg ⁻¹)	0.5-0.8 Moderadamente bajo	0.46	0.37 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.40 ^{ns}
B (mg kg ⁻¹)	>3.0 Alto	4.63	4.50 ^{ns}	6.73 ^{ns}	5.90 ^{ns}

(*) Significativamente diferente del control según la DMS al 0.05.

(ns) Diferencia no significativa del control.

§Valores de referencia según NOM021. C.E.=Conductividad eléctrica, MO=Materia Orgánica N=Nitrógeno, P=Fósforo, K=Potasio, Ca=Calcio, Mg=Magnesio, Na=Sodio, Fe=Fierro, Mn=Manganeso, Zn=Zinc, Cu=Cobre, B=Boro.

En los resultados de las pruebas de comparación de medias para las propiedades físico-químicas solo se observaron diferencias significativas en la variable de pH y Cl⁻. Se observó un incremento gradual en el pH conforme se aumentó la concentración de humus de lombriz al suelo en donde el tratamiento de 30 ton/ha presentó el valor más alto (8.8) observándose una diferencia de 0.47 con respecto al control (8.33). La variable Cl⁻ presentó una disminución en la concentración de cloruros al aumentar las dosis de humus en donde el tratamiento de 30 ton/ha presentó el valor más bajo (3.16meq/l) llegando a tener una diferencia de 2.17 con respecto al control (5.33)

Tabla 9. Parámetros de salinidad del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de campo en el cultivo de maíz.

Parámetro de salinidad	§INTERPRETACIÓN	TRATAMIENTOS (ton/ha de humus de lombriz)			
		Control 0	10	20	30
Bicarbonatos (meq/l)	> 5 Muy Alto	6.83	5.83 ^{ns}	4.50 ^{ns}	5.00 ^{ns}
Cloruros (meq/l)	2-5 Bajo	5.33	6.50 ^{ns}	4.17*	3.16*
Sulfatos (meq/l)	10-20 Bajo	4.53	2.93 ^{ns}	5.17 ^{ns}	2.80 ^{ns}
Calcio (meq/l)	< 5 Bajo	2.33	2.43 ^{ns}	1.97 ^{ns}	1.20 ^{ns}
Magnesio (meq/l)	< 2.5 Bajo	0.47	0.37 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.20 ^{ns}
Sodio (meq/l)	7-15 Medio	11.33	9.80 ^{ns}	10.03 ^{ns}	7.90 ^{ns}
Potasio (meq/l)	0.9-5.0 Medio	0.76	0.80 ^{ns}	0.73 ^{ns}	0.50 ^{ns}

(*) Significativamente diferente del control según la DMS al 0.05.

(ns) Diferencia no significativa del control.

§Consultoría agrícola y medioambiental.

www.csr.servicios.es/CONSULTORIAAGRICOLA/DESCARGAS/TABLAINTERPRETACIONEPSSUELOCSR.pdf.

La aplicación sucesiva de abonos orgánicos condiciona al suelo con una rica población de nutrientes esenciales, reforzando así su natural fertilidad, diversos estudios (Marinari y col., 2000; Bhattacharjee y col., 2001; Hidalgo y Harkess, 2002a, b; Ferreras y col., 2006) establecen que la adición de humus de lombriz puede producir una mejora significativa en las propiedades físico-químicas del suelo, mientras que los fertilizantes químicos destruyen los microorganismos benéficos, perjudican la fertilidad natural del suelo y afectan el pH y la porosidad del suelo.

En los resultados observados en la fase de campo para el cultivo de maíz se encontraron variaciones en el pH aumentando a la par conforme se incrementó la concentración de humus al suelo hasta encontrar su valor más alto en 8.8, estos valores se consideran normales para suelos minerales de zonas áridas. Estudios realizados por Jouquet y col. (2011), confirman que la aplicación de la vermicomposta conduce a un incremento en el pH; de igual manera Álvarez-Sánchez y col. (2006) al evaluar abonos orgánicos de distintas procedencias encontró cambios en el pH aumentando en su caso con el tratamiento de humus de lombriz. Sin embargo, estudios realizados por Azarmi y col. (2008) al evaluar en campo el efecto de la vermicomposta en las propiedades físicas y químicas del suelo muestra que la adición de humus de lombriz a una dosis de 15 ton/ha causa una disminución del pH del suelo.

Estudios realizados por Durán-Umaña y col. (2009) reportan un aumento sustancial en los contenidos disponibles de Ca, Mg, K y P en forma lineal y sostenida conforme aumentaron las proporciones de humus, comportamientos similares están reportados por Castro y col. (2009) para diversos tipos de abonos orgánicos, aduciendo el aporte masivo de nutrientes en las altas cantidades de abonos orgánicos aplicados. Resultados presentados por López-Martínez y col. (2001) con relación a las características químicas mostraron cambios en la MO de los tratamientos con respecto al control, los valores después de la siembra fueron mayores. Azarmi y col. (2008) muestran que la adición de humus de lombriz a una dosis de 15 ton/ha aumenta significativamente ($P \leq 0,05$) el contenido de carbono orgánico total, el N, P, K, Ca, Zn y Mn en comparación con las parcelas control. Los suelos tratados con vermicomposta tenían significativamente más CE en comparación con las parcelas no enmendadas. Se mejoraron las propiedades físicas tales como densidad aparente y porosidad en el suelo modificado con humus de

lombriz. Datos presentados por Castro y col. (2009) demuestran que el 100% del total de los elementos contenidos en los abonos orgánicos no es disponible a corto plazo, para lo cual se estiman usualmente porcentajes menores al 25% de disponibilidad.

6.1.2 Experimento de Chile. Los valores de las propiedades físico-químicas del suelo al finalizar el experimento se observan en la tabla 10.

Tabla 10. Propiedades físico-químicas del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de campo en el cultivo de Chile.

Propiedad del suelo	§ NOM 021 SEMARNAT 2000	Tratamientos					
		Control	Fertilización Química	Humus de lombriz 15 ton/ha	Lixiviado 10 000/ha	Lixiviado 15 000/ha	Lixiviado 20 000/ha
Textura		Franco Arcilloso	Franco	Franco	Franco Arenoso Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco
Densidad Aparente	gr/cm ³	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
pH	> 8.5 Fuertemente alcalino	7.3	7.4	7.3	7.5	7.6	7.4
CE (dS m ⁻¹) §	1.1 – 2.0 Muy ligeramente salino	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6
MO (%)	1.6 – 3.5 Medio	0.7	1.6	2.2	2.2	1.3	1.3
N inorgánico (mg kg ⁻¹)	0.0 – 10.0 Muy bajo	4.3	2.2	2.2	2.2	3.3	4.3
P (mg kg ⁻¹)	> 11 Alto	9.6	14.2	34.8	10.3	14.0	10.3
K (mg kg ⁻¹)	400 – 800 Moderadamente alto	491.7	470.4	514.6	409.1	478.4	512.5
Ca (mg kg ⁻¹)	1,500 – 2,500 Medio	1 199	1 236	1 525	1 257	1 299	1 288
Mg (mg kg ⁻¹)	100 – 200 Moderadamente bajo	108.3	108.4	125.2	95.5	109.2	107.1
CIC Cmol (+) Kg ⁻¹	5-15 Baja	9.00	9.35	11.07	9.25	9.00	9.85
Fe (mg kg ⁻¹)	3-5 Bajo 5-8 Medio	4.5	4.2	4.2	3.6	4.3	3.8

Mn (mg kg ⁻¹)	4-7 Moderadamente bajo	5.4	4.0	3.9	4.1	4.4	3.7
Zn (mg kg ⁻¹)	1.3-2.5 Medio	1.3	1.3	1.5	1.1	1.4	1.2
Cu (mg kg ⁻¹)	0.5-0.8 Moderadamente bajo	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4
B (mg kg ⁻¹)	>3.0 Alto	2.5	2.1	2.0	1.7	1.8	1.8

§Valores de referencia según NOM021. pH= Potencial Hidrógeno CE=Conductividad Eléctrica MO=Materia Orgánica N=Nitrógeno P=Fósforo K =Potasio Ca=Calcio Mg=Magnesio Fe= Fierro Mn=Manganeso Zn=Zinc Cu=Cobre B=Boro.

Los valores de los parámetros de salinidad de las unidades experimental al finalizar del ciclo del cultivo de chile los podemos observar en la Tabla11.

Tabla 11. Parámetros de salinidad del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de campo en el cultivo de chile.

Parámetro de salinidad	§INTERPRETACIÓN	Tratamientos					
		Control	Fertilización Química	Humus de lombriz 15 ton/ha	Lixiviado 10 000l/ha	Lixiviado 15 000l/ha	Lixiviado 20 000l/ha
Bicarbonatos (meq/l)	> 5 Muy Alto	4	4	4	4	4	4
Cloruros (meq/l)	2-5 Bajo	2.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5
Sulfatos (meq/l)	10-20 Bajo	1.1	1.0	2.0	2.4	0.8	0.7
Calcio (meq/l)	< 5 Bajo	1.4	1.3	1.2	1.3	1.2	1.1
Magnesio (meq/l)	< 2.5 Bajo	0.2	0.3	0.5	0.7	0.2	0.2
Sodio (meq/l)	7-15 Medio	3.7	3.1	3.3	3.4	2.8	3.4
Potasio (meq/l)	0.9-5.0 Medio	0.7	0.7	0.9	0.9	0.6	0.6

§Consultoría agrícola y medioambiental.

www.csrserVICIOS.es/CONSULTORIAAGRICOLA/DESCARGAS/TABLAINTERPRETACIONEPSSUELOCSR.pdf

Los resultados del experimento muestran valores cercanos a la neutralidad en todos los casos para el pH coincidiendo con un estudio de Romina y col. (2009). No hubo cambios en la densidad aparente mientras que la CE y el N mostraron una tendencia a la baja con respecto al control. MO, P, K, Ca y Mg presentaron un aumento en sus concentraciones en el suelo en comparación al control al terminar el ensayo, el tratamiento que mostro el mejor comportamiento fue el de humus de lombriz (15 ton/ha). Fortis y col. (2009) por su parte difiere con los resultados al presentar una disminución del contenido de MO para el tratamiento con vermicomposta, por lo que es importante seguir realizando estudios a largo plazo para determinar la eficacia de los mismos sobre las propiedades del suelo.

6.1.3 Experimento en invernadero. Los resultados del análisis de varianza se presentan en la Tabla 12. Las pruebas de comparación de medias para cada una de las variables medidas en las propiedades físico-químicas de los dos tipos de suelo se presentan en la Tabla13.

Tabla 12. Resultado del análisis de varianza de las propiedades físico-químicas del suelo en el ensayo de invernadero.

FV	GL	DA	pH	CE	MO
Pr>F					
DOSIS	3	0.000*	0.581 ^{ns}	0.000*	0.000*
SUELO	1	0.000*	0.000*	0.000*	0.023*
S x D	3	0.260 ^{ns}	0.022*	0.017*	0.111 ^{ns}
ERROR	24				
TOTAL	31				

FV= Fuente de variación S= Suelo D= Dosis GL= Grados de libertad DA= Densidad aparente pH= Potencial Hidrógeno CE=Conductividad Eléctrica MO=Materia Orgánica ns=No hay diferencia significativa *=Diferencia significativa.

El análisis de varianza muestra que los tratamientos presentaron diferencias significativas para las variables DA, CE y MO, el tipo de suelo tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas. La interacción de los dos factores (SxD) muestran que hubo un efecto del suelo en las variables de pH y CE ($P \leq 0.05$) al aplicar humus de lombriz.

Tabla 13. Promedio de las propiedades físico-químicas del suelo en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz bajo condiciones de invernadero.

DOSIS	SUELO	DA	pH	CE	MO
Control	CULTIVADO	1.32	8.28	2.54	0.92
10 ton/ha		1.31 ^{ns}	8.05 ^{ns}	2.72 ^{ns}	1.31 ^{ns}
20 ton/ha		1.28*	8.43*	3.03*	1.29 ^{ns}
30 ton/ha		1.27*	8.14 ^{ns}	3.26*	1.40 ^{ns}
Control	NO CULTIVADO	1.30	6.71	1.80	0.43
10 ton/ha		1.28*	6.98 ^{ns}	2.50*	1.01*
20 ton/ha		1.21*	6.79 ^{ns}	2.49*	1.27*
30 ton/ha		1.23*	7.12 ^{ns}	2.43*	1.42*

(*) Significativamente diferente del control según la DMS al 0.05.

(ns) Diferencia no significativa del control.

DA=Densidad aparente, pH=Potencial hidrógeno C.E.=Conductividad eléctrica, MO=Materia Orgánica.

En el suelo cultivado la densidad aparente mostro un descenso en sus valores al aumentar la concentración de humus al suelo observando el valor más bajo en el tratamiento de 30 ton/ha (1.27 gr/cm³) con respecto al control (1.32 gr/cm³) teniendo una diferencia de 0.05. El tratamiento de 20 ton/ha presento el valor de pH más alto (8.43) observándose una diferencia de 0.15 con respecto al control (8.28). La variable de CE mostro un incremento significativo entre los tratamientos en donde la dosis de 30 ton/ha presento el valor más alto (3.26 dS m⁻¹) y el control el más bajo (2.54dS m⁻¹) con una diferencia de 0.72.

En el suelo no cultivado la densidad aparente mostro de igual manera un descenso en sus valores al aumentar la cantidad de humus incorporado al suelo observando el valor más bajo en el tratamiento de 20 ton/ha (1.21 gr/cm³) con respecto al control (1.3 gr/cm³) teniendo una diferencia de 0.09. El tratamiento de 10 ton/ha presento el valor de CE más alto (2.50) observándose una diferencia de 0.7 con respecto al control (1.80). La variable de MO mostro un incremento significativo entre los tratamientos en donde la dosis de 30 ton/ha presento el valor más alto (1.42%) y el control el más bajo (0.43%) con una diferencia de 0.99%.

En los resultados observados en la fase de invernadero se encontró un efecto en la densidad aparente al aplicar el humus de lombriz al suelo causando una disminución en los tratamientos. Resultados similares son presentados por Romina y col. (2009) y Hashemimajd y col. (2004) ya que demostraron que el aumento de las tasas de

vermicomposta reduce la densidad aparente del suelo y la densidad de las partículas indicando una alta porosidad.

Los suelos modificados con humus de lombriz tuvieron significativamente ($P \leq 0.05$) una CE más alta que los suelos no tratados. La CE del suelo aumentó con el incremento de la tasa de aplicación de humus de lombriz. Similares resultados son reportados por Atiyeh y col. (2001) y Fortis-Hernández y col. (2012).

La adición de vermicomposta provocó cambios en el pH del suelo. Maheshwarapa y col. (1999) y Atiyeh y col. (2001) informaron que el aumento de la tasa de humus de lombriz en el suelo dio como resultado la disminución del pH del suelo. La producción de ácidos orgánicos, NH_4^+ y CO_2 durante el metabolismo microbiano en el humus de lombriz puede ocasionar una disminución en el pH del suelo (Albanell y col., 1988). Estos resultados difieren con los observados en este experimento debido a que se observa un incremento en el pH con la adición del humus de lombriz en el suelo mostrándose el mismo efecto que en la fase de campo.

La aplicación del humus de lombriz al suelo tuvo un efecto en la MO obteniendo los valores más altos en el tratamiento de 30 ton/ha, el control presentó el valor más bajo en ambos suelos, estos resultados son similares a los reportados por López-Martínez y col. (2001) que mostraron cambios en el contenido de MO de los tratamientos con respecto al control. Existen numerosos estudios que informan el efecto de enmiendas orgánicas (Jouquet y col., 2011), en general, se muestra que los fertilizantes orgánicos tienen una influencia positiva sobre las propiedades del suelo (Weil y Magdoff, 2004), tienden a mejorar los contenidos de nutrientes, la materia orgánica del suelo mineral y la capacidad amortiguadora del pH del suelo (Oades, 1984; Balesdent y col., 2000; Chen y col., 2004; Rivero y col., 2004). El efecto positivo de la aplicación de vermicomposta es especialmente cierto para los suelos menos fértiles o degradados en el que mejora la calidad del suelo (Moreno y col., 1996; Larcheveque y col., 2005). Phelan (2004) sugiere que los suelos manejados orgánicamente son más capaces de aproximarse al equilibrio nutricional óptimo de las plantas, ya que están más cerca del ambiente del suelo en el que las plantas evolucionaron y por su capacidad para amortiguar la disponibilidad mineral. Sin embargo, diversos estudios (Sánchez y col., 2004; Tilston y col. 2002) reportan

resultados no significativos en el rendimiento del cultivo con la aplicación de humus de lombriz en un corto plazo.

Es posible que el efecto de la materia orgánica aplicada por medio de la vermicomposta, provoque una dinámica diferencial de acuerdo al tipo de sistema de intercambio y a la capacidad buffer inicial del suelo. De los datos anteriores se deduce que la respuesta a tasas similares de aplicación de vermicomposta, puede variar sustancialmente el efecto de acuerdo al tipo de suelo.

6.2 RESPUESTA AGRONÓMICA DEL CULTIVO

6.2.1 Experimento de maíz. El análisis de varianza para cada una de las variables de respuesta evaluadas se muestra en el anexo N. En la tabla 14 se presentan las pruebas de comparación de medias de las variables evaluadas en la respuesta agronómica.

Tabla 14. Efecto del humus de lombriz en la respuesta agronómica del cultivo de maíz.

Respuesta agronómica del cultivo	Tratamientos de humus de lombriz (ton/ha)			
	0 (Control)	10	20	30
Rendimiento de Grano (kg/ha)	8 577	8 887 ^{ns}	7 715 ^{ns}	7 682 ^{ns}
Longitud de mazorca (cm)	17.15	17.4 ^{ns}	18.57*	18.36*
Diámetro de mazorca (cm)	5.28	5.41 ^{ns}	5.53*	5.54*
Biomasa Aérea (gr)	128.9	137.3 ^{ns}	120.7 ^{ns}	123.0 ^{ns}
Biomasa Radicular (gr)	19.77	28.05*	24.93 ^{ns}	34.70*

(*) Significativamente diferente del control según la DMS al 0.05
(ns) Diferencia no significativa del control.

En los resultados del análisis se observaron diferencias significativas en el diámetro, longitud de la mazorca y en la biomasa radicular. La variable rendimiento no presentó diferencias significativas respecto al control. En la longitud de la mazorca el tratamiento de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

20 ton/ha presentó el valor más alto con una longitud de 18.57 cm presentando una diferencia de 1.42 cm con respecto al control (17.15cm). El diámetro de la mazorca presentó la misma tendencia en donde los tratamientos de 20 y 30 ton/ha mostraron valores de 5.53 y 5.54 cm respectivamente con una diferencia de 0.25 y 0.26 cm con respecto al control (5.28 cm). Por último el peso seco de la biomasa radicular mostró un aumento de 14.933 gr para el tratamiento de 30ton/ha (34.7gr) en relación al control (19.767gr).

El tratamiento de 10ton/ha mostró el mayor rendimiento de grano (8,887Kg/ha) sin embargo al realizar la prueba de comparación de medias no se observaron diferencias significativas con respecto al control. Estos resultados difieren con los publicados por Lingaraju y col. (2010) quienes encontraron al evaluar un sistema de cultivo con maíz y garbanzo rendimientos significativamente mayores del maíz con la aplicación de abonos orgánicos sobresaliendo el estiércol de corral (FYM) seguido por vermicomposta en comparación al control (fertilización inorgánica) lo que demuestra como varía el efecto de los abonos según su procedencia y manejo (Romero-Lima y col., 2000).

La adición de humus de lombriz afectó el crecimiento de la mazorca evaluada, como diámetro y largo en donde se presentaron diferencias al 5% de probabilidad, los efectos significativos fueron provocados por los tratamientos de 20 y 30 ton/ha, estos resultados están muy relacionados con el aumento de la biomasa radicular de la planta debido a que las raíces ayudan a absorber agua y nutrientes durante las etapas reproductivas, entre más cercana este la floración mayores pérdidas en rendimiento habrá si hay estrés hídrico y deficiencias nutrimentales y estas carencias son especialmente críticas ya que pueden reducir el número de granos y el tamaño de la mazorca. Los resultados anteriores también muestran que los abonos orgánicos son una alternativa para sustituir la fertilización inorgánica. Esto se debe a que los abonos orgánicos abastecen al suelo de nutrimentos como el N y los demás elementos esenciales que contiene la vermicomposta.

Los resultados del análisis de tejido vegetal analizado durante el ciclo del cultivo se muestran en la Tabla 15, al hacer el análisis para la comparación de medias se pudo observar que no existió diferencia significativa entre tratamientos para cada una de las variables evaluadas. Todas las determinaciones analizadas mostraron que las plantas

muestreadas no presentaron deficiencias con base a los rangos óptimos foliares recomendados para el cultivo de maíz.

Tabla 15. Análisis de tejido vegetal en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz en el cultivo de maíz.

Elementos nutritivos en la planta	§Rangos óptimos foliares	Tratamientos de humus de lombriz (ton/ha)			
		0 (Control)	10	20	30
N Total %	2.3-3.3	2.43	2.73 ^{ns}	2.60 ^{ns}	2.67 ^{ns}
P %	0.18-0.32	0.20	0.27 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.20 ^{ns}
K %	1.7-3.0	2.17	2.27 ^{ns}	2.27 ^{ns}	2.27 ^{ns}
Ca %	0.40-0.80	0.5	0.47 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.40 ^{ns}
Mg %	0.13-0.25	0.33	0.33 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.30 ^{ns}
Fe (mg kg-1)	30-250	100.0	91.9 ^{ns}	97.4 ^{ns}	92.4 ^{ns}
Mn (mg kg-1)	18-140	125.10	129.93 ^{ns}	112.07 ^{ns}	115.67 ^{ns}
ZN (mg kg-1)	22-85	25.36	19.80 ^{ns}	21.83 ^{ns}	27.03 ^{ns}
Cu (mg kg-1)	8-20	7.50	7.70 ^{ns}	7.90 ^{ns}	8.80 ^{ns}

(*) Significativamente diferente del control según la DMS al 0.05 (ns) Diferencia no significativa del control. §R J Hill Laboratories Ltd. www.hill-laboratories.com/file/fileid/21630

Estudios realizados por Kalantari y col. (2010), al evaluar el efecto de la vermicomposta en el crecimiento de maíz revelan que las concentraciones de macro (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn) en las partes aéreas de la planta de maíz fueron significativamente ($P \leq 0,01$) afectados por los tratamientos. Las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg, Fe y Mn en los tratamientos con vermicomposta fueron más altas que en el control. Resultados similares mostrados por Rodríguez-Dimas y col. (2007) señalan un efecto altamente significativo de tratamientos ($P \leq 0.01$) para P y K. Los resultados de este estudio difieren de los publicados por otros investigadores ya que los análisis de tejido vegetal muestran que no hubo diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las determinaciones evaluadas. En todos los casos ningún tratamiento mostro deficiencias según los rangos foliares óptimos utilizados como referencia. Los efectos de los tratamientos en el estado nutricional no tuvieron relación con la producción.

6.2.2 Experimento de Chile. Los resultados del análisis de varianza para las variables evaluadas se encuentran en el Anexo O. En la Tabla 16 se presentan las pruebas de comparación de medias para cada una de las variables evaluadas.

Tabla 16. Efecto del humus de lombriz en la respuesta agronómica del cultivo de Chile.

Respuesta agronómica del cultivo	Tratamientos					
	Control	Fertilización Química	Humus de lombriz 15 ton/ha	Lixiviado 10 000/ha	Lixiviado 15 000/ha	Lixiviado 20 000/ha
Rendimiento (kg/planta)	0.47		0.75*	0.71*	0.61*	0.75*
Ancho del fruto (cm)	6.00		6.77*	6.63*	6.59*	6.59*
Longitud del fruto (cm)	12.89		14.36*	13.94*	13.86*	14.09*
Rendimiento (kg/planta)		0.893	0.754*	0.707*	0.614*	0.75*
Ancho del fruto (cm)		6.82	6.77 ^{ns}	6.63 ^{ns}	6.59 ^{ns}	6.59 ^{ns}
Longitud del fruto (cm)		14.55	14.36 ^{ns}	13.94 ^{ns}	13.86 ^{ns}	14.09 ^{ns}

(*) Significativamente diferente del control según la DMS al 0.05
(ns) Diferencia no significativa del control.

En los resultados del análisis de comparación de medias se observaron diferencias significativas en el rendimiento, ancho y longitud del fruto de Chile con respecto al control. Los tratamientos de 15 ton/ha de humus de lombriz y 20,000 lt/ha presentaron el mejor rendimiento con una media de 0.75 kg/planta con una diferencia de 0.28 kg con relación al control. El tratamiento de 15 ton/ha de humus de lombriz presentó el mejor comportamiento para las variables de ancho y longitud del fruto con una media de 6.77 y 14.36 cm respectivamente.

Haciendo una comparación de medias entre el tratamiento químico y los tratamientos orgánicos hubo diferencias significativas en el rendimiento del cultivo donde el tratamiento de fertilización química presentó el mejor comportamiento con una media de 0.89 kg/planta seguido del tratamiento de humus de lombriz de 15ton/ha con una media de 0.75 kg/planta, el tratamiento de lixiviado de 15,000 lt/ha presentó el rendimiento más bajo con una media de 0.61 kg/planta. Para las variables ancho y longitud del fruto no se observaron diferencias significativas con el control químico, el tratamiento de fertilización

química presento los valores más altos con una media de 6.82 y 14.55 cm respectivamente seguido del tratamiento con humus de lombriz a 15 ton/ha (6.77 y 14.36 cm, respectivamente).

La aplicación de humus de lombriz granulado y lixiviado al suelo muestra efectos positivos en el rendimiento del cultivo de chile con respecto al control. Los resultados del presente estudio coinciden con Karakurt y col. (2009) quienes encontraron mejores rendimientos al realizar aplicaciones de ácidos húmicos en un cultivo de pimiento mejores rendimientos. Otro estudio realizado por Selim y col. (2009) concluyen que la adición de las sustancias húmicas a los abonos que contengan nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) a través del sistema de riego por goteo dio como resultado una mejora en el rendimiento en comparación con la dosis recomendada de fertilización química (control). Esto demuestra que un mayor uso de agroquímicos para aumentar la productividad de alimentos es de hecho una proposición contraproducente ya que posteriormente una mayor cantidad de productos químicos son necesarios para mantener el mismo rendimiento y la productividad de los años posteriores (Sinha y col., 2010).

El ancho y la longitud del fruto mostraron diferencias significativas entre tratamientos, nuestro control mostró los valores más bajos en las dos variables evaluadas. El tratamiento de fertilización química seguido del humus de lombriz granulado presentaron los valores más altos. Estos resultados difieren con Karakurt y col. (2009) ya que en sus resultados no encontraron un efecto significativo en el diámetro del fruto o la longitud del fruto entre los tratamientos al aplicar ácidos húmicos.

Las respuestas obtenidas podrían resultar de las diferentes condiciones de manejo y climáticas en donde se probaron los ensayos así como la fuente de los ácidos húmicos (Arancon y col., 2006).

Los resultados del análisis de tejido vegetal se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Análisis de tejido vegetal en respuesta a diferentes dosis de humus de lombriz en el cultivo de chile.

Elementos nutritivos en la planta	§Rangos óptimos foliares	Tratamientos					
		Control	Fertilización Química	Humus de lombriz 15 ton/ha	Lixiviado 10 000l/ha	Lixiviado 15 000l/ha	Lixiviado 20 000l/ha
Fósforo (%).	0.30 – 0.60	0.40	0.29	0.27	0.32	0.32	0.29
Potasio (%).	4.0- 5.5	1.70	1.72	1.72	1.70	1.70	1.73
Calcio (%).	1.5 – 3.0	1.48	1.47	1.45	1.51	1.49	1.50
Magnesio (%).	0.40 – 0.80	0.48	0.48	0.50	0.47	0.50	0.49
Sodio (ppm).	0.0 – 0.25	262.3	150.6	405.4	311.8	128.9	218.9
Fierro (ppm).	80 – 200	113.7	152.8	133.0	98.4	120.0	121.5
Manganeso (ppm).	40 – 200	94	85.8	112.5	95.5	92.1	74.6
Zinc (ppm).	30 – 60	66.4	60.4	49.7	50.3	61.6	47.0
Cobre (ppm).	6.0 – 20	12.5	10.3	8.9	8.7	11.3	8.9

§R J Hill Laboratories Ltd. www.hill laboratories.com/file/fileid/21630

Las determinaciones analizadas mostraron que las plantas muestreadas presentaron bajas concentraciones de Fósforo, Potasio y Calcio esto con base a los rango óptimos foliares recomendados para el cultivo de chile. Además, los valores de Sodio estuvieron muy encima de los recomendados para la planta y esto se pudo ver reflejado en el crecimiento óptimo de la misma.

6.2.3 Experimento en invernadero. Los variables en la respuesta agronómica para el cultivo de maíz en los dos tipos de suelo fueron evaluados durante el ciclo de cultivo y se utilizaron para realizar los análisis de varianza (Tabla 18).

Tabla 18. Resultado del análisis de varianza en la respuesta agronómica en el ensayo de invernadero.

FV	GL	ALT (65 DDS)	DIAM (65 DDS)	BIOMASA AÉREA	BIOMASA RADICULAR
		Pr>F			
D	3	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
SUELO	1	0.959 ^{ns}	0.229 ^{ns}	0.449 ^{ns}	0.003*
S x D	3	0.002*	0.000*	0.418 ^{ns}	0.394 ^{ns}
ERROR	31				

FV= Factor de variación S= Suelo D= Dosis GL= Grados de libertad ALT=Altura DIAM= Diámetro DDS=Días después de la siembra ns=No hay diferencia significativa *=Diferencia significativa.

El análisis de varianza muestra que los tratamientos presentaron diferencias significativas para todas las variables evaluadas en la respuesta agronómica (altura a 65 dds, diámetro a los 65 dds, biomasa aérea y radicular), el tipo de suelo tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) solamente en la biomasa radicular de la planta. La interacción de los dos factores (SxD) muestran que hubo un efecto del suelo en las variables de altura y diámetro ($P \leq 0.05$) al aplicar humus de lombriz.

Tabla 19. Efecto del humus de lombriz en la respuesta agronómica del cultivo de maíz bajo condiciones de invernadero.

T	SUELO	ALT A LOS 65 DDS (CM)	DIAM A LOS 65 DDS (CM)	BIOMASA AÉREA (GR)	BIOMASA RADICULAR (GR)
Control	CULTIVADO	87.68	1.79	19.95	2.28
10 ton/ha		102.68 ^{ns}	1.87 ^{ns}	35.04*	5.31*
20 ton/ha		97.55 ^{ns}	1.81 ^{ns}	43.48*	5.75*
30 ton/ha		122.13*	1.87 ^{ns}	51.70*	5.90*
Control	NO CULTIVADO	46.63	1.05	14.58	2.70
10 ton/ha		117.45*	1.92*	39.18*	7.05*
20 ton/ha		120.18*	2.02*	39.45*	7.41*
30 ton/ha		124.63*	2.09*	50.43*	8.70*

(*) Significativamente diferente del control según la DMS al 0.05.

(ns) Diferencia no significativa del control.

T= Tratamientos ALT = Altura DIAM =Diámetro DDS= Días después de la siembra.

En el suelo cultivado para la variable altura de la planta (65 DDS) mostró el mayor crecimiento en el tratamiento de 30 ton/ha con 122.13 cm. El peso seco de la biomasa

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

aérea y radicular presentaron los valores más altos en el tratamiento de 30 ton/ha con 51.7 y 5.9 gr respectivamente con respecto al control que presentó los valores más bajos (19.95 y 2.28 gr).

En el suelo no cultivado el tratamiento de 30 ton/ha presentó el mayor crecimiento en la altura de la planta con una media de 124.63 cm a los 65 DDS. De igual manera se observó una tendencia similar para la variable de diámetro del tallo en donde el tratamiento de 30 ton/ha presentó el mayor crecimiento del tallo durante el desarrollo del cultivo con una media de 2.09 cm a los 65 DDS. El peso seco de la biomasa aérea y radicular presentaron los valores más altos en el tratamiento de 30 ton/ha con 50.43 y 8.7 gr respectivamente con respecto al control que presentó los valores más bajos (14.58 y 2.7 gr).

En los resultados del análisis de varianza se observaron diferencias significativas en la altura de la planta presentando un crecimiento lineal y sostenido. El tratamiento de 30 ton/ha mostró el mayor crecimiento en la altura de la planta. De igual manera se observó un comportamiento similar para la variable de diámetro del tallo en donde el tratamiento de 30 ton/ha presentó el mayor crecimiento del tallo durante el desarrollo del cultivo.

Resultados similares son reportados por Moreno-Reséndez y col. (2005) encontrando diferencias altamente significativas en el crecimiento de la planta como efecto de la aplicación de vermicomposta. Rodríguez y col. (1998) menciona que una mayor altura en la planta promueve el desarrollo de un mayor número de hojas así como un aumento en la concentración de clorofila, por lo tanto al aumentar el número de hojas se incrementa el proceso de fotosíntesis.

Los valores de biomasa aérea y biomasa radicular muestran que la aplicación de vermicomposta tuvo un efecto positivo en el crecimiento del maíz, la cual fue utilizada como planta indicadora, para los dos tipos de suelo utilizados en el ensayo. La mayor respuesta en la planta se encontró en el tratamiento de 30 ton /ha mostrando una biomasa total de 57.6gr y 59.13 gr para el suelo cultivado y no cultivado, respectivamente. Al aplicar la vermicomposta se aportaron nutrientes fundamentales para el desarrollo de la planta (N, P y otros elementos), esto provoca un efecto positivo al estimular el crecimiento de las plantas (Chaimsohn y col., 2007). Esto confirma los resultados de Durán-Umaña y

col. (2010) en donde tuvo un efecto positivo por la aplicación de vermicomposta en la acumulación de la biomasa de sorgo a través de todo el experimento en un suelo Ultisol y Andisol. De igual manera, Fortis-Hernández y col. (2012) produjeron el mayor rendimiento de materia seca de maíz (12.87 mg/ha) con la aplicación de vermicomposta.



CONCLUSIONES

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

- Hubo un efecto del humus de lombriz en las propiedades físico químicas del suelo en los ensayos de campo en razón a que se necesita más tiempo de aplicación para que un mayor efecto pueda ser detectado.
- Se incrementó el pH del suelo al aumentar las concentraciones de humus de lombriz al suelo encontrando su punto más alto en 8.8, valor que se encuentra dentro de los rangos normales para suelos minerales de zonas áridas.
- En el ensayo de invernadero bajo condiciones controladas hubo un efecto del humus en algunas propiedades físico-químicas al incrementar hasta en 1% el porcentaje de materia orgánica en el suelo así como aumentar la CE.
- La densidad aparente disminuyo al incrementarse la cantidad de humus de lombriz aplicada al suelo.
- La aplicación de humus de lombriz como una práctica de manejo en suelos pobres a largo plazo gradualmente mejora sus propiedades físico-químicas.

RESPUESTA AGRÓNOMICA DEL CULTIVO

- No hubo un efecto de la aplicación del humus de lombriz en el rendimiento de grano de maíz bajo condiciones de campo pero si hay una tendencia positiva.
- El efecto de la aplicación de humus de lombriz provoco un aumento en la biomasa radicular de la planta de maíz bajo condiciones de campo y provoco a su vez un efecto en el diámetro y longitud de la mazorca.
- En el cultivo de chile la aplicación del humus de lombriz granulado y lixiviado mostro un efecto positivo en el rendimiento de la planta.
- La aplicación del humus de lombriz mostró una respuesta positiva en el crecimiento de la planta así como en la producción de biomasa seca.
- El uso del humus de lombriz es una alternativa para la disminución de la cantidad de fertilizantes inorgánicos utilizados. Esto se debe a que los abonos orgánicos abastecen al suelo de nutrimentos como el N y los demás elementos esenciales que contiene la vermicomposta.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, F., De Paz, J. M. y Ramos, C. 1998. El riesgo de lixiviación de nitratos en las principales zonas hortícolas de la comunidad valenciana. *Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente* **65**, 71.
- Aganga, A. A. y Tshwenyane, S. O. 2003. Lucerne, lablab and *Leucaena leucocephala* forages: Production and utilization for livestock production. *Pakistan Journal of Nutrition* **2**, 46-53.
- Albanell, E., J. Plaixats y T. Cabrero. (1988) Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biology and Fertility of Soils* **6**, 266-269.
- Allan, J. E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian techtron, Walnut Creek, California.
- Altieri, M. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **74**, 19-31.
- Álvarez, R. A., Goulet, P. y Garrido, J. 2004. Characterization of the porous structure of different humic fractions. *Colloids and surface*, 129-135.
- Álvarez-Sánchez E., A. Vázquez-Alarcón, J. Z. Castellanos y J. Cueto-Wong. 2006. Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de Trigo. *Terra Latinoamericana* **24**, 261-268
- Arancon, N.Q., Edwards C.A., Babenko A., Cannon J., Galvis P. y Metzger J.D. 2008. Influence of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Appl. Soil Ecol* **39**, 91–99.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A. y Bierman P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresour. Technol.* **97**, 831–840.
- Arredondo V., C. 1996. Aplicación de estiércol bovino como complemento a la fertilización química del maíz de temporal. *In: Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Cd. Obregón, Sonora, México. 194.
- Atiyeh, R. M., Domínguez, J., Subler, S. y Edwards, C. A., 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiología*, **44**, 709-724.
- Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S. y Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioreource Technology* **78**, 11–20.

- Atiyeh, R. M., Arancon, N. Q., Edwards, C. A. y Metzger, J. D. 2002. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Biores. Technol.*, **81**, 103-108.
- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Metzger, J.D., Lee, S. y Arancon, N.Q. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, **84**, 7-14.
- Azarmi, R., Giglou M. T., Taleshmikail, R.D. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. *African Journal of Biotechnology*, **7**, 2397-2401.
- Babou, OJ., Shioh-Long, T. y Zeng, Y. 2007. Relationship between compost pH buffer capacity and P content on P availability in a virgin Ultisol. *Soil Science* **172**, 56-68.
- Balesdent, J., Chenu, C. y Balabane, M. 2000 Relationship of soil organic matter dynamic to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* **52**, 215-230.
- Bhattacharjee, G., P. S. Chaudhuri y M. Datta. 2001. Response of paddy (Var. TRC-87-251) crop on amendment of the field with different levels of vermicompost. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences* **3**, 191-196.
- Benitez, E., R. Nogales, G. Masciandaro y B. Ceccanti. 2000. Isolation by isoelectric focusing of humic-urease complexes from earthworms (*Eisenia fetida*) processed sewage sludges. *Biol. Fertil. Soils* **31**, 489-493.
- Bertsch, F. 1998. *La fertilidad de los suelos y su manejo*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José Costa Rica. 164 p.
- Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. pp. 1179-1237. In: Black, C.A. (ed.). *Methods of soil analysis. Agronomy 9, Part 2. American Society of Agronomy*. Madison, WI, USA.
- Brigante, M., Zanini, G. y Avena, M. 2006. Efecto de ácidos carboxílicos en la cinética de disolución de ácidos húmicos. Sección E. Química de sólidos, superficies, interfaces y materiales. Bahía Blanca, Argentina. pp. 1.
- Bulluck III, LR., Brosius, M., Evanylo, GK. y Ristaino, JB. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physicals and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology* **19**, 147-160.
- Castellanos R., J.Z. 1980. El estiércol como fuente de nitrógeno. Seminarios Técnicos 5(13). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.
- Castellanos, J. y Pratt, P. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. *Soil Science Society of America Journal* **45**, 354-357.
- Castellanos R., J.Z., J. Etchevers B., A. Aguilar S. y R. Salinas J. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y

las propiedades de un suelo en una región irrigada del norte de México. *Terra* **14**, 151-158.

Castellanos, J.Z. 2005. *Manejo de la Fertirrigación y la Nutrición de Chile Poblano*. Curso Internacional Manejo de la Fertirrigación y la Nutrición de las Hortalizas, León, Gto. México. 18 p.

Castillo, E. A., Quarín, H. S. y Iglesias, C. M. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica (Chile)* **60**, 74-79.

Castro, A., Henríquez, C. y Bertsch, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense* **33**, 31-43.

Cervantes Flores, MA. 2004. Abonos Orgánicos. Centro de Formación Profesional Agraria. E.F.A. CAMPOMAR. [http:// www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)

Chaimsohn, FP., Villalobos, E., Urpí, J. 2007. El fertilizante orgánico incrementa la producción de raíces de pejibaye (*Bactris gasipaes* K.). *Agronomía Costarricense* **31**, 31-43.

Chaoui, H., Edwards, C., Brickner, A., Lee, S. y Arancon, N. 2002. Suppression of the plant parasitic diseases: Pythium (damping off), Rhizoctonia (root rot) and Verticillium (wilt) by vermicompost. *International Symposium on Earthworm Ecology*, Sep. 1-6, Cardiff, Wales.

Chaoui, H. I., L. M. Zibilske y T. Ohno. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*. **35**, 295-302.

Chapman, H. D. 1965. Cation Exchange Capacity.pp. 891-901. In: C. A. Black (ed.), *Methods of analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of agronomy*. Madison, Wisconsin.

Chen, Y., De Nobili., M. y Aviad, T. 2004. Stimulatory effects of humic substances on plant growth. Magdoff, F. and Weil, R.R. (Eds). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, 103-130.

Cooperband, L. 2002. Building soil organic matter with organic amendments. Center for integrated agricultural system. University of Wisconsin-Madison. Madison, WI, USA.

Cresser, M., Killham, K. y Edwards, T. 1993. *Soil Chemistry and its Applications*. Quinta Edición, Cambridge University Press, Reino Unido.192 p.

De Brito Álvarez, M., Gagne, S. y Antoun, H. 1995. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of Plant Growth-Promoting Rhizobacterias. *App. and Env. Microbiol.* **61**, 194-199.

Dimas, López-Martínez J., A. Díaz, E. Martínez y R. Valdez. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra* **19**, 293-299.

- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. NOM-021-RECNAT-2000. Norma oficial mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D.F.
- Domínguez, J., C. Lazcano y M. Gómez. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana* **2**, 359-371.
- Duran-Umaña, L. C. Henríquez- Henríquez. 2009. El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía Mesoamericana* **21**: 85-93.
- Edwards, C.A. y N.Q. Arancon. 2004. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes to produce vermicomposts and animal feed protein. In Edwards, C. A. (Ed.), *Earthworms Ecology*, Segunda Edición, CRC Press, Boca Ratón, FL. pp. 345-379.
- Evanylo, G, Sherony, C, Spargo, J, Starner, D, Brosius, M. y Haering, K. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer- manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **127**, 50-58.
- Ferreras, L., E. Gomez, S. Toresani, I. Firpo y R. Rotondo. 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresour. Technol.* **97**, 635–640.
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Orona-Castillo, I., García-Salazar, J. A., García-Hernández, J. L. y Orozco-Vidal, J. A. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *TERRA Latinoamericana*. **27**, 329-336.
- Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J.L., Navarro Bravo, A., Antonio- González, J. y Omaña Silvestre, J.M. 2012. Sustratos orgánicos en la producción de chile pimiento morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **3**, 1203-1216
- García, M., Solano, V. 2005. *Cría de la lombriz de tierra: Una alternativa ecológica y rentable*. Editorial San Pablo, México. 144-147p.
- Gomiero, T., Paoletti, M.G. y Pimentel, D. 2008. Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture. *Critical Reviews in Plant Science*, **27**, 239-254.
- Hartz, T., Mitchell, J. y Giagnini, C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. *HortScience* **35**, 209-212.
- Hashemimajd, K., M. Kalbasi, A. Golchin y H. Shariatmadari. 2004. Comparison of vermicompost and composts as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition* **6**, 1107-1123.
- Hayes, M.H.B. y Wilson, W.S. 1997. Humic substances, peats and sludges; health and environmental aspects. *Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK*, 172, 496.

- Hidalgo, P. R. y R. L. Harkess. 2002a. Earthworm casting as a substrate amendment for *Chrysanthemum* production. *Hortscience* **37**, 1035-1039.
- Hidalgo, P. R. y R. L. Harkess. 2002b. Earthworm casting as a substrate for *Poinsettia* production. *Hortscience* **37**, 304-308.
- Hopkins, B. y J. Stark, 2003. Humic acid effects on potato response to phosphorus. *Presented at the Idaho Potato Conference January 22-23*.
- Inifap. 1998. Guía para la asistencia técnica agrícola. Fundación Produce. Pabellon, Aguascalientes, México.
- Inventario Nacional de Suelos / Semarnat, 2002. Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México, (PACD-México, 1994), México.
- Jackson, M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Trad. al español por J. Beltrán. Omega. Barcelona, España.
- Jouquet, EP., E. Bloquel, T. Thu Doan, M. Ricoy, D. Orange, C. Rumpel y T. Tran Duc. 2011. Do compost and vermicompost improve macronutrient retention and plant growth in degraded tropical soils? *Compost Science & Utilization* **19**, 15-24.
- Kalantari, S., Hatami, S., Ardalan, M.M., Alikhani, H.A. y Shorafa, M. 2010. The effect of compost and vermicompost of yard leaf manure on growth of corn. *African Journal of Agricultural Research* **5**, 1317-1323.
- Karakurt, Y., H. Unlu, H. Unlu y H. Padem. 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acids on yield and quality of pepper. *Soil and Plant Science* **59**, 233-237.
- Ketkar, C.M. 1993. Use of biogas slurry in agriculture. p. 24–26. In Biogas slurry utilization. Consortium on Rural Technology, New Delhi, India.
- Larcheveque, M., Baldy, V., Montes, N., Fernandez, C, Bonin, G. y Ballini, C. 2005. Short-term effects of sewage-sludge compost on a degraded Mediterranean soil. *Soil Sei. Soc. Am. J.*, **70**, 1178-1188
- LECO. 2008. *Organic application notes*. Disponible en <http://www.leco.com/>, verificado 18/02/2008
- Legaz, F. y E. Primo-Millo. 1992. Influencia de la fertilización nitrogenada en la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas. *Levante Agrícola* 317-318, 4-15.
- Lindsay, W. L. y W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* **42**, 421-428.
- Lingaraju, B.S., Parameshwarappa, K.G., Hulihalli U.K. y Basavaraja, B. 2010. Effect of organics on productivity and economic feasibility in maize-bengalgram cropping system. *Indian Journal of Agricultural Research*, **44**, 21-215.

- López-Martínez, J. D., A. Díaz-Estrada, E. Martínez-Rubín y R. D. Valdez-Cepeda. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra* **19**, 293-299.
- López Reyes, M. 2001. Degradación de suelos en Sonora: el problema de la erosión en los suelos de uso ganadero. *México: Red Región y Sociedad* **13**, 73-97.
- Mackowiak, C.L., Grossl, P.R., y Bugbee, B.G. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Science Society of America Journal*. **65**, 1744-1750.
- Mahewarappa, H.P., Nanjappa, H.V., y Hegde, M.R. 1999. Influence of organic manures on yield of arrowroot, soil physico-chemical and biological properties when grown asintercrop in coconut garden. *Annals of Agricultural Research* **20**, 318-323.
- Marinari, S., G. Masciandaro, B. Ceccanti y S. Grego. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*. **72**, 9-17.
- Meléndez, G. 2003. Fracción orgánica del suelo: Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. In: G. Soto, G. Meléndez, L. Uribe eds. Abonos orgánicos: Principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. San José, Costa Rica. p. 1.
- Mikkelsen, R.L., 2005. Humic Materials for Agriculture. *Better Crops*, 89.
- Miramontes-Piña, C.U., M. S. Cruz D., M. M. Gómez V., M. E. Ortiz P., A. M. Entzana T., C. Y. Suárez H. y V. Santillán M. 2007. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. Servicio de información agroalimentaria y pesquera.
- Moreno, J.L., Garcia, C, Hernandez, T. and Pascual, J.A. 1996. transference of heavy metals from a calcareous soil amended with sewage-sludge compost to barley plants. *Biores. Technol.* **55**, 251-2
- Moreno-Reséndez, A., Valdés-Perezgasga, M. T. y Zarate-López, T. 2005 Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc. (Chile)*. **65**, 26-34
- Narambuye, F. y Haynes, R. 2007. Effect of organic amendments on soil pH and Al solubility and use of laboratory indices to predict their liming effect. *Soil Science* **171**, 748-754.
- Ndegwa, P. M., Thompson, S. A. y Dass, K. C. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* **71**, 5-12
- Neely, C. L., M. H. Beare, W. L. Hargrove y D. C. Coleman. 1991. Relationships between fungal and bacterial substrate-induced respiration, biomass and plant residue decomposition. *Soil Biol. Biochem.* **23**, 947-954.
- Normas Oficiales Mexicanas. *NMX-FF-109-SCFI-2007*. Humus de lombriz (lombricomposta) – Especificaciones y Métodos de prueba.

- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implication for management. *Plant and Soil* **76**, 319-337
- Olsen, S. R. y L.A. Dean, 1965. Phosphorus. Pp. 1035-1049. In: C. A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. *Agronomy 9. American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin.
- Orozco, F. H., Cegarra, J., Trujillo, L. y Roig, A. M. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils* **22**, 162-166.
- Padem, H., Ocal, A. y Alan R. 1997. Effect of humic acid added foliar fertilizer on seedling quality and nutrient content of eggplant and pepper. *Acta Horticulturae*, **491**, 241-246.
- Phelan, P.L. 2004. Connecting belowground and aboveground food webs: the role of OM in biological buffering.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, R. M. 2008. *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo*. Mundi-Prensa, España. 451 p.
- Ramos Gourcy, F., JA. Aguilar, M. López, Y. Ochoa F. y O. Vázquez. 2011. Fertiliza: hoja de cálculo para la fertilización de suelos y nutrición de cultivos hortícolas. In: *Memorias de la XIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Culiacán*, Sin. México. p. 215.
- Rivero, C, Chirenje, T., Ma, L.Q. and MarHnez, G. 2004. Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma* **123**, 355-361.
- Robledo O., Grosso, E., Zoppolo, R., Lercari, D. y Etchebehere, C. 2010. Producción de tomate y dinámica microbiológica del suelo de invernáculo al aplicar vermicompostas. *Avances en Investigación Agropecuaria* **14**, 35-51.
- Rodríguez, M. M. N., Alcántar, G. G., Aguilar, S. A., Etchevers, B. J. D., Santizo, R. J. A. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra* **16**, 8135-141
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Favela-Chávez, E., Figueroa-Viramontes, U., Paul-Álvarez, V. de, Palomo-Gil, A., Márquez-Hernández, C. y Moreno-Reséndez, A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo, Serie horticultura* **13**, 185-192.
- Romero-Lima, R., A. Trinidad-Santos, R. García-Espinoza y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelos con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* **34**, 261-269.
- Romina V. Comese, Mirta G. González y Marta E. Conti. 2009. Cambios en las propiedades de suelo de huerta y rendimiento de *Beta vulgaris* var. *cicla* (L) por el uso de enmiendas orgánicas. *Cl. Suelo* **27**, 271-275.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-077-FITO-2000. Por la que se establecen los requisitos y especificaciones para la realización de estudios de efectividad biológica de los insumos de nutrición vegetal. Diario Oficial martes 11 de abril de 2002.

Sanchez, J.E., Hardwood, R.R., Willson, T.C., Kizilkaya, K., Smeenk, J., Parker, E., Paul, E.A., Knezek, B.D. y Robertson, C.P. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *J. Agr.* **96**, 769-775.

Sánchez-Monedero, M. A., Mondini, C., Cayuela, M. L., Roig, A., Contin, M. y De Nobili, M. 2008. Fluorescein diacetate hydrolysis, respiration and microbial biomass in freshly amended soils. *Biol. Fertil. Soils.* **44**, 885-890.

SAS. 1999. *Procedures guide for personal computers*. CARY, N. C.: SAS Institute, Inc., U. S. A.

Seiter, S. y Horwath, W.R. 2004. *Strategies for managing soil organic matter to supply plant nutrients*. Magdoff, F. and Weil, R.R. (Eds.). Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC Press, pp. 269-293.

Selim E.M., A.S. El-Neklawy y Soad, M. El-Ashry. 2009. Beneficial effects of humic substances fertigation on soil fertility to potato growth on sandy soil. *Australian Journal of basic and applied sciences* **3**, 4351-4358.

Semarnat – CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000. *Memoria Nacional 2001-2002*. México, 2003.

Semarnat, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, con base en: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Conjunto de Datos Vectoriales de uso de suelo y vegetación, 2002-2005. Escala 1:250,000. Serie III. INEGI, México 2005.

Serenella, N., Pizzeghello, D., Muscolob, A. y Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology & Biochemistry*, **34**, 1527-1536.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>

Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhan, K., Valani, D. 2010. The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's 'friends of farmers', with potential to replace destructive chemical fertilizers from agriculture. *Agricultura Sciences*, **1**, 76-94.

Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: Definiciones y procesos. *In*: Soto, G, Meléndez, G., Uribe, L. eds. Abonos orgánicos: Principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. Centro de Investigaciones Agronómicas, Costa Rica. p. 27-33.

Soto, G. y Meléndez, G. 2003. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. *In*: Soto, G, Meléndez, G, Uribe, L. eds. Abonos orgánicos: Principios, aplicaciones e impacto en la Agricultura. Centro de Investigaciones Agronómicas, Costa Rica. p. 59.

- Soto, G. y Meléndez G. 2004. ¿Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos? *Manejo integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. **72** 91-97.
- Statistica. 2007. STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.
- Steel, G. B. y Torrie, H. J. 1986. *Bioestadística, Principios y Procedimientos*. Segunda Edición. McGraw Hill, México, 620 p.
- Stevenson, F.J. 1982. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. *Wiley-Interscience, New York*.
- Tejada M. y J. L. González. 2009. Application of Two Vermicomposts on a Rice Crop: Effects on Soil Biological Properties and Rice Quality and Yield. *Agronomy Journal* **101**, 336–344.
- Tiltson, E.L., Pitt, D. y Groenhof, A.C. 2002 Composted recycles organic matter suppresses soil-borne diseases of field crops. *Neiv Phytol.* **154**, 731-740.
- Townsend, C.R., Begon, M. y Harper, J.L. 2008. *Essentials of Ecology*. Tercera edición, Blackwell Publishing, Oxford, 510 pp.
- Urrestarazu, M., Salas, C. M., Padilla, I. M., Moreno, J., Elorrieta, A. M. y Carrasco, G. A. 2001. Evaluation of different composts from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soils cropping. *Acta Hort.* **549**, 147-152.
- Van Bruggen, A. H. C. y N. J. Grünwald. 1996. Test for risk assessment of root infection by plant pathogens. In: *Methods for Assessing Soil Quality*. Doran, J. W. y Jones, A. J. (Eds) Soil Science Society of America, Madison Wisconsin, pp. 293-310.
- Weil, R.R. y Magdoff, F. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. Magdoff, D. and Weil, R.R. (Eds.). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, pp. 1-5.
- Yasar Karakurt, Husnu Unlu, Halime Unlu y Huseyin Padem. 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acids on yield and quality of pepper. *Soil and Plant Science* **59**, 233-237.
- Zandonadi, D.B, Canellas, L.P. y Facanha, A.R. 2007. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H₂O pumps activation. *Planta*, **225**, 1583-1595.

ANEXOS

Anexo	Contenido
A	Preparación de muestras del suelo.
B	Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos.
C	Determinación del pH del suelo a través del Método electrométrico en una solución de agua pura 1:2.
D	Determinación de la densidad aparente del suelo por medio de probeta.
E	Determinación de materia orgánica del suelo a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black.
F	Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo a través del Método para la determinación de nitrógeno inorgánico extraíble con el procedimiento micro-Kjeldahl.
G	Determinación del fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos por el procedimiento de Olsen y colaboradores.
H	Método para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) de los suelos, empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante.
I	Método para la determinación de micro nutrientes y metales contaminantes (hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo, cadmio y níquel) del suelo por medio del Quelatante DTPA.
J	Determinación de boro en el suelo con azometina-h a través del Método para la determinación de boro del suelo, usando como extractante cloruro de calcio 1.0 M y cuantificándolo con una solución de azometina-H.
K	Método para determinar los cationes solubles (Ca, Mg, Na y K) en el extracto de saturación por medición en un aparato de absorción atómica (Ca y Mg) y en un espectrofotómetro de flama (Na y K).
L	Método para determinar los aniones solubles (cloruros, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos) en el extracto de saturación, por titulación volumétrica, los tres primeros y por turbidimetría, el último.
M	Resultados del análisis de varianza en las propiedades físico-químicas del suelo bajo condiciones de campo en el cultivo de maíz.
N	Resultados del análisis de varianza en la respuesta agronómica del cultivo de maíz.
O	Resultados del análisis de varianza en la respuesta agronómica del cultivo de chile.

ANEXO A

Preparación de muestras del suelo (DOF, 2002).

Material y equipo

- Etiquetas.
- Hojas de plástico de 40 x 70 cm.
- Mazo de madera.
- Cilindro de madera.
- Libreta de registro.
- Tamices de acero inoxidable de malla < 2 mm.
- Bolsas Transparente de 2 kg de capacidad.

Procedimiento:

1. **Secado.** Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, se extendieron las muestras en una superficie limpia y plana, se colocaron sobre tiras de papel a una profundidad inferior de 2.5 cm, se colocaron en la sombra a una temperatura no mayor a 35°C y una humedad relativa entre 30 y 70%.
2. **Molienda.** Primeramente se retiraron las rocas y el material orgánico visible de la muestra, la molienda se realizo con un mazo de madera para las partículas más grandes y posteriormente se utilizo el cilindro de madera para completar el proceso.
3. **Tamizado.** El suelo molido se hizo pasar por un tamiz con aberturas de dos mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable. Este grado de fineza es conveniente para la mayoría de los análisis requeridos con el propósito de diagnosticar la fertilidad de un suelo. Una vez tamizado el material se separaron 1.5 kg de suelo, cantidad suficiente para hacer las determinaciones químicas y físicas que permitirán caracterizar el suelo desde el punto de vista de su fertilidad.
4. **Homogeneizado.** Este paso se realizo cada vez que se tomaron y pesaron la muestras de suelo para cada una de las determinaciones a realizar, esto es necesario para evitar sesgo en la selección de la submuestra que va a ser destinada para las determinaciones analíticas. El homogeneizado se hizo utilizando las bolsas de plástico donde estaban originalmente las muestras haciendo girar la muestra en todas direcciones.

- 5. Pesado.** De la muestra de suelo ya tamizada y debidamente homogenizada se extrajo la submuestra que va a ser utilizada para cada una de las determinaciones analíticas. La submuestra extraída fue pesada con balanza de precisión marca Ohaus.



ANEXO B

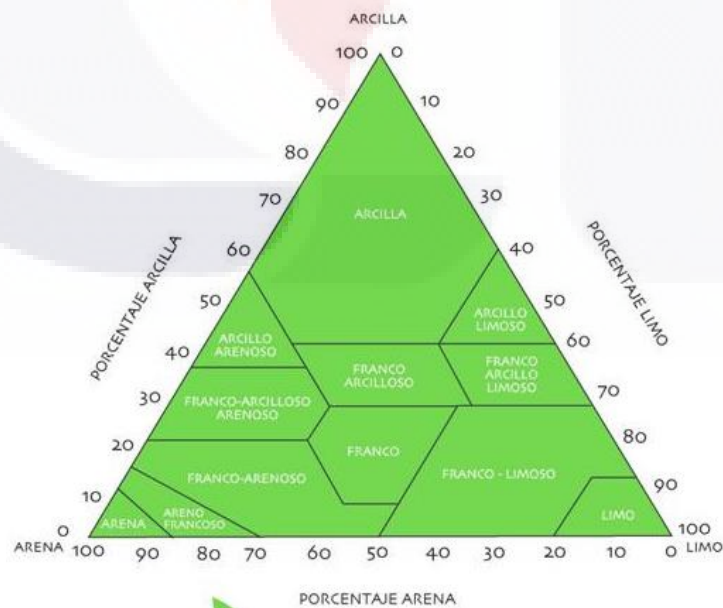
Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos (DOF, 2002).

Procedimiento. Se pesaron 50 g de suelo tamizado en un vaso de precipitados de 500 ml y se agregaron 40 ml de hexametáfosfato de sodio, se dejó reposar durante 15 minutos. Las muestras se pasaron de los vasos de precipitado a las copas del agitador mecánico, pasando todo el material con la ayuda de una piceta. Se activaron los agitadores y procedió a dispersar durante cinco minutos. Al finalizar el tiempo de agitación, se bajó la copa del dispersor y se pasó el contenido a una probeta de 1000 ml enjuagando la copa con ayuda de una piceta. Se agregó agua destilada hasta completar un litro con el hidrómetro de bouyocos dentro de la suspensión en la probeta, se sacó el hidrómetro y suspendió el suelo con un agitador de mano operando durante un minuto. Se tomaron las lecturas del hidrómetro primeramente a los 40 segundos y después de 2 horas de terminada la dispersión con el agitador de mano. Para hacer la lectura se colocó el hidrómetro dentro de la probeta 20 segundos antes del momento de la determinación, cuidando de alterar lo menos posible la suspensión. Después de hacer la lectura se secó el hidrómetro, se lavó, seco y tomo la temperatura.

Cálculos: Se corrigieron las lecturas del hidrómetro agregando 0.36 por cada grado centígrado arriba de 19.5 restando la misma cantidad por cada grado debajo de dicha temperatura. La lectura a los 40 segundos multiplicada por dos es igual al porcentaje de arcilla más limo. Restando de 100 se obtiene el porcentaje de arena. La lectura obtenida a las dos horas multiplicadas por dos es igual al porcentaje de arcilla. El porcentaje de limo se obtiene por diferencia. Con los porcentajes de limo, arena y arcilla se determina la textura correspondiente con el triángulo de texturas.

Tabla de Corrección por Temperatura.

TEMP. °C	CORRECCIÓN		TEMP. °C	CORRECCIÓN	
15	-	1.62	21.5	+	0.18
15.5	-	1.44	22	+	0.9
16	-	1.26	22.5	+	1.08
16.5	-	1.08	23	+	1.26
17	-	0.9	23.5	+	1.44
17.5	-	0.72	24	+	1.62
18	-	0.54	24.5	+	1.8
18.5	-	0.36	25	+	1.98
19	-	0.18	25.5	+	2.15
19.5	-	0	26	+	2.34
20	+	0.18	26.5	+	2.52
20.5	+	0.36	27	+	2.7
21	+	0.54	27.5	+	2.858
			28	+	3.06



Triángulo de Texturas.

ANEXO C**Determinación del pH del suelo a través del Método electrométrico en una solución de agua pura 1:2 (Jackson, 1964).**

Procedimiento. Se pesaron 10 g de suelo en un frasco de plástico de boca ancha, se adicionaron 20 ml. de agua destilada al frasco conteniendo el suelo, se selló el frasco y posteriormente mediante un agitador de vaivén se agitó la mezcla de suelo/agua durante 30 minutos, se dejó reposar 15 minutos. Se calibró el medidor de pH con las soluciones reguladores pH 4.00 y 7.00, se enjuagaron con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras, se agitó nuevamente la suspensión y se introdujo el electrodo en la suspensión, se registró el pH al momento en que la lectura se estabilizó y se clasifico de acuerdo con la siguiente figura:

Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH.

CLASIFICACIÓN	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

ANEXO D

Determinación de la densidad aparente del suelo por medio de probeta (DOF, 2002).

Procedimiento. Se pesaron 40 gr de suelo seco (Pt), se colocó en una probeta de plástico de 50ml y se cerró con un tapón de hule, posteriormente se humedeció una franela, se exprimió el exceso de humedad y se dobló tres veces, la franela se colocó sobre una mesa. Sobre la franela se golpeó 30 veces la probeta con una frecuencia de un golpe por segundo y con una trayectoria vertical de 30 cm, la intensidad del golpe permitió el asentamiento del suelo y no la emisión del mismo hacia la boca de la probeta, luego de concluido la serie de golpes, se leyó el volumen final (V) que ocupó el suelo y se anotó el dato. El cálculo para la densidad aparente es mediante la siguiente fórmula:

- **Densidad Aparente (DA) = Pt / V gr/cm³**

ANEXO E

Determinación de materia orgánica del suelo a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black (Jackson, 1964).

Procedimiento. Se pesaron 0.5 g de suelo seco, se pasó por un tamiz de 0.5 mm y coloco en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se procesó un blanco con reactivos por triplicado. Se adicionaron 10 ml de dicromato de potasio 1 N girando el matraz cuidadosamente para que entrara en contacto con todo el suelo. Se agregaron cuidadosamente con una bureta 20 ml de H₂SO₄ (Ácido Sulfúrico) concentrado a la suspensión, girando nuevamente el matraz y agitando de esa forma durante un minuto. Se dejó reposar durante 30 minutos sobre una mesa de madera. Se añadieron 200 ml de agua destilada y 5 ml de H₃PO₄ (Ácido Fosfórico) concentrado, se adicionaron 10 gotas del indicador de difenilamina. Se tituló con la disolución de sulfato ferroso gota a gota hasta un punto final verde claro.

Cálculos:

$$\% \text{ C Orgánico} = ((B * T) / g) (N) (0.39) \text{ mcf}$$

Donde:

B = Volumen del sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml).

T = Volumen del sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml).

N = Normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras).

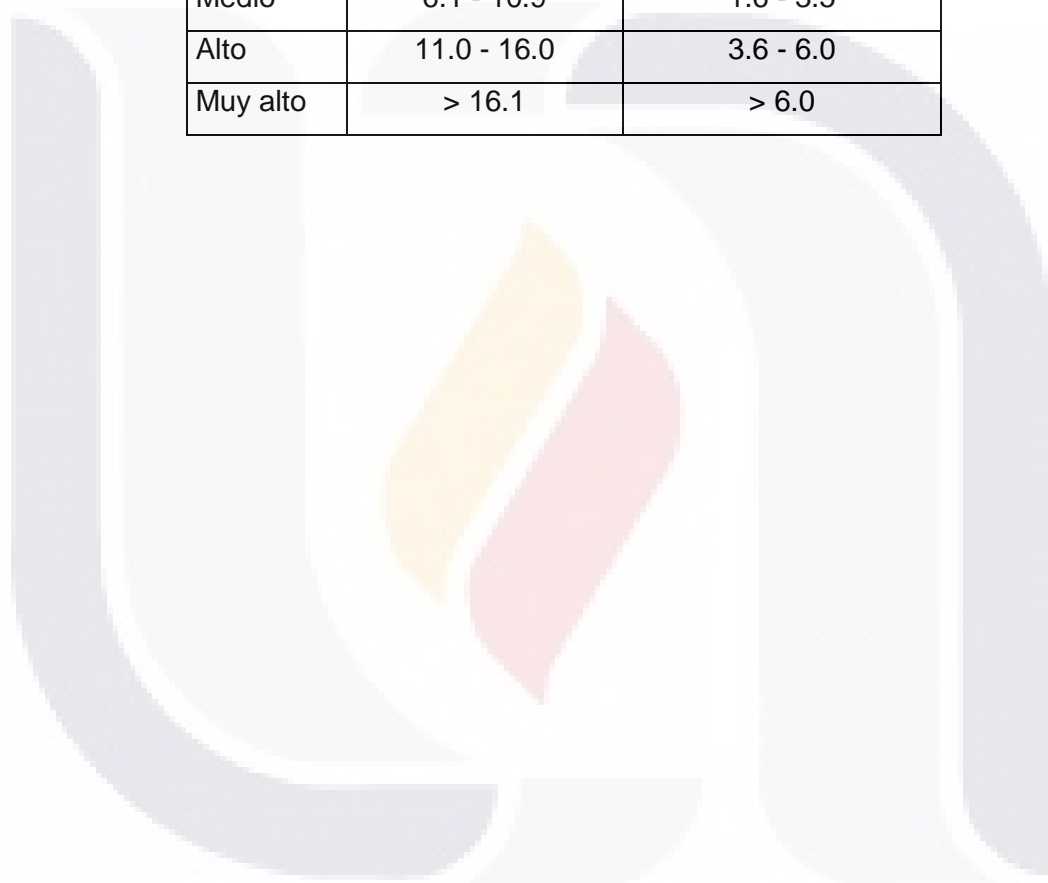
g = Peso de la muestra empleada.

Mcf = Factor de corrección de humedad

$$\text{Materia orgánica} = \% \text{ C Orgánico} \times 1.724$$

Clasificación de la concentración de Materia Orgánica en suelos minerales y volcánicos.

Clase	Materia Orgánica (%)	
	Suelos Volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy alto	> 16.1	> 6.0



ANEXO F

Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo a través del Método para la determinación de nitrógeno inorgánico extraíble con el procedimiento micro-Kjeldahl (Bremner, 1965).

Procedimiento. Se pesaron 5 gr de suelo y colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 ml, se agregaron 50 ml de solución de KCl 2 N y se agitó por 60 minutos en agitador de acción recíproca regulado a 180 rpm y se centrifugó por 5 minutos. Se colocaron 10 ml de solución H_3BO_3 (ácido bórico) con indicador en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y se conectó en un tubo de salida del refrigerante, de modo que éste quedo en contacto con el líquido. Se pipeteo una alícuota de 10 a 20 ml del extracto de suelo y colocó en un matraz de destilación, se agregaron 0.2 gr de MgO calcinado y 0.2 gr de aleación de Devarda. Se conectó el aparato de destilación y se destilo hasta completar aproximadamente 30 ml en 3-4 minutos. Se tituló la muestra y los blancos con ácido sulfúrico 0.005 N. El color cambio de verde a rosa tenue en el punto final.

Cálculos:

$$N \text{ (ppm)} = (M - B) \times N \times 14 \times (V_i / a) \times 1/P \times 1000$$

Donde:

M y B = mililitros de ácido sulfúrico utilizados en la titulación de la muestra y el blanco, respectivamente.

N = Normalidad del ácido.

V_i = Volumen extractante.

a = Alícuota destilada

p = Peso de la muestra en gramos.

ANEXO G

Determinación del fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos por el procedimiento de Olsen y colaboradores (Olsen y col., 1965).

Procedimiento. Se pesaron 2.5 g de suelo y colocó en tubos de polietileno, se adicionaron 50 ml de la solución extractora, se tapó y agitó la suspensión en agitador de vaivén durante 30 min a 180 oscilaciones por minuto. Se filtró inmediatamente a través de papel filtro Ahlstrum. Se prepararon blancos a partir de alícuotas de solución extractora y adicionando todos los reactivos como en las muestras. Se tomó una alícuota de 5 ml del filtrado y se colocó en un matraz aforado de 50 ml, se agregaron 5.0 ml de la solución reductora, se agitó y aforó. Se tomó una lectura después de 30 min pero antes de una hora a una longitud de onda 882 nm. Para la preparación de una curva de calibración con patrones de 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 mg L⁻¹ de P, se pipetearon 0, 1, 2, 4, 6 y 10 ml de una solución de 5 mg L⁻¹ de P a matraces aforados de 50 ml, se adicionó un volumen de solución extractante de NaHCO₃ 0.5 M igual a la alícuota empleada para medir en las muestras desconocidas, se llevó aproximadamente 40 ml con agua y se adicionaron 5 ml de la solución reductora con ácido ascórbico, se aforó. Nuevamente se agitó y se tomaron las lecturas y después de 30 minutos pero antes de una hora a 882 nm, se leyeron las muestras y los patrones al mismo tiempo de reacción, contando el tiempo desde que se agregó el reactivo que genero el complejo hasta el momento de la lectura.

Cálculos:

$$P \text{ (mg Kg}^{-1} \text{ de suelo)} = CC \times V_i/p \times V_f/a$$

Donde:

CC = mg L⁻¹ de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración e interpolando en la misma los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las que previamente se les ha estado dando el valor promedio de los blancos.

V_i = Volumen de la solución extractora adicionada.

p = Peso de la muestra seca al aire.

V_f = Volumen final de la solución colorimétrica a leer.

a = Alícuota de la muestra empleada para la cuantificación.

Clasificación de la concentración de P en suelo.

CLASE	mg Kg ⁻¹ de P
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 - 11
Alto	> 11



ANEXO H

Método para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) de los suelos, empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante (DOF, 2002).

Procedimiento. Se pesaron 5 g de suelo y se transfirió a un tubo de centrifuga de 50 ml, se agregaron 33 ml de solución de acetato de amonio, se tapó y agitó en posición horizontal durante 10 minutos. Luego se centrifugo hasta que el líquido sobrenadante quedo claro. Se decantó el líquido en un matraz de 100 ml y se repitió la extracción otras dos veces, se aforó con acetato de amonio y se guardó para la posterior determinación de las bases intercambiables (Solución A). Se agregaron 30 ml de solución de cloruro de amonio 1N; se agitó durante 10 minutos y luego se centrifugó hasta que el líquido sobrenadante quedo claro y se desechó. Se adicionaron 30 ml de la solución de cloruro de amonio 0.25N, se agito durante 10 minutos, se centrifugo y desechó el sobrenadante. Se lavó la muestra con porciones de alcohol de 30 ml agitando durante 10 minutos, se centrifugó y eliminó el sobrenadante cada vez. El lavado se terminó cuando la prueba de cloruros en el decantado fue mínima.

Prueba de cloruros. Se pipeteo 10 ml del sobrenadante alcohólico en un tubo de ensayo y agregaron 5 gotas de nitrato de plata, se continuó el lavado hasta que la prueba de cloruros resultó negativa (cuando ya no se observó un ligero precipitado blanco). Se reemplazó el amonio adsorbido con tres porciones de 33 ml de cloruro de sodio al 10%, agitando durante 10 minutos y centrifugando cada vez. Se decantó cada reemplazo en un matraz volumétrico de 100 ml y completo el volumen. Se determinó el amonio a partir de una alícuota de 10 ml, la que se transfirió a un matraz Kjeldahl de 300 ml, se le agregaron aproximadamente 8 ml de NaOH (hidróxido de sodio) al 40% y se conectó al aparato de destilación micro-kjeldahl. Se recogió el producto de la destilación en un matraz Erlenmeyer que contenía 10 ml de mezcla de indicador y ácido bórico. Se determinó por titulación con HCl 0.01N (ácido clohídrico).

Cálculos. La capacidad de intercambio catiónico expresado en $\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ de suelo (CIC) se calculara de la manera siguiente:

$$\text{CIC} = 200 (V) (N)$$

Donde:

V = Volumen de HCl (ml) empleado al titular lo destilado en la solución borada.

N = Normalidad de HCl.

200 = (100/alícuota) x (100/peso del suelo);

Alícuota = 10 ml y peso de suelo = 5g.

Determinación de Ca y Mg intercambiables. Se pipetearon 0.5 ml de la solución A en un tubo de ensayo, se añadieron 9.5 ml de la solución diluida de lantano y se mezcló, se midió la concentración de Ca y Mg en las series estándar, el blanco y la muestra por espectrofotometría de absorción atómica a una longitud de onda de 422.7 y 285.2 nm respectivamente, usando una flama de aire-acetileno.

Cálculos:

$$\text{Ca (Cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}) = (a-b) \times (100/1000) \times 20 \times (1000/10w) \times (2/40.08) = 9.98 \times ((a-b)/w)$$

$$\text{Mg (Cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}) = (a-b) \times (100/1000) \times 20 \times (1000/10w) \times (2/24.32) = 16.447 \times ((a-b)/w)$$

Donde:

a = Concentración de Ca o Mg medido en la muestra (mg L^{-1}).

b = Concentración de Ca o Mg medido en el blanco (mg L^{-1}).

w = Peso del suelo seco (gr).

Determinación de Na y K intercambiables. Se pipetearon 1.0 ml de la solución A en un tubo de ensayo, añadieron 1.0 ml de la solución de cloruro de cesio acidificada y 8 ml de agua, se mezcló y midió la concentración de Na y K en las muestras el blanco y las series estándar por espectrofotometría de emisión de flama.

Cálculos:

$$\text{Na (Cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}) = (a-b) \times (100/1000) \times 20 \times (1000/10w) \times (1/23) = 4.347 \times ((a-b)/w)$$

$$\text{K (Cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}) = (a-b) \times (100/1000) \times 20 \times (1000/10w) \times (1/39.1) = 2.557 \times ((a-b)/w)$$

Donde:

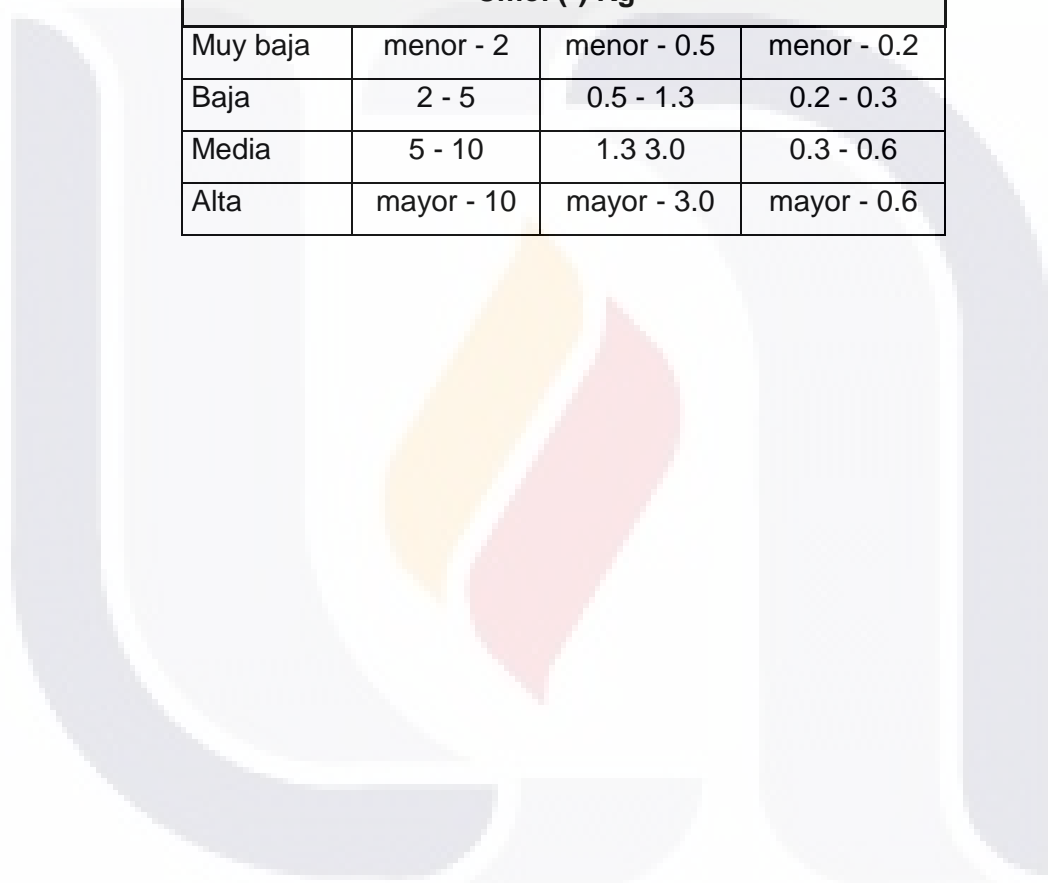
a = Concentración de Na o K medido en la muestra (mg L^{-1}).

b = Concentración de Na o K medido en el blanco (mg L^{-1}).

w = Peso del suelo seco (gr).

Interpretación de los resultados de los análisis de Ca, Mg y K.

Clase	Ca	Mg	K
Cmol (+) Kg^{-1}			
Muy baja	menor - 2	menor - 0.5	menor - 0.2
Baja	2 - 5	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3
Media	5 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6
Alta	mayor - 10	mayor - 3.0	mayor - 0.6



ANEXO I

Método para la determinación de micro nutrientes y metales contaminantes (hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo, cadmio y níquel) del suelo por medio del Quelatante DTPA (Lindsay y col., 1978).

Extracción con DTPA.

Solución de DTPA 0.005 M. Para la preparación de un litro se disolvió 14.9 g de trietanolamina (TEA), 1.97 g de reactivo DTPA y 1.47 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en aproximadamente 300 ml de agua desionizada, se agitó hasta disolver los reactivos, llegando a un volumen de 900 ml y ajustando el pH a 7.3 con ácido clorhídrico 1:1. Finalmente se completó a un volumen de un litro con agua.

Extracción. Se colocaron 10 g de suelo en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y adicionaron 20 ml de solución DTPA, se tapó el matraz con plástico asegurándolo con una liga. Se agitó horizontalmente a 120 oscilaciones por minuto durante dos horas exactamente. Terminado el agitado se separó la solución del suelo mediante un filtrado con papel Ahlstrum. De igual manera se condujo un blanco para lo cual se procedió en forma similar a la muestra problema, pero sin suelo.

Cálculos: Los resultados de la concentración en mgL^{-1} de cada metal se expresaron en mg del metal en un kilogramo de suelo (ppm). Para el caso de la extracción con DTPA la fórmula de cálculo es:

$$\text{mg Kg}^{-1} (\text{metal}) = [((M - b) (L) (F.D.)) / \text{peso suelo}]$$

Donde:

M = Concentración del metal en el extracto de suelo (mgL^{-1})

b = Concentración del metal en el blanco (mgL^{-1})

Peso del suelo expresado en Kg (0.01 Kg)

F.D. = factor de dilución (V_t/A)

V_t = Volumen total de dilución de alícuota.

A = Alícuota del extracto de suelo diluida

L = Volumen del extracto expresado en litros.

Clasificación de los Micronutrientos extraíbles con DTPA.

Clase	Fe	Cu	Zn	Mn
mg Kg⁻¹				
Deficiente	< 2.5	< 0.2	< 0.5	< 1.0
Marginal	2.5 - 4.5		0.5 - 1.0	
Adecuado	> 4.5	> 0.2	> 1.0	> 1.0



ANEXO J

Determinación de boro en el suelo con azometina-h a través del Método para la determinación de boro del suelo, usando como extractante cloruro de calcio 1.0 M y cuantificándolo con una solución de azometina-H (DOF, 2002).

Procedimiento. Se pesaron 15 g de suelo en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y agregaron 30 ml de la solución extractora de cloruro de calcio. Se hirvió durante 5 minutos en la parrilla eléctrica y filtro posteriormente para la obtención del extracto claro. Se tomaron 10, 20,30, 40 y 50 ml de la solución estándar de boro en matraces aforados de 100 ml y se llevo a volumen con agua destilada. La concentración de las soluciones quedó de 2, 4, 6, 8 y 10 mgL⁻¹ respectivamente. Se tomó 1 ml del extracto en un tubo de ensaye y agrego 2 ml de la solución amortiguadora (a base de acetato de amonio y EDTA disódica) y 1 ml de la solución de azometina-H. Se agitó y dejó reposar una hora, después se leyó en el fotocolorímetro a 415-420 nm y se siguió el mismo procedimiento para obtener la curva de calibración.

Cálculos:

$$\text{mg Kg}^{-1} \text{ B} = (\text{mg L}^{-1} \text{ de la solución} \times \text{factor de la dilución}) / \text{peso de la muestra (g)}$$

Donde:

Factor de dilución = 4 x 30

4 = Relación de volumen donde se desarrolló color.

30 = ml de solución extractora.

Rango e interpretación de los valores de Boro en el suelo.

Rango	ppm
Muy bajo	Menor de 0.39
Bajo	0.39 - 0.79
Medio	0.8 - 1.29
Alto	1.3 - 2.1
Muy alto	Mayor de 2.10

ANEXO K

Método para determinar los cationes solubles (Ca, Mg, Na y K) en el extracto de saturación por medición en un aparato de absorción atómica (Ca y Mg) y en un espectrofotómetro de flama (Na y K) (Chapman, 1965).

Determinación de Ca y Mg. Se pipetearon 0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 ml respectivamente de la solución estándar mezclada en seis matraces volumétricos de 100 ml y agregaron 5.0 ml de tiourea 0.1 M y 9.5 ml de la solución diluida de lantano y se aforó con agua. La concentración de las series estándar son de: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mg L⁻¹ de Mg y 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg L⁻¹ de Ca. Se pipetearon 2 ml del extracto de saturación en un tubo de ensayo y añadieron 2 ml de la solución de lantano y se homogenizó. Se midió el Ca y Mg en el aparato de absorción atómica a una longitud de onda de 422.7 y 285.2 nm respectivamente.

Cálculos:

$$\text{Ca soluble mmol L}^{-1} = ((a-b) \times d) / P E$$

$$\text{Mg soluble mmol L}^{-1} = (a-b) \times d$$

Donde:

a = mg L⁻¹ de Ca o Mg en el extracto diluido.

b = mg L⁻¹ en el blanco.

D = Factor de dilución

P E = Peso equivalente (Ca = 20 y Mg = 12.5)

Determinación de Na y K. Se pipetearon 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 ml de la solución estándar diluida en seis matraces volumétricos de 100 ml, respectivamente y añadió un poco de agua, 10 ml de tiourea 0.1 M y 9 ml de la solución de CsCl (cloruro de cesio), se aforó con agua y mezcló. Esta serie estándar tiene concentraciones de: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg L⁻¹ de K y 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2 mg L⁻¹ de Na. Se pipetearon 2 ml del extracto de saturación en un tubo de ensayo y añadieron 2 ml de la solución de Cs y se homogenizó. Se midió Na y K en el espectrofotómetro de emisión atómica a una longitud de onda de 589 y 766.5 nm respectivamente.

Cálculos:

$$\text{Na soluble mmol L}^{-1} = ((a-b) \times d) / P E$$

$$\text{K soluble mmol L}^{-1} = ((a-b) \times d) / P E$$

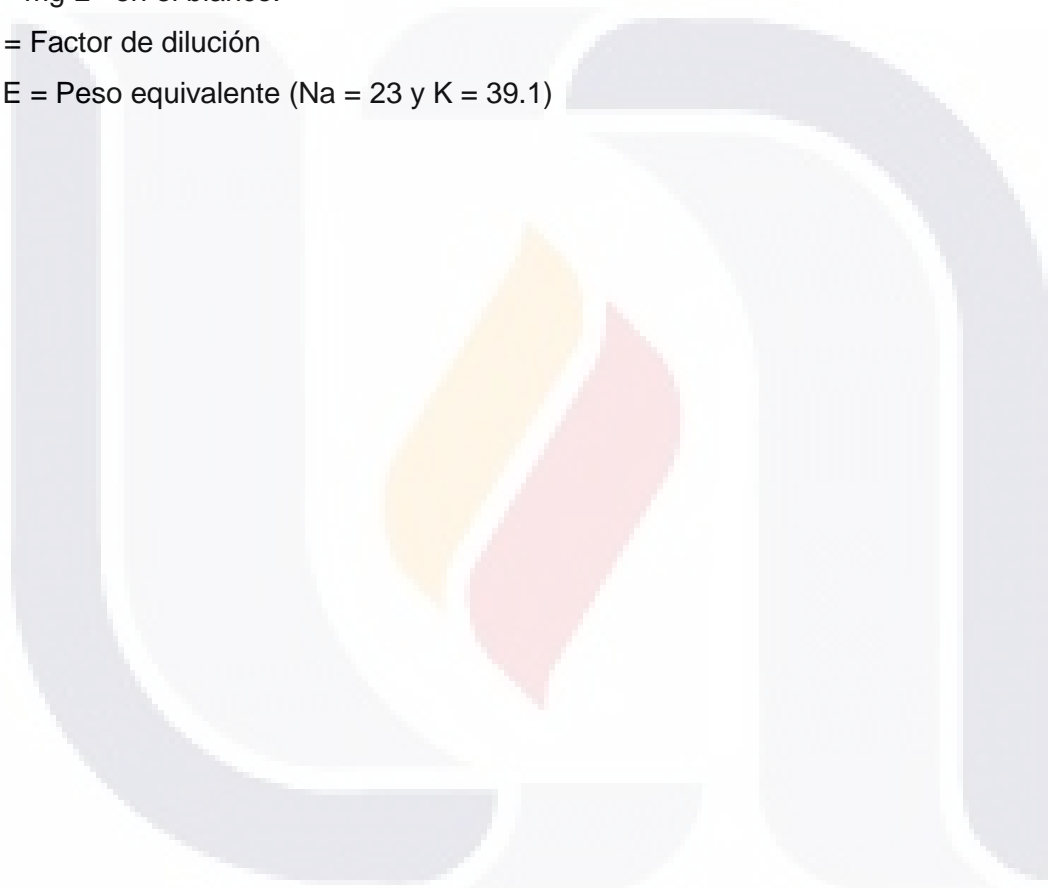
Donde:

a = mg L⁻¹ de Na o K en el extracto diluido.

b = mg L⁻¹ en el blanco.

D = Factor de dilución

P E = Peso equivalente (Na = 23 y K = 39.1)



ANEXO L

Método para determinar los aniones solubles (cloruros, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos) en el extracto de saturación, por titulación volumétrica, los tres primeros y por turbidimetría, el último (DOF, 2002).

Determinación de carbonatos CO^{2-3} . Se tomaron 5 ml del extracto de saturación en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y agregaron 15 ml de agua destilada, se añadieron 3 gotas de fenolftaleína. Al presentarse el color rosado se tituló con H_2SO_4 0.05 N hasta la desaparición del color, el valor se anotó como "Y".

Determinación de bicarbonatos HCO^{3-} . Al matraz procedente de la titulación con H_2SO_4 (ácido sulfúrico) se añadieron 3 gotas de anaranjado de metilo. Se siguió la titulación con el H_2SO_4 0.05 N hasta un vire de naranja a canela. El valor se anotó como "Z".

Cálculos:

$$\text{m mol}_{(l)} \text{ L}^{-1} \text{ de } \text{CO}^{2-3} = ((2Y) \times (\text{N del } \text{H}_2\text{SO}_4) \times (1000)) / \text{ml Alícuota}$$

$$\text{m mol}_{(l)} \text{ L}^{-1} \text{ de } \text{H}^{3-} = ((Z - 2Y) \times (\text{N del } \text{H}_2\text{SO}_4) \times (1000)) / \text{ml Alícuota}$$

Determinación de cloruros Cl^- . Se tomaron 5 ml del extracto de saturación en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y agregaron 15 ml de agua destilada además de 4 gotas de indicador cromato de potasio. Se tituló con AgNO_3 (nitrato de plata) 0.025 N. hasta un cambio de color de amarillo a rojo ladrillo.

Cálculos:

$$\text{m mol}_{(l)} \text{ L}^{-1} \text{ de } \text{Cl} = (\text{ml de } \text{AgNO}_3) \times (\text{N de } \text{AgNO}_3) \times (1000) / \text{ml Alícuota}$$

Determinación de sulfatos SO^{2-4} . Para la preparación de la curva de calibración de la solución estándar de SO^{2-4} de 1 Cmol (-) L-1, se tomaron alícuotas que fueron llevadas a un volumen de 100 ml en matraces aforados con agua destilada, como se indica en la tabla siguiente:

Tabla para la preparación de una curva de calibración.

Me L⁻¹ SO²⁻⁴	Solución Estándar de 1 me, agregar (ml)
0	0
0.1	10
0.2	20
0.3	30
0.4	40
0.5	50

En un matraz volumétrico de 100 ml se agregó una alícuota de 10 ml del extracto con una pipeta volumétrica y aforó a 100 ml con agua destilada. Se vació a un matraz Erlenmeyer de 125 ml y adicionó 5 ml de solución acondicionadora y aproximadamente 0.2 g de BaCl₂.2H₂O (cloruro de bario dihidratado). Se agitó en un agitador electromagnético durante 60 segundos y se tomaron las lecturas inmediatamente en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 340 nm. Previamente se leyó la curva de calibración agregando el contenido de los matraces de 100 ml a matraces Erlenmeyer de 125 ml y adicionaron 5 ml de solución acondicionadora y aproximadamente 0.2 g de BaCl₂.2H₂O, se agitaron y leyeron en el espectrofotómetro como se indicó para las muestras.

Cálculos: se graficó la curva de calibración en papel milimétrico y se determinó la concentración de SO²⁻⁴ por interpolación.

$$m \text{ mol}_{(-)} \text{ L}^{-1} \text{ de SO}^{2-4} = a \times 10 \times d$$

Donde:

a = Cmol₍₋₎ L⁻¹ calculados en la curva de calibración.

10 = Factor de dilución de la curva (100/10).

d = Factor de dilución de la muestra (si la hubo).

ANEXO M

Resultados del análisis de varianza en las propiedades físico-químicas del suelo bajo condiciones de campo en el cultivo de maíz.

FV	GL	DA	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	N (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
Pr>F												
B	2	0.42 ns	0.96 ns	0.94 ns	0.47 ns	0.93 ns	0.99 ns	0.48 ns	0.20 ns	0.15 ns	0.47 ns	0.807 ns
T	3	0.78 ns	0.02*	0.31 ns	0.7 ns	0.52 ns	0.29 ns	0.20 ns	0.15 ns	0.11 ns	0.51 ns	0.55 ns
CV		2.4	1.7	17.7	23.2	59.4	34.2	11.2	7.9	7.9	18.8	17.3

FV	GL	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	HCO ³⁻ (meq/l)	CL ⁻ (meq/l)	SO ⁴ (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Na (meq/l)	K (meq/l)
Pr>F											
B	2	0.41 ns	0.27 ns	0.59 ns	0.88 ns	0.32ns	0.47 ns	0.54 ns	0.89 ns	0.85 ns	0.46 ns
T	3	0.10 ns	0.31 ns	0.36 ns	0.14 ns	0.00*	0.33ns	0.06 ns	0.11 ns	0.36 ns	0.13 ns
CV		41.4	14.7	31.1	19.5	11.1	44.3	23.0	22.6	22.1	20.0

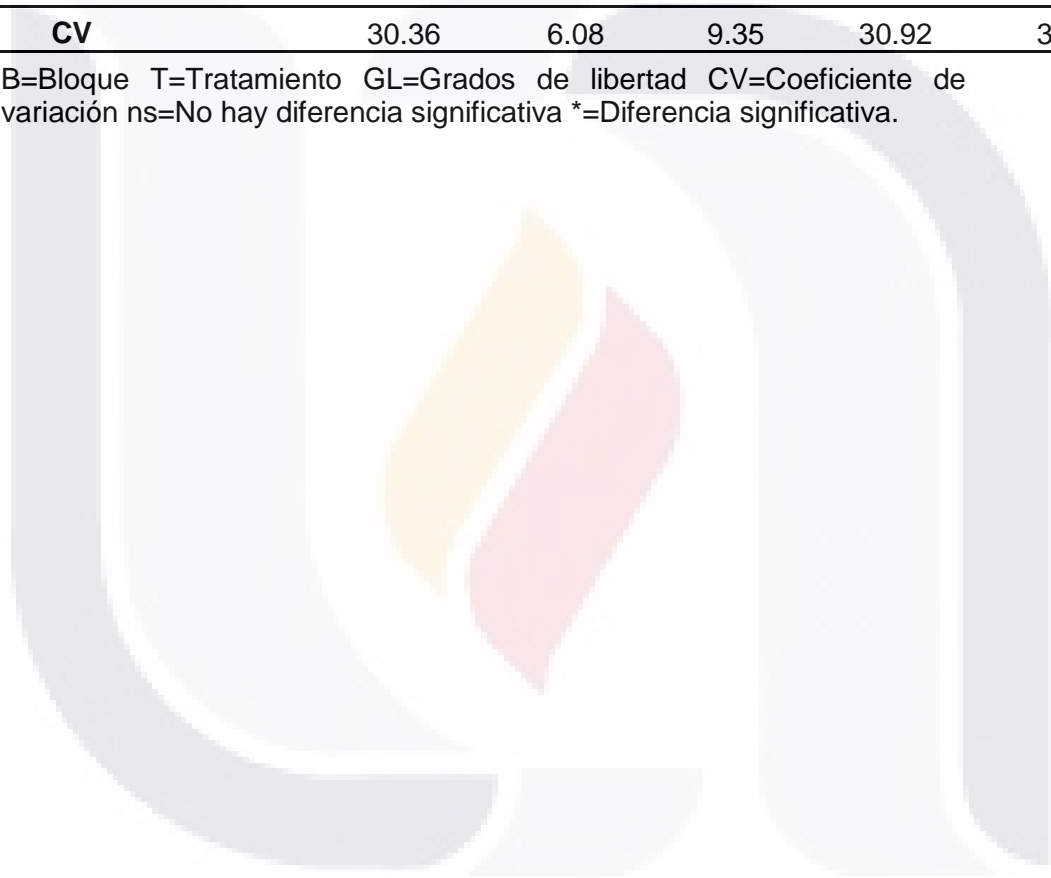
FV= Fuente de variación B=Bloque T=Tratamiento GL=Grados de libertad CV=Coefficiente de variación DA=Densidad Aparente pH= Potencial Hidrógeno CE=Conductividad Eléctrica MO=Materia Orgánica N=Nitrógeno P=Fósforo K =Potasio Ca=Calcio Mg=Magnesio Fe= Fierro Mn=Manganeso Zn=Zinc Cu=Cobre B=Boro HCO³⁻ =Bicarbonatos CL⁻ =Cloruros SO⁴ =Sulfatos Ca=Calcio Mg=Magnesio Na=Sodio K =Potasio ns=No hay diferencia significativa *=Diferencia significativa

ANEXO N

Resultados del análisis de varianza en la respuesta agronómica del cultivo de maíz.

FV	GL	Rendimiento	Diámetro de mazorca	Longitud de mazorca	Biomasa Aérea	Biomasa Radicular
Pr>F						
B	2	0.5 ns	0.58 ns	0.62 ns	0.516 ns	0.0001*
T	3	0.8 ns	0.01 *	0.002 *	0.367 ns	0.0001*
CV		30.36	6.08	9.35	30.92	37.093

B=Bloque T=Tratamiento GL=Grados de libertad CV=Coeficiente de variación ns=No hay diferencia significativa *=Diferencia significativa.



ANEXO O

Resultados del análisis de varianza en la respuesta agronómica del cultivo de chile.

FUENTE	GL	Rendimiento	Ancho del Fruto	Longitud de Fruto
Pr>F				
T	5	0.0001*	0.0001*	0.0001*

CV	26.67	7.23	8.29
-----------	-------	------	------

B=Bloque T=Tratamiento GL=Grados de libertad CV=Coeficiente de variación ns=No hay diferencia significativa *=Diferencia significativa

