

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DOS FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA SOBRE LA
DISPONIBILIDAD DE CINCO EN LOS SUELOS FORESTALES DEL VALLE HORTÍCOLA
DE ALMOLONGA, QUETZALTENANGO

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR
JHÓNATAN RENÉ REYES ESCOBAR

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, MAYO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO
LICENCIADO CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL I	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL II	Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García
VOCAL III	Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano
VOCAL IV	P. Forestal Axel Esaú Cuma
VOCAL V	P. Contador Carlos Alberto Monterroso González
SECRETARIO	Ing. Agr. MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, mayo de 2011

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables Miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DOS FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE CINCO EN LOS SUELOS FORESTALES DEL VALLE HORTÍCOLA DE ALMOLONGA, QUETZALTENANGO.**

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarle mi agradecimiento.

Atentamente,

JHÓNATAN RENÉ REYES ESCOBAR

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Gracias porque en tu infinito amor y misericordia me has dado vida, salud, sabiduría y fuerza para permitirme alcanzar esta meta.

MIS PADRES

Hugo René Reyes Sacbaja e Ileana Maribel Escobar de Reyes, por su amor, por su paciencia, por su comprensión, por su fuerza y por su incansable lucha para nuestra superación.

MIS HERMANAS

Paola y Estephanie Reyes Escobar por su apoyo incondicional y espero este triunfo les sirva de ejemplo para su superación.

GUATEMALA

País por el que siempre lucharé.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

Alma mater, grande entre las del mundo te agradezco por tus conocimientos y enseñanzas.

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Gracias por haberme hecho despertar hacia la realidad nacional y facultarme con las herramientas suficientes para luchar por el desarrollo de Guatemala.

MI FAMILIA EN GENERAL

Como muestra de respeto y aprecio.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis amigos: Juan Pablo Monrroy, Jaime Molina, Ileana Arriola, Sergio García, Karla López, José Búcaro, Víctor Arévalo, Cristina Son, Stephanie Soto, Iris Santos, Tracy Vela, Eduardo García y Jorge García.

Ing. Agr. Aníbal Sacbajá por su comprensión, paciencia, guianza y su apoyo profesional durante todo el proyecto.

Personal del laboratorio de análisis de suelo planta y agua de la FAUSAC y a los ingenieros Heberto Rodas, Christopher Ardón y Marino Barrientos por su apoyo en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3	MARCO CONCEPTUAL	3
3.1	Suelo.....	3
3.2	Contaminación	3
3.3	Contaminación del suelo.....	3
3.3.1	Contaminación natural	4
3.3.2	Contaminación antrópica	4
3.4	Metales pesados	4
3.4.1	Contaminación del suelo por metales pesados.....	5
3.4.2	Alternativas para el problema de contaminación de suelos por metales pesados ..	6
3.4.3	Procedencias de los metales pesados en suelos	7
A.	Origen natural	7
B.	Dinámica de los metales pesados en el suelo	7
3.5	Cinc en el suelo.....	7
3.6	Cinc en la planta	8
3.6.1	Deficiencia de cinc	9
3.6.2	Toxicidad de cinc	9
3.7	Disponibilidad de cinc.....	9
3.8	Definición de materia orgánica.....	10
3.8.1	Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades del suelo	10
3.8.2	Humus.....	11
3.8.3	Lombricompost	12
C.	Características del lombricompost	12
3.8.4	Gallinaza	13
3.9	Investigaciones realizadas	13
3.9.1	Evaluación de la contaminación del suelo por metales pesados (Brasil).....	13
3.9.2	Influencia de los metales pesados sobre el crecimiento de vetiver (<i>Zizanoïdes chrysopogon</i>) sobre minas de cinc (Brasil)	14
3.9.3	Análisis de acumulación de metales pesados en suelos agrícolas (Irán)	15

3.9.4	Efecto del tiempo en la contaminación del suelo por metales pesados (México) .	15
3.9.5	Fitoextracción de cinc (Argentina).....	16
3.9.6	Efecto del lombricompost sobre la disponibilidad de Pb, Cd y Ni (Argentina).....	16
3.9.7	Contaminación de suelos por metales pesados (Guatemala).....	17
	D. Agroquímicos más utilizados en el Valle hortícola de Almolonga	17
4	MARCO REFERENCIAL.....	19
4.1	Descripción del área	19
4.1.1	Ubicación del proyecto de investigación	19
4.1.2	Hidrología	20
4.1.3	Suelos.....	20
4.1.4	Clima.....	20
5	OBJETIVOS	21
5.1	General	21
5.2	Específicos.....	21
6	HIPÓTESIS	22
7	METODOLOGÍA	23
7.1	Reconocimiento del área	23
7.1.1	Muestreo.....	23
7.2	Factores evaluados.....	23
7.2.1	Tratamientos	23
7.3	Diseño experimental	25
7.3.1	Unidad experimental	25
7.3.2	Variables cuantificadas	25
7.4	Preparación de las unidades experimentales.....	25
7.4.1	Preparación de las muestras	25
7.4.2	Preparación de la solución extractora.....	25
7.4.3	Preparación de las diferentes concentraciones de cinc.....	26
7.4.4	Preparación de los diferentes niveles de materia orgánica.....	27
7.5	Homogeneización del material	27
7.6	Incubación.....	27
7.7	Manejo de la prueba	27

7.8	Análisis de los datos experimentales en laboratorio	28
7.8.1	Análisis de suelo	28
7.8.2	Análisis de los materiales orgánico.....	28
7.9	Análisis de la información.....	28
7.9.1	Modelo estadístico	28
7.9.2	Prueba de medias.....	29
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
8.1	Análisis químico del suelo	30
8.2	Análisis químico de los materiales orgánicos utilizados en la investigación.....	30
8.3	Análisis químico del suelo bajo el efecto de los materiales orgánicos	31
8.4	Disponibilidad de cinc (extracción en $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$)	32
8.4.1	Análisis estadístico de los resultados obtenidos al haber transcurrido 720 y 1440 horas de incubación del experimento	33
E.	Prueba de medias.....	34
8.5	Análisis de los valores de pH	40
9	CONCLUSIONES.....	45
10	RECOMENDACIONES	46
11	BIBLIOGRAFÍA.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Cantidades de cinc aportado por el agroquímico Antracol, al ser utilizado como fungicida por los agricultores del Valle.	18
Cuadro 2 Factores evaluados para determinar el comportamiento de la disponibilidad de cinc en el tiempo (<i>720 y 1440 horas</i>) en los suelos forestales de Almolonga, por efecto de la aplicación de dos fuentes de materia orgánica y cinco concentraciones de cinc.	24
Cuadro 3 Análisis químico del suelo utiliz	30
Cuadro 4 Análisis químico de la gallinaza adicionada a las unidades experimentales.	30
Cuadro 5 Análisis químico del lombricompost adicionado a las unidades experimentales. .	31
Cuadro 6 Resultados de los análisis químico (<i>CIC, bases intercambiables y %SB</i>) de las muestras de suelo bajo el efecto de los materiales orgánicos evaluados.	31
Cuadro 7 Extracciones de cinc en mg-kg ⁻¹ , al haber transcurrido 720 y 1440 horas de incubación del experimento.....	32
Cuadro 8 Análisis de varianza del experimento	33
Cuadro 9 Análisis post-ANDEVA (<i>prueba de Tukey</i>) del experimento	34
Cuadro 10 Prueba de medias del factor A (<i>materia orgánica</i>).....	35
Cuadro 11 Prueba de medias del factor B (<i>concentración de cinc</i>) en las extracciones.	36
Cuadro 12 Porcentaje de adsorción de cinc, según cada tratamiento.	37
Cuadro 13 Valores de pH para cada tratamiento	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Porcentaje de los fungicidas más utilizados por parte de los agricultores del municipio de Almolonga, Quetzaltenango.	17
Figura 2 Ubicación del municipio de San Pedro Almolonga	19
Figura 3 Extracciones de cinc a las 1440 horas, al haberse aplicado dos materiales orgánicos en dosis de 120 ton·ha ⁻¹	35
Figura 4 Extracciones de cinc a las 1440 horas al haberse aplicado dos materiales orgánicos en dosis de 180 ton·ha ⁻¹	36
Figura 5 Porcentajes de adsorción del experimento.....	37
Figura 6 Porcentaje de adsorción en los tratamientos con 200 mgZn·kg ⁻¹	38
Figura 7 Porcentaje de adsorción en los tratamientos con 400 mgZn·kg ⁻¹	38
Figura 8 Porcentaje de adsorción en los tratamientos con 400 mgZn·kg ⁻¹	38
Figura 9 mg·kg ⁻¹ extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas.	39
Figura 10 mg·kg ⁻¹ extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas en el tratamiento que se le aplicó un nivel de lombricompost equivalente a 120 ton·ha ⁻¹	39
Figura 11 mg·kg ⁻¹ extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas en el tratamiento que se le aplicó un nivel de gallinaza equivalente a 120 ton·ha ⁻¹ .39	
Figura 12 mg·kg ⁻¹ extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas en el tratamiento que se le aplicó un nivel de lombricompost equivalente a 180 ton·ha ⁻¹	40
Figura 13 mg·kg ⁻¹ extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas en el tratamiento que se le aplicó un nivel de gallinaza equivalente a 180 ton·ha ⁻¹	40
Figura 14 Valores de pH en los tratamientos a los que no se les adicionó M.O.....	41
Figura 15 Valores de pH en los tratamientos a los que se les aplicó lombricompost en nivel de 120 ton·ha ⁻¹	42
Figura 16 Valores de pH para los tratamientos a los que se les aplicó lombricompost en nivel de 180 ton·ha ⁻¹	42
Figura 17 Valores de pH en los tratamientos con gallinaza (120 ton·ha ⁻¹).	42
Figura 18 Valores de pH en los tratamientos con gallinaza (180 ton·ha ⁻¹).	42
Figura 19 Valores de pH y extracción de Zn en los tratamientos con lombricompost	43
Figura 20 Valores de pH y extracción de Zn en los tratamientos con gallinaza.....	43

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DOS FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE CINCO EN LOS SUELOS DEL VALLE HORTÍCOLA DE ALMOLONGA, QUETZALTENANGO

EVALUATION OF THE EFFECT OF TWO SOURCES OF ORGANIC MATTER ON THE AVAILABILITY OF ZINC IN SOILS OF THE HORTICULTURAL ALMOLONGA VALLEY, QUETZALTENANGO

RESUMEN

El Valle hortícola de Almolonga, constituye un importante sistema de producción agrícola en el departamento de Quetzaltenango, en el cual, debido al uso intensivo de la tierra, se da un sobreuso de agroquímicos causando la toxicidad en el suelo de ciertos elementos que forman parte de su composición, con éste estudio se busca evaluar el problema antes mencionado, puesto que este sistema de producción agrícola, representa la principal fuente de ingresos a las familias que dependen del recurso suelo; los objetivos de la investigación fueron determinar el efecto de dos fuentes de materia orgánica, en diferentes niveles, sobre la disponibilidad de cinc en los suelos del Valle de Almolonga y determinar el nivel y la fuente de materia orgánica que permite la menor disponibilidad de cinc en el suelo, en el tiempo; para alcanzar los objetivos anteriores fue necesario realizar un experimento trifactorial con un arreglo combinatorio, montado en un diseño de bloques completos al azar que consto de 20 tratamientos y 3 repeticiones para hacer un total de 120 unidades experimentadas en las cuales se evaluaron tres factores; factor A: dos materiales orgánicos (lombricompost y gallinaza) en niveles de 0, 120 y 180 ton·ha⁻¹; factor B: concentraciones de cinc con 0, 200, 400 y 600 mgZn·kg⁻¹ y factor C: tiempo (720 y 1440 horas) (lo anterior con el fin de simular las condiciones actuales del Valle, ya que a lo largo de 40 años se han realizado constantes adiciones de materia orgánica y a la vez se han realizado innumerables aplicaciones de agroquímicos a base de cinc), después de haber transcurrido uno y dos meses de desarrollado el experimento, se procedió a la cuantificación de la disponibilidad de cinc, mediante la extracción, con ácido dietilentriaminopentacético (DTPA), la cual se midió con el espectrofotómetro de absorción atómica; seguidamente se realizó el análisis estadístico de los datos, donde se obtuvo que la gallinaza en niveles de 180 ton·ha⁻¹ produce diferencias

significativas ($p < 0.005$) sobre la extracción de cinc, puesto que es el material orgánico y la dosis que produce mayor adsorción del cinc debido a que los complejos formados entre el cinc y las sustancias húmicas del material orgánico son muy estables, ya que en el nivel de $180 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ el promedio de los porcentajes de adsorción fue de 62.46%, mientras que el promedio del porcentaje de adsorción del lombricompost, en el mismo nivel, fue de 46.83%, por lo que para el fin de este experimento, la gallinaza brindó los mejores resultados, además se determinó que la disponibilidad de cinc en el suelo disminuye significativamente ($p < 0.005$) a medida que aumenta el tiempo.

1 INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos y el descenso de la productividad actual y potencial de las tierras, es uno de los aspectos más importantes en la sostenibilidad agrícola y en la calidad ambiental. En las regiones de explotación agrícola existen grandes problemas de degradación de suelo debido al mal manejo a que son sometidos. Generalmente, el monocultivo, el excesivo uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos inducen a un deterioro de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos. Tal es la situación que se presenta en la zona hortícola de Almolonga, la cual está ubicada en el municipio de San Pedro de Almolonga, departamento de Quetzaltenango, el total de su extensión territorial es de 20 km², de los cuales 1.04 km² lo constituye el Valle, debido al auge del territorio en los años 70 donde el valle se convirtió en un modelo de producción agrícola lo que llevo a una sobre utilización del suelo (hasta cuatro cosechas anuales) y un aumento de las prácticas culturales que se realizan, como por ejemplo: preparación de la tierra, fertilización, control fitosanitario, adiciones de materia orgánica (broza, gallinaza, estiércol, lombricompost). Dentro del control fitosanitario desarrollado por los agricultores de la región, se ha determinado la incorrecta y excesiva utilización de fungicidas a base de cinc y manganeso, dos metales pesados que en cantidades arriba de los rangos permisibles para el suelo, pueden afectar el desarrollo de las plantas y provocar la contaminación del mismo; aspecto que el presente proyecto busca estudiar mediante la evaluación del efecto de dos materiales orgánicos (gallinaza y lombricompost) en tres niveles (0, 120 y 180 ton·ha⁻¹) sobre la disponibilidad del cinc en cuatro niveles (0, 200, 400 y 600 mgZn·kg⁻¹) en los suelos forestales del Valle de Almolonga, a medida que aumenta el tiempo (720 y 1440 horas) lo anterior a nivel de laboratorio. Con lo que se pretende demostrar si la práctica que realizan los agricultores con la aplicación de materiales orgánicos está aumentando o disminuyendo la disponibilidad del cinc en el recurso suelo, además el presente estudio forma parte de la segunda fase de un proyecto cuyo fin principal es generar información sobre la contaminación de los suelos por metales pesados en la región de Almolonga.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Valle hortícola de Almolonga, constituye un importante sistema de producción agrícola en el departamento de Quetzaltenango, en el cual, debido al uso intensivo de los suelos (hasta cuatro cosechas al año) se da un sobre uso de agroquímicos (fertilizantes inorgánicos, insecticidas y fungicidas) lo que ha repercutido en la acumulación en el suelo, de ciertos elementos que forman parte de su composición. Según (Pérez, 2008) al estudiar los suelos del Valle de Almolonga, concluye que los suelos se encuentran contaminados con cinc en valores medios de $119 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Este índice se encuentran muy por encima del rangos de suficiencia para los cultivos ($3\text{-}5 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$). Rodas en 2009 determinó que el rango de la cantidad de cinc que se aplica en forma de fungicida, es de $60 \text{ kg Zn}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $174 \text{ kg Zn}\cdot\text{ha}^{-1}$ al año. Sin embargo, las áreas de cultivo siguen produciendo sin que por el momento repercutan significativamente con los rendimientos, no obstante, de seguir aumentando las concentraciones, los suelos podrían perder su fertilidad y como consecuencia su productividad.

El presente estudio fue una simulación de las condiciones actuales del Valle hortícola de Almolonga donde a lo largo de 40 años se han realizado constantes aplicaciones de agroquímicos a base de metales pesados así como también se realizan constantes adiciones de materia orgánica en los suelos, por lo anterior, en este proyecto se evaluó el efecto de dos materiales orgánicos sobre la disponibilidad de Zn a medida que aumentaba el tiempo, basados en muestras provenientes del suelo del bosque del Valle de Almolonga, mediante el análisis químico del suelo, luego de haber transcurrido uno y dos meses de desarrollado el experimento.

3 MARCO CONCEPTUAL

3.1 Suelo

El suelo puede definirse como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos, bajo la influencia del clima y del medio biológico; se diferencia en horizontes y suministra, en parte, los nutrimentos y el sostén que necesitan las plantas, al contener cantidades apropiadas de aire y de agua (Fassbender, 1984).

El suelo tiene cuatro componentes principales que son: minerales, materia orgánica, aire y agua. La fase sólida (mineral y orgánica) ocupa generalmente hasta el 50% de su volumen total. El resto lo ocupan la fase líquida (agua) y la fase gaseosa (aire), las que mantienen una proporción complementaria al llenar los poros que se originan entre los agregados y las partículas de la fase sólida (Fassbender, 1984).

3.2 Contaminación

Guzmán (1998) al citar a Tyller y Myller, define la contaminación como cualquier cambio indeseable en las características del aire, el agua, el suelo o los alimentos, que afecta nocivamente a la salud, la sobrevivencia o las actividades de los seres humanos u otros organismos vivos. La mayoría de los contaminantes son sustancias químicas sólidas, líquidas o gaseosas, producidas como subproductos o desechos, cuando un recurso es extraído, procesado, transformado en producto utilizado.

3.3 Contaminación del suelo

La contaminación del suelo consiste en la introducción de un elemento extraño al sistema suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su efecto sobre los restantes componentes, genera un efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, o es susceptible de transmitirse a otros sistemas (García, 2005a).

Los contaminantes pueden entrar al ambiente en forma natural o por las actividades humanas. La mayor parte de la contaminación natural es dispersada por un área grande y con frecuencia se diluye o degrada a niveles no dañinos mediante procesos naturales. La segunda causa y la más grave es la contaminación por procesos humanos (contaminación antrópica), ambos tipos de contaminación se exponen a continuación:

3.3.1 Contaminación natural

La primera causa de contaminación natural es la propia alteración mineral que da origen al suelo. Existen algunas rocas cuyo contenido en determinados elementos es especialmente alto y los suelos que sobre ellas se desarrollan heredan esa elevada concentración.

La actividad volcánica cubre las áreas vecinas con sus emanaciones ya sean sólidas en forma de cenizas, o gaseosas con aportes de diversos compuestos oxidados de azufre que generan una fuerte acidez en el suelo. En este caso, más que la contaminación por el elemento aportado puede producirse otra inducida que eleva la solubilidad de algún elemento preexistente (García, 2005a).

3.3.2 Contaminación antrópica

Este tipo de contaminación del suelo es la causada por el hombre y generalmente se presenta en o cerca de zonas urbanas, agrícolas e industriales, donde grandes cantidades de contaminantes se concentran en volúmenes pequeños de suelo.

3.4 Metales pesados

Se consideran como metales pesados aquellos elementos cuyo número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01% (García, 2005b).

3.4.1 Contaminación del suelo por metales pesados

La acumulación de metales pesados en suelos agrícolas es una preocupación creciente por la inocuidad de los alimentos y los riesgos potenciales para la salud, así como sus efectos perjudiciales en los ecosistemas del suelo. Qishlaqi *et al.* (2007) al citar a McLaughlin, indica que estos metales tienen las siguientes características:

- No se deterioran con el tiempo
- Pueden ser necesarios o beneficiosos para las plantas en ciertos niveles, pero pueden ser tóxicos cuando se superan los umbrales específicos,
- Están siempre presentes en un nivel de fondo y no son de origen antropogénico,
- Sus aportaciones en los suelos están relacionadas con la erosión de las rocas y la pedogénesis.
- Generalmente se presentan como cationes que interactúan fuertemente con la matriz del suelo.

La contaminación del suelo puede manifestarse directamente, a través de la disminución de la biodiversidad y/o pérdida de productividad e indirectamente, por la contaminación del aire, de las aguas superficiales y subterráneas (Premuzic *et al.* 2008).

Si bien es útil conocer el contenido total de metales pesados (Cd, Ni, Pb o Zn) en suelos, no menos importante es evaluar la posibilidad de que los mismos sean absorbidos por las plantas, ya que de ese modo pueden entrar en la cadena trófica. Es necesario entonces establecer entonces si están presentes en el medio en forma disponible, es decir en condiciones de interactuar con macro y microorganismos. Lindsay y Norvell (1978) resaltaron la utilidad de agentes quelantes como DTPA (ácido dietilentriaminopentacético) para evaluar la disponibilidad de elementos traza.

Cuando la biodisponibilidad es muy alta, tanto los elementos esenciales (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo) como los no esenciales (Cd, Pb, Hg, Cr) pueden ser tóxicos. La amenaza que ello supone para la salud humana y animal, así como para la sanidad vegetal, se agrava por su persistencia en el suelo (Premuzic *et al.* 2008).

3.4.2 Alternativas para el problema de contaminación de suelos por metales pesados

Entre los procedimientos para la remediación de suelos contaminados con metales pesados puede proponerse la estabilización a través de materiales al suelo o sedimento con el objetivo de reducir la disponibilidad de los contaminantes en el entorno, al tiempo que se mejoran las propiedades químicas y físicas del medio, para luego (en una segunda etapa) lograr el establecimiento de plantas excluidoras o acumuladoras de metales pesados, según el uso que se planifique para el sitio (que puede ser productivo o paisajístico). El procedimiento que reúne los dos efectos (estabilización y cultivo de plantas tolerantes) puede llamarse entonces fitoestabilización.

Dentro de las alternativas más utilizadas se puede mencionar la fitoextracción (Fass, 2008) al citar a Chaney, define la fitoextracción como una biotecnología que elimina contaminantes del suelo al ser absorbidos y traslocados a las partes cosechables de las plantas. Esta biotecnología empleada para la reutilización de suelos y sedimentos contaminados, tiene menor costo de implementación, comparada con la remoción de porciones de suelo o la lixiviación química de los contaminantes.

Debido a que el proceso de descontaminación suele ser lento, existen dos estrategias para acortar los tiempos de la fitoremediación. La primera es la utilización de especies vegetales que son hiperacumuladoras, capaces de acumular más de $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Cd, $1,000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Co, Cu, Pb o Ni, o más de $10,000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Mn o Zn. Sin embargo en general estas plantas poseen muy poca producción de biomasa. La segunda estrategia consiste en utilizar plantas productoras de gran biomasa y aumentar la eficiencia de remoción del contaminante mediante el agregado de enmiendas al suelo para incrementar la disponibilidad de los metales y así facilitar la fitoextracción (Fass *et al.* 2008).

Otra alternativa es la adición de materia orgánica ya que Premuzic (2008) al referirse a Halim, señala que existen antecedentes del uso de sustancias húmicas para reducir la disponibilidad de metales pesados en el suelo; el lombricompost o vermicompost que es un material húmico que se produce por la acción de lombrices (*Eisenia foetida*) y de microorganismos en un proceso de descomposición, biooxidación y estabilización de sustratos orgánicos, a partir de los que se obtiene un producto húmificado y mineralizado. El lombricompost podría también ser utilizado para la solución de problemas de contaminación

de suelos si contribuye a disminuir la disponibilidad de metales pesados y sus efectos contaminantes, además de favorecer el crecimiento de las plantas (Premuzic *et al.* 2008).

3.4.3 Procedencias de los metales pesados en suelos

A. Origen natural

Los metales pesados contenidos en el material original, al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas.

Concentraciones naturales muy altas en los suelos pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos para los humanos y animales que las consumen (García, 2005b).

B. Dinámica de los metales pesados en el suelo

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir algunas de las siguientes vías:

- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien
- Fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

3.5 Cinc en el suelo

El cinc disponible en el suelo se disuelve en la solución del suelo en forma iónica ó compleja y se puede hallar en sitios intercambiables de minerales de arcilla y materia orgánica ó adsorbido en las superficies de los suelos como Zn^{2+} , $ZnOH^+$, ó $ZnCl^+$. La solubilidad de cinc depende en gran parte del pH del suelo. Cuanto más alto el pH del suelo, menos soluble se hace el cinc.

La presencia de CaCO_3 promueve la reducción del contenido de cinc soluble por la adsorción específica de Zn^{2+} . La adsorción de Zn por los carbonatos es la mayor causa de la disminución de la disponibilidad de Zn y la aparición de la deficiencia de Zn en suelos cálcicos. Grandes aplicaciones de fertilizantes de fósforo a suelos bajo en cinc también puede causar la deficiencia de cinc (Maischner, 2002).

3.6 Cinc en la planta

En las plantas el cinc es aceptado en la forma Zn^{2+} . En la actualidad todavía no se sabe con seguridad si su absorción se facilita como difusión por membranas específicas para Zn^{2+} ó si se logra por transportadores específicos.

Existe la posibilidad que se utilicen ambos mecanismos por las plantas para la absorción de cinc. Trabajos realizados en la década de 1970 concluyeron que el 90.5% del cinc total requerido por plantas se moviliza a las raíces por medio de la difusión. La difusión del cinc depende en gran parte de la humedad del suelo y esta pueda ser la razón por la cual, particularmente en áreas áridas ó semiáridas, se ve con más frecuencia la deficiencia de cinc. También se ha reportado en trabajos hechos en caña de azúcar que la presencia de Cu^{2+} suprime la absorción de Zn^{2+} . Al parecer estas dos especies de iones compiten por el mismo sistema de absorción (Caballero, 1996).

El cinc se transporta vía xilema, de las raíces a los brotes. Sin embargo se han encontrado elevados niveles de cinc en el floema, lo cual indica que el cinc también es transportado vía floema. Un estudio encontró que la redistribución de Zn en partes de plantas vegetativas a generativas en arveja, fue tan bueno como de N y P, los que son conocidos como altamente móviles dentro del floema. El cinc juega un papel importante en muchas funciones bioquímicas dentro de plantas ya que el cinc es un componente esencial en más de 300 enzimas (Caballero, 1996).

En la mayoría de estas enzimas, el cinc es un componente integral de su estructura. El papel del cinc en el metabolismo del ADN y ARN, en la división de la célula, y la síntesis en la proteína se ha documentado por muchos años. El cinc está estrechamente involucrado en el metabolismo del nitrógeno de las plantas. En plantas con deficiencias de cinc, el nivel de síntesis de proteínas disminuye drásticamente, mientras que los aminoácidos se acumulan.

La acumulación de aminoácidos ocurre debido a que el cinc ayuda a diferentes combinaciones de aminoácidos para hacer enlaces que forman enzimas y proteínas. Sin niveles adecuados de cinc, la planta no es capaz de sintetizar las diferentes enzimas y proteínas por lo tanto se causa el aumento en aminoácidos (Maischner, 2002).

El cinc también se requiere para dar integridad y mantenimiento a las membranas. Se une a componentes de la membrana causando mayor estabilidad. Bajo la deficiencia de cinc hay un aumento en la penetrabilidad de la membrana plasmática, dando como resultado, fugas en la membrana, lo cual es muy deprimente para la salud de la planta.

3.6.1 Deficiencia de cinc

Los primeros síntomas corresponden a una clorosis localizada entre las venas de las hojas más viejas que se suele iniciar en los ápices y en los bordes. Se produce un retardo en el crecimiento que se manifiesta en forma de hojas más pequeñas y entrenudos más cortos. El aspecto irregular de las hojas es el síntoma más fácil de reconocer. La planta entera adquiere un aspecto de roseta (Bertsch, 1995).

3.6.2 Toxicidad de cinc

Los suelos derivados de rocas altas en cinc pueden contener concentraciones tóxicas de este micro elemento. También, el uso inadecuado de agroquímicos foliares con alto contenido de cinc es otra de las principales causas de toxicidad. Este elemento está envuelto en la translocación de Fe, por lo tanto, puede causar clorosis típica de deficiencia de este elemento. Es un síntoma difícil de reconocer en sus etapas tempranas (Bertsch, 1995).

3.7 Disponibilidad de cinc

Villarreal (20) al citar a Sillanpää, Primo y Carrasco, indica que la disponibilidad de micronutrientes en el suelo, es afectada por diversos factores, como son: pH del suelo,

materia orgánica del suelo, textura, actividad microbológica de los suelos, condiciones de óxido reducción y variaciones estacionales en temperatura y humedad.

Uno de los principales factores que afectan la disponibilidad del cinc en el suelo es el pH del propio suelo. El Zn en suelos ácidos parece ser relativamente soluble y es libre su difusión; en cambio si el pH del suelo es alto de por sí, o si se incrementa por efecto de un encalado, el cinc parece ser precipitado como $Zn(OH)_2$ o como $ZnCO_3$ (Villaroel *et al.* 1981).

En suelos calcáreos la disponibilidad de Zn disminuye por ser absorbido por los carbonatos o por la formación de $Zn(OH)_2$. Otro factor importante es la acción depresiva del fósforo (P) aplicado, sobre la absorción de Zn. El fenómeno es atribuido como resultado de las reacciones químicas en el suelo por el mutuo antagonismo existente entre el P y el Zn, y porque el P a altos niveles reduce la solubilidad del Zn o interfiere con el movimiento de Zn en la planta por desbalance fisiológico.

Las adiciones al suelo, de materiales orgánicos de fácil descomposición, como los estiércoles y los abonos verdes, frecuentemente han ayudado a corregir las deficiencias de cinc y otros micronutrientes en los cultivos (Villaroel *et al.* 1981).

3.8 Definición de materia orgánica

Materia orgánica del suelo son todos aquellos residuos animales y vegetales que en condiciones favorables, están transformados por los organismos del suelo, perdiendo su estructura original. Según Fassbender (1984) la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo. El edafón consiste en los organismos vivientes del suelo o sea su flora y fauna. En el primer horizonte de los suelos cultivados el edafón constituye entre el 10-15% de la materia orgánica.

3.8.1 Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades del suelo

La materia orgánica en el suelo tiene diferentes funciones, que se resumen como sigue (Ortiz-Villanueva *et al.* 1990).

- Los residuos orgánicos en la superficie del suelo reducen el impacto de las gotas de lluvia y favorecen la infiltración lenta del agua. La escorrentía y la erosión se reducen, habiendo mayor cantidad de agua aprovechable para el mejor desarrollo de las plantas.
- Mediante el proceso de la transformación de la materia orgánica, se mejora la estructura del suelo porque provee las sustancias nutritivas a las plantas e incrementa la capacidad de retención de agua.
- La descomposición de la materia orgánica produce diferentes nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Estos nutrientes son liberados y satisfacen las necesidades de las plantas, cuando las condiciones son favorables para una rápida liberación de nutrientes de la materia orgánica.
- La materia orgánica ayuda en la capacidad amortiguadora de los suelos, atenuando los cambios químicos rápidos cuando se agregan fertilizantes.
- Los ácidos orgánicos liberados durante la descomposición de la materia orgánica ayudan a disolver minerales y a hacerlos más accesibles para el desarrollo de la plantas.
- La materia orgánica tiene una función especial en hacer al fósforo más fácilmente aprovechable en suelos ácidos. Al descomponerse la materia orgánica libera citratos, oxalatos tartratos y lactatos los cuales se combinan más fácilmente con el Fe y Al que con el P. El resultado es la formación de menos Fe soluble y fosfato de Al y la disponibilidad de mas fósforo (Ortiz-Villanueva *et al.* 1990).

3.8.2 Humus

Es la fracción activa de la M.O. del suelo. Para los suelos agrícolas se define como la porción bien descompuesta y estabilizada de la M.O. del suelo. El humus de los suelos forestales comprende a todo material orgánico en descomposición en el suelo.

La relación C/N del humus agrícola es relativamente constante con valores de 10 a 1 y de 12 a 1. En suelos forestales el humus podría tener una relación C/N de 20:1 y de 30:1. El humus

consiste de 3 principales grupos de compuestos orgánicos: lignina modificada (la cual es muy resistente a la descomposición microbiana), las proteínas que están protegidas por la lignina y arcilla y los poliurónidos que son sintetizados por organismos del suelo. De este modo el humus es un producto que resulta de la descomposición y síntesis de compuestos orgánicos.

El humus es altamente coloidal como la arcilla pero es amorfo y no cristalino. El área superficial y capacidad adsorptiva del humus es mucho mayor que la de la arcilla. El humus tiene una CIC de 300 a 150 mEq. mientras que la mayoría de las arcillas varían de 8 a 100 mEq. de CIC. Las arcillas del suelo absorben únicamente 15 a 20% de agua de una atmósfera saturada, pero el humus absorbe de 80 a 90% de agua bajo las mismas condiciones. La baja cohesión y plasticidad del humus mejora las condiciones estructurales desarrolladas en los suelos de textura fina, por las grandes cantidades de arcilla (Ortiz-Villanueva *et al.* 1990).

3.8.3 Lombricompost

Abono resultante del lombricompostaje, (el lombricompostaje es el proceso de conversión de desechos orgánicos en compost por medio de lombrices) a este tipo de abono orgánico también se le conoce con el nombre de vermicompost o humus de lombriz, es un conjunto estable de compuestos humificados, que puede permanecer almacenado por mucho tiempo sin sufrir alteraciones, con adecuada cantidad de macro y micronutrientes y de microorganismos, resultado de la transformación intensiva y controlada de la materia orgánica muerta ingerida por las lombrices (Calderón, 2003).

C. Características del lombricompost

Raxcaco (2001) al citar a Aranda señala que el lombricompost es similar a un suelo fértil, aunque se dosifique en exceso no quema a las plantas jóvenes y delicadas, es inodoro, de estructura granular de coloración café oscuro, casi negro, uniforme y poroso, pH neutro, libre de semillas y patógenos. Además contiene enzimas, fitohormonas, microorganismos y micro fauna de primordial importancia para la ecología de los suelos. Por los altos contenidos de los ácidos húmicos y fúlvicos, mejora las características físicas y químicas de los suelos. El

humus tiene un efecto tampón es decir que mantiene el equilibrio iónico en el medio interno, este efecto hace que el suelo soporte los cambios bruscos de acidez.

3.8.4 Gallinaza

Es un abono orgánico constituido por excretas, plumas y sobrantes de alimentos de aves. Madrigal al ser citado por Quixtan (1990) señala que la gallinaza tiene la ventaja de ser más rica en nutrientes que el estiércol de vaca. La gallinaza fresca contiene del 60 al 70% de humedad y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio por lo que se hace necesario utilizarla en el menor tiempo posible para conservar estos (De la Torre, 1997).

River et al.(1999) al citar a otros autores señala que la gallinaza se destaca, en comparación con otros estiércoles, por el contenido de N, P, K; la gallinaza aplicada en altas dosis, tiene propiedades intermedias con respecto a los fertilizantes inorgánicos y el estiércol de bovino, asegurándose un apreciable efecto residual.

Ahora bien, el valor fertilizante de un estiércol está ligado, por una parte, a la mineralización de un determinado elemento y, por otra, a la interacción del estiércol con formas de dicho elemento contenidas en el suelo. La incorporación de estiércoles de bovino, porcino y gallinaza provoca una disminución de la capacidad de adsorción de fósforo en el suelo, incrementos en el fósforo soluble y en la desorción del fósforo luego de un período de incubación de 30 días.

3.9 Investigaciones realizadas

En las últimas décadas la contaminación de los suelos ha cobrado importancia debido a los efectos colaterales que esta puede tener en la salud humana y el medio ambiente, en países como Brasil se han realizado importantes experimentos sobre el tema, de los cuales, se mencionan las siguientes investigaciones:

3.9.1 Evaluación de la contaminación del suelo por metales pesados (Brasil)

Souza et al. 2009 estudiaron suelos contaminados por metales pesados, el estudio se desarrolló en un área de cultivo de viñas en el estado de São Paulo, Brasil. El objetivo

principal de esta investigación fue aplicar diferentes análisis estadísticos para identificar el origen de los metales Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, Cr y Cd como contaminantes potenciales de los suelos agrícolas. Se analizaron 200 muestras las cuales fueron tomadas a profundidades de 0 – 15 cm. y de 15 a 30 cm. Para la extracción del cinc, se utilizó DTPA y luego de los correspondientes análisis se determinó que en lo que al cinc corresponde, el 97% y 83% de las muestras superficiales y subsuperficiales, respectivamente, presentaron rangos arriba elevados y fue mayor en las áreas cultivadas con viñedos viejos, debido a las aplicaciones de químicos más pesados, como el Mancozeb, que contiene altas concentraciones de Cu y Zn. Las técnicas de reprocesamiento y el análisis de componentes principales confirmaron. El enriquecimiento del suelo con Cu y Zn por el uso y manejo de los viñedos con productos químicos en las décadas anteriores.

3.9.2 Influencia de los metales pesados sobre el crecimiento de vetiver (*Zizanoïdes chrysopogon*) sobre minas de cinc (Brasil)

También en Brasil, se evaluó mediante pruebas biológicas el crecimiento de vetiver (*Zizanoïdes chrysopogon*) en suelos contaminados con cinc, el experimento se realizó en macetas con un diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos y tres repeticiones (los tratamientos estaban constituidos por un testigo que no tenía cinc y el resto tenía suelo contaminado con cinc). Se colocaron tres plántulas de vetiver en cada maceta con 8 kg de suelo, durante el experimento fue necesario la medición de altura de las plantas a los 30, 60, 90 días y antes de la cosecha a los 120 días, de donde se obtuvo que las plantas que crecieron en los tratamientos de suelos contaminados con cinc presentaron limitaciones de desarrollo al ser comparadas con las plantas del testigo, al haber transcurrido 120 días las plantas del testigo midieron 119 cm. presentando diferencias significativas ($p > 0.05$) sobre las demás plantas que crecieron en suelos contaminados con cinc las cuales presentaron un promedio de crecimiento de 53.2 cm. así también se obtuvo que la planta de vetiver puede ser utilizada como una alternativa de fitorremediación debido a su amplio sistema radicular.

3.9.3 Análisis de acumulación de metales pesados en suelos agrícolas (Irán)

En Irán, durante el año de 2007 se desarrolló una investigación sobre contaminación del suelo por metales pesados para lo cual se muestrearon dos sitios contaminados con metales pesados, en los que se tomaron muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad. Las muestras compuestas para cada sitio estaban formadas por 20 sub-muestras (núcleos) de tierra (un total de 40 submuestras). Las submuestras se mezclaron en una muestra compuesta para cada suelo y se analizaron por individual (las muestras de suelo contenían un promedio de $117 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$). Para el análisis estadístico, las muestras fueron clasificadas de acuerdo a valores de pH y contenido de MO de la siguiente manera: Los valores de pH: ácido (<6,0), neutro (6,0 a 7,0) y alcalino (> 7.0) y el contenido de MO: El contenido bajo (1,3-5,3%), el contenido medio (5,3-11,3%) y alto contenido (11,3-20,3%), (cabe señalar que la categorización del contenido de materia orgánica fue para fines estadísticos y no es una clasificación convencional) mediante el empleo de análisis estadísticos (análisis de varianza, correlación y análisis de componentes principales) se determinó que el factor más importante que controla la distribución de metales pesados en el suelo es la materia orgánica (Quishlaqi *et al.* 2007).

3.9.4 Efecto del tiempo en la contaminación del suelo por metales pesados (México)

En el año 2009 en México se realizó una investigación más específica, en la que se evaluó la función del tiempo sobre la disponibilidad de cinc en suelos contaminados, para el desarrollo de este experimento los autores incubaron el suelo durante 1, 5, 15, 25 y 60 días, a los suelos incubados les aplicaron cinc en dosis de 0, 200, 400 y 600 $\text{mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ dicha investigación concluyo en que la extracción de cinc decrece en el tiempo, donde se obtuvieron las mayores extracciones a las 24 horas (promedio $295 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ extraídos) , 48 horas (promedio $195 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ extraídos) y se determinó que a partir de los 15 días ya no existen diferencias significativas (p valor < 0.05) en las extracciones posteriores por lo que se determina que el cinc se absorbe en un corto periodo de tiempo. Además con la investigación se determinó que la extracción de cinc es directamente proporcional a la dosis aplicada (Ehsan, *et al.* 2007).

3.9.5 Fitoextracción de cinc (Argentina)

En Argentina durante el año de 2009 se llevo a cabo una investigación sobre soluciones viables al problema de contaminación de suelos por metales pesados como el cinc, cuyo objetivo fue evaluar los efectos de la incorporación de dos complejantes orgánicos naturales (ácido cítrico y materia orgánica soluble extraída de compost) y uno sintético (EDTA) sobre la disponibilidad de cinc en un suelo derivado de sedimentos degradados y su acumulación en higüerio (*Ricinus communis*), para lo anterior se evaluaron cuatro tratamientos (testigo, EDTA, ácido cítrico y materia orgánica) luego de transcurridos 15 días de haber sembrado el higüerio se procedió a pesar las plantas donde se obtuvo que el tratamiento 1 presento en promedio una biomasa de 12.34 gramos, mientras que el tratamiento en el que se evaluó el EDTA peso en promedio 7.54 gramos, el tratamiento al que se le aplicó ácido cítrico peso 12.54 gramos y el tratamiento al que se le aplicó materia orgánica peso en promedio 4.51 gramos, algunos de los resultados de este experimento fueron que la biomasa de las plantas tratadas con materia orgánica fue significativamente menor (p valor < 0.05) esta baja en la producción de biomasa con respecto al control, no es muy clara aunque no se relaciona con la concentración de cinc ya que no se observaron diferencias significativas entre el contenido de cinc en la planta entre el tratamiento con materia orgánica y el control. Además se obtuvo que el agregado de EDTA solubilizó el cinc del suelo, aumentó su acumulación en la planta y favoreció el transporte del metal desde la raíz a tallos y hojas sin disminución de la biomasa producida. La tolerancia del higüerio a crecer en ambientes contaminados, su rápido crecimiento y la elevada producción de biomasa cosechables posibilitan su uso para la fitoextracción del metal asistida por EDTA en suelos contaminados (Fass *et al.* 2008).

3.9.6 Efecto del lombricompost sobre la disponibilidad de Pb, Cd y Ni (Argentina)

El objetivo de este experimento fue proponer una metodología para el tratamiento in situ de suelos afectados por metales pesados (Ni, Cd y Pb). Para ello evaluaron el efecto de la incorporación del lombricompost de contenido ruminal sobre la biodisponibilidad de Ni, Cd y Pb, y su acumulación en tejidos de especies de Brasicáceas hortícolas (*Brassica napus* y *Eruca sativa*); el experimento concluyo que la adición de enmiendas orgánicas humificadas

influyo de distinta forma sobre la bioacumulación de los tres metales, disminuyendo la disponibilidad y absorción del Pb y él Ni, pero no del Cd (Premuzic *et al.* 2008).

3.9.7 Contaminación de suelos por metales pesados (Guatemala)

En Guatemala sobre lo que concierne a investigaciones de contaminación de suelos por metales pesados, se ha investigado poco; sin embargo en el laboratorio “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala durante los años de 2007 y 2008, Pérez (2008) investigo sobre las concentraciones de algunos elementos traza (Cu, Zn y Mn) en suelos de San Pedro, Almolonga, señalando que el aporte de cinc a las áreas de cultivo, se debe al uso de agroquímicos que contienen este elemento como ingrediente activo, y a los materiales orgánicos que incorporan.

D. Agroquímicos más utilizados en el Valle hortícola de Almolonga

La siguiente figura, muestra los agroquímicos de mayor uso, siendo el Antracol el que representa un uso del 50%. Constituyendo así, el agroquímico que mayor cantidad de cinc aporta (Pérez, 2008).

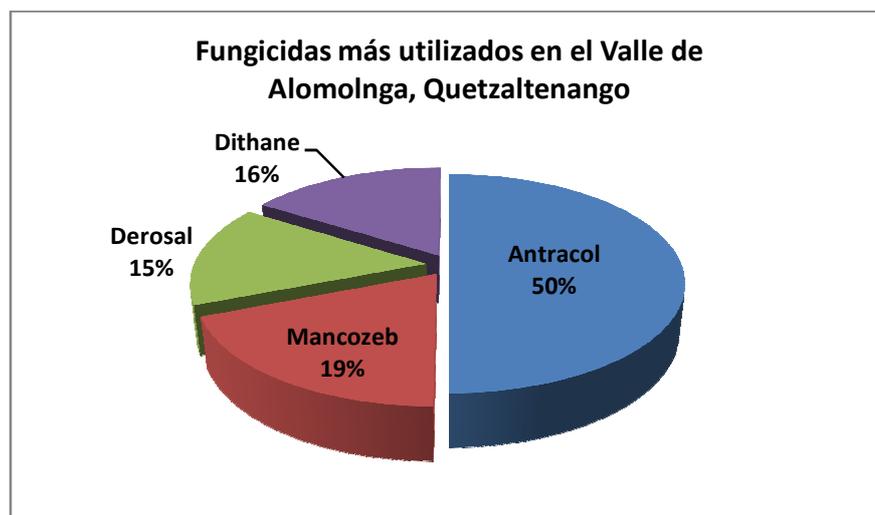


Figura 1 Porcentaje de los fungicidas más utilizados por parte de los agricultores del municipio de Almolonga, Quetzaltenango.

Fuente: Pérez, 2008.

Rodas (2009) durante los años de 2008 y 2009 investigó sobre la cantidad de Antracol que utilizan los agricultores del Valle de Almolonga, esto con el propósito de estimar la cantidad de cinc aportada por el agroquímico, concluyendo que las aplicaciones de Antracol en el Valle, contribuyen a un aporte de 60 a 174 kg. de Zn por hectárea, por año (Cuadro 1).

Cuadro 1 Cantidades de cinc aportado por el agroquímico Antracol, al ser utilizado como fungicida por los agricultores del Valle.

Agroquímico	% de Cinc	Número aplicaciones/cosecha	Número de bombas/aplicación/hectárea	Número de bombas/hectárea/cosecha	Gramos producto/bomba de mochila	Kg de Cinc/hectárea/cosecha	Kg de Cinc/hectárea/año
Propineb (Antracol)	23	24 a 36	12 a 14	288 a 504	300 a 500	20 a 58	60 a 174

Fuente: Rodas, 2009.

De lo anterior se concluye que las aplicaciones de cinc al suelo se dan en forma indirecta, por parte de los agricultores, al utilizar agroquímicos a base de cinc para el control fitosanitario de los cultivos. Con estas investigaciones se concluyó que el elemento que se presenta en más altas cantidades en el suelo del Valle hortícola de Almolonga es el cinc.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 Descripción del área

4.1.1 Ubicación del proyecto de investigación

La zona hortícola de Almolonga, está ubicada en el municipio de San Pedro de Almolonga, departamento de Quetzaltenango, y se localiza a una latitud de 14°48'44" y una longitud de 91°29'40". Se encuentra a una altura de 2,251.21 msnm, limita al norte con los municipios de Cantel y Quetzaltenango, al oeste con el municipio de Quetzaltenango, al este con los municipios de Zunil y Quetzaltenango y al sur con el municipio de Zunil, el total de su extensión territorial es de 20 km², de los cuales 1.04 km² lo constituye el área hortícola. El área de producción cuenta con una carretera principal, teniendo dos vías de acceso asfaltadas. El ingreso al valle puede hacerse por medio de calles adoquinadas y pavimentadas, las que conducen hasta el área de hortalizas. El área cultivada es de 104 hectáreas, ubicándose las viviendas alrededor del Valle.

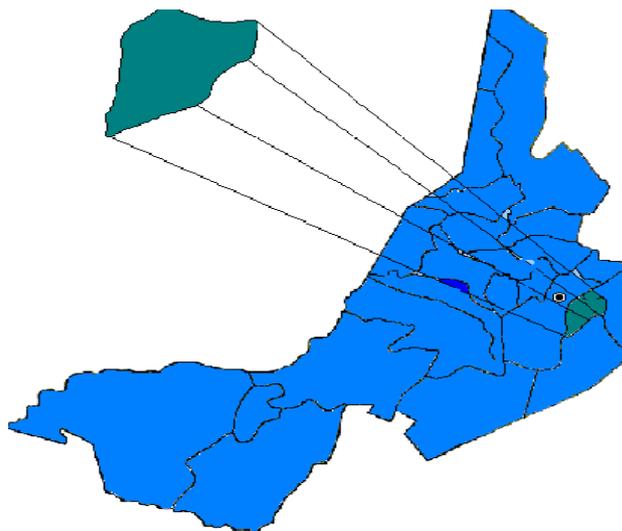


Figura 2 Ubicación del municipio de San Pedro Almolonga, en el departamento de Quetzaltenango.

Fuente: Mapas Digitales Temáticos, MAGA 2,002

4.1.2 Hidrología

El municipio de Almolonga se encuentra rodeado de montañas de las cuales capta el agua. La irrigación del valle la realizan dos grandes nacimientos ubicados al norte del municipio. Parte de esta agua es canalizada por los propios agricultores para regar sus parcelas, así como para el lavado de verdura producidas (Guzmán, 1998).

4.1.3 Suelos

Los suelos son de origen volcánico, ya que su subsuelo lo constituye una masa amorfa de material depositado, principalmente arena fina de baja densidad y oscura. Es una arena de tipo basáltico mezclada con proporciones diversas de grava y a veces de piedras de tamaño considerable. El horizonte A, es de origen aluvionico en parte y otra es creada por el hombre al incorporar materia orgánica. La textura del este horizonte es franco arenosa con un espesor aproximado de 35 centímetros (Guzmán, 1998).

4.1.4 Clima

Almolonga posee un clima frío, cuya precipitación anual es de 2,000 mm, lo que tipifica un clima característico, frío, húmedo y seco, con heladas en los meses más fríos comprendidos de noviembre a marzo (Pérez, 2008).

5 OBJETIVOS

5.1 General

- Generar información acerca de los posibles efectos de la materia orgánica sobre la disponibilidad de cinc en el suelo.

5.2 Específicos

- Determinar el efecto de dos fuentes de materia orgánica (lombricompost y gallinaza) en diferentes niveles (0, 120 y 180 ton·ha⁻¹) sobre la extracción de cinc en suelos forestales del Valle de Almolonga sometidos a concentraciones de 0, 200, 400 y 600 mg Zn·kg⁻¹, a nivel de laboratorio.
- Determinar el nivel y la fuente de materia orgánica que permite la menor disponibilidad de cinc en diferentes concentraciones 0, 200, 400 y 600 mg Zn·kg⁻¹, en los suelos forestales del Valle de Almolonga, Quetzaltenango.
- Determinar el comportamiento de la disponibilidad de cinc en el tiempo (720 y 1440 horas) en los suelos forestales del Valle Almolonga, por efecto de la aplicación de dos fuentes de materia orgánica y cinco concentraciones de cinc.

6 HIPÓTESIS

Ambos materiales orgánicos actúan de la misma forma sobre la disponibilidad de cinc en los suelos forestales del Valle de Almolonga, Quetzaltenango.

7 METODOLOGÍA

7.1 Reconocimiento del área

En el municipio de San Pedro Almolonga se identificaron inicialmente rutas de acceso, parcelas de cultivo, área de vivienda, etc. Para lo anterior se realizó un caminamiento por el valle, determinando que el área de producción cuenta con una carretera principal, teniendo dos vías de acceso asfaltadas. El ingreso al valle puede hacerse por medio de calles adoquinadas y pavimentadas, las que conducen hasta el área de hortalizas. El área cultivada es de 104 hectáreas, ubicándose las viviendas alrededor del valle.

El experimento se realizó en el invernadero y laboratorio de análisis de suelo, planta y agua “Salvador Castillo Orellana” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

7.1.1 Muestreo

Las muestras de suelo que se utilizaron, fueron provenientes del bosque del municipio de Almolonga en el departamento de Quetzaltenango, se tomaron en forma aleatoria y en áreas representativas a una profundidad de 0.20 m. luego se homogenizaron y almacenaron en bolsas de plástico debidamente identificadas.

7.2 Factores evaluados

Los factores evaluados fueron: Factor A: fuentes orgánicas (gallinaza y lombricompost) en tres niveles 0, 120 y 180 ton·ha⁻¹; Factor B: niveles de cinc (0, 200, 400, 600 mgZn·kg⁻¹) y Factor C: tiempo (720 y 1440 horas).

7.2.1 Tratamientos

La combinación de los factores a evaluar: Factor A: fuentes orgánicas, Factor B: niveles de cinc y Factor C: tiempo, dio lugar a los tratamientos que se especifican en el cuadro 5; cada tratamiento constó de tres repeticiones, para hacer un total de 120 unidades experimentales.

Cuadro 2 Factores evaluados para determinar el comportamiento de la disponibilidad de cinc en el tiempo (720 y 1440 horas) en los suelos forestales de Almolonga, por efecto de la aplicación de dos fuentes de materia orgánica y cinco concentraciones de cinc.

TRATAMIENTOS		
FACTOR A	FACTOR B	FACTOR C
FUENTE Y NIVEL DE MATERIA ORGÁNICA (ton·ha-1)	CONCENTRACIÓN DE CINCO (mg·Kg-1)	TIEMPO (horas)
Testigo	0	720
		1440
	200	720
		1440
	400	720
		1440
	600	720
		1440
Lombricompost 120 ton·ha-1	0	720
		1440
	200	720
		1440
	400	720
		1440
	600	720
		1440
Lombricompost180 ton·ha ⁻¹	0	720
		1440
	200	720
		1440
	400	720
		1440
	600	720
		1440
Gallinaza 120 ton·ha ⁻¹	0	720
		1440
	200	720
		1440
	400	720
		1440
	600	720
		1440
Gallinaza 180 ton·ha ⁻¹	0	720
		1440
	200	720
		1440
	400	720
		1440
	600	720
		1440

7.3 Diseño experimental

Para la evaluación de la disponibilidad de cinc en los diferentes tratamientos, se utilizó un modelo trifactorial con un arreglo combinatorio en un diseño de bloques completos al azar.

7.3.1 Unidad experimental

Cada unidad experimental fue constituida por un vaso de plástico de 250 g. en el que se colocaron 100 g. de suelo, a cada vaso se le adicionó el material orgánico y la concentración de cinc correspondiente a cada tratamiento; cada vaso fue identificado con los datos siguientes: fuente y nivel de material orgánico y la concentración de cinc en $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$.

7.3.2 Variables cuantificadas

Se cuantificó la disponibilidad de cinc en el suelo, mediante la extracción con ácido dietiltri Aminopentacético (DTPA), la cual se midió con el espectrofotómetro de absorción atómica. Así también se cuantificó el pH por el método del potenciómetro.

7.4 Preparación de las unidades experimentales

7.4.1 Preparación de las muestras

La muestra fue secada, molida, tamizada y homogenizada, para extraer una muestra representativa, la cual fue utilizada para los diferentes análisis químicos y luego en los diferentes tratamientos.

7.4.2 Preparación de la solución extractora

La solución utilizada para la extracción de Zn fue ácido dietiltri Aminopentacético (DTPA) 0.005M, cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.01M y trietanolamina (TEA, $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) 0.1 M, ajustada a pH 7.3. Para 1 litro de esta solución, se disolvieron 1.967 gramos de DTPA, 1.47g

de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 14.92 g de TEA ($d=1.12 \text{ g/cm}^3$ se miden 13.3 mL) en aproximadamente 20 mL de agua desionizada; se diluyó a 900 mL, se ajustó el pH a 7.3 ± 0.05 con HCl 6N, se agitó y se diluyó a 1 litro con agua de igual calidad. Esta solución se guardó en un frasco de plástico. (Lindsay *et al.* 1978).

Se decidió utilizar esta solución extractora ya que basados en investigaciones anteriores se ha demostrado que los contenidos extraídos con DTPA han mostrado una buena correlación con la absorción de la planta y el método fue estandarizado para la extracción de los contenidos disponibles de Cu, Zn y Fe en Italia (Rauret, 1998). También, Borges *et al.* (2008) concluye que el extractante DTPA se destacó como más sensible para diferenciar las zonas anómalas de las zonas contaminadas.

7.4.3 Preparación de las diferentes concentraciones de cinc

Las diferentes concentraciones de cinc se prepararon en base a una solución madre de sulfato de cinc (ZnSO_4), (la cual presenta una concentración de $5000 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de cinc) las cantidades necesarias se estimaron mediante procedimientos estequiométricos. Como en el siguiente ejemplo:

Se debió tomar el peso de suelo contenido en cada vaso para luego, mediante la densidad aparente, se transformó el dato de peso de suelo a volumen de suelo y utilizando la ecuación que se presenta en el siguiente ejemplo, se obtuvo la concentración final de solución madre que se debió aplicar. Asumiendo un valor arbitrario de 100 gramos de suelo en un vaso:

$$100 \text{ gramos de Suelo} * \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ gramo de suelo}} = 100 \text{ cm}^3$$

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$(50 \text{ mg Zn} \cdot \text{Kg}^{-1}) (100 \text{ cm}^3) = (5000 \text{ mg Zn} \cdot \text{Kg}^{-1}) V_2$$

$$V_2 = \frac{5000 \text{ mg Zn} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{cm}^3}{5000 \text{ mg Zn} \cdot \text{Kg}^{-1}}$$

$$V_2 = 1 \text{ cm}^3$$

7.4.4 Preparación de los diferentes niveles de materia orgánica

Mediante la siguiente ecuación matemática se obtuvo el peso del material orgánico aplicado para cada nivel evaluado; las cantidades aplicadas corresponden a la cantidad adicionada de material orgánico durante 40 años (3 – 4.5 ton M.O·ha⁻¹ anualmente). Esto con el fin de simular las condiciones actuales de los suelos agrícolas del Valle hortícola de Almolonga, Quetzaltenango.

$$X \text{ (Gramos de M.O. a Aplicar)} = \frac{(100 \text{ gr. de suelo}^1) (\text{Nivel de materia orgánica a aplicar})}{2000000 \text{ Kg.}^2}$$

Los materiales orgánicos a aplicar, fueron en niveles de 0, 120 y 180 ton·ha⁻¹ provenientes de dos fuentes, que fueron: lombricompost y gallinaza.

7.5 Homogeneización del material

El suelo de cada unidad experimental se mezcló con el material orgánico (g) y el volumen de la solución de ZnSO₄ (ml) de acuerdo a las cantidades de cada tratamiento, esto se realizó dentro de bolsas de nylon para luego homogeneizarlos.

7.6 Incubación

El experimento se incubó durante dos meses en laboratorio, bajo condiciones de humedad controlada (capacidad de campo), para luego hacer los respectivos análisis.

7.7 Manejo de la prueba

Cada unidad experimental se regó y homogeneizó constantemente con el propósito de mantener el suelo a capacidad de campo.

¹ Cantidad de suelo depositada en cada unidad experimental.

² Peso de una hectárea de suelo asumiendo una profundidad de muestreo de 0.20 metros y una densidad aparente de 1 gr/cc.

7.8 Análisis de los datos experimentales en laboratorio

7.8.1 Análisis de suelo

A las muestras de suelo se le realizaron los análisis de los micronutrientes (P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn), pH y materia orgánica. La solución extractora utilizada para los índices de disponibilidad fue DTPA, y se cuantificó a través de espectrofotometría de absorción atómica. Para la medición de pH se utilizó el método potenciométrico, siendo la relación suelo-agua, de 1:2.5.

7.8.2 Análisis de los materiales orgánicos

Las fuentes de materia orgánica utilizadas fueron: lombricompost y gallinaza, las cuales se analizaron por medio del método de digestión húmeda utilizando una combinación de ácidos fuertes (HCl + HNO₃), relación 3:1.

7.9 Análisis de la información

Para el análisis de la información se utilizó el software *IBM SPSS Statistics*, versión de demostración.

7.9.1 Modelo estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl}	=	Variable de respuesta de la ijkl-esima unidad experimental
μ	=	Media general
α_i	=	Efecto del i-esimo nivel de materia orgánica
β_j	=	Efecto de la j-esima concentración de cinc
γ_k	=	Efecto del k-esimo mes
$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$	=	Interacción entre el nivel de materia orgánica, la concentración de cinc y el tiempo
ε_{ijkl}	=	Error experimental asociado a la ijkl-esima unidad experimental

7.9.2 Prueba de medias

Se realizó un análisis post-ANDEVA mediante la prueba de *Tukey* en los tratamientos en que se encontraron diferencias significativas (p valor < 0.001).

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados del análisis químico del suelo y de los materiales orgánicos utilizados para la realización del experimento:

8.1 Análisis químico del suelo

Cuadro 3 Análisis químico del suelo utilizado para el presente estudio, las muestras provinieron del área forestal de Almolonga, Quetzaltenango.

M.O. (%)	pH	Ppm		Meq/100gr		Ppm			
		P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
3,18	5,1	12 - 16	120 - 150	6 - 8	1,5 - 2,5	2 - 4	4 - 6	10 - 15	10 - 15
		11	398	5,97	2,79	2	2,5	35,5	10

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, planta y agua "Salvador Castillo Orellana", FAUSAC, 2010.

El suelo tiene un pH ácido y los niveles de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), manganeso (Mn), son adecuados mientras que el nivel de hierro (Fe) en el suelo es alto, además los niveles de cinc (Zn) son ligeramente bajos, en cuanto al contenido de materia orgánica se considera adecuado.

8.2 Análisis químico de los materiales orgánicos utilizados en la investigación

Cuadro 4 Análisis químico de la gallinaza adicionada a las unidades experimentales.

pH	%				ppm					%	µS	C:N
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	NT	CE	
7,3	1,06	0,25	4,38	0,38	90	600	2900	765	775	0,9	4705	8:4

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, planta y agua "Salvador Castillo Orellana", FAUSAC, 2010.

El pH (7.3) de la gallinaza es medianamente básico, mientras que los contenidos de fósforo (P), magnesio (Mg), cobre (Cu), hierro (Fe), son adecuados, el potasio (K) se encuentra bajo y el calcio (Ca), cinc (Zn) y manganeso (Mn) se encuentran altos; el contenido de nitrógeno es bajo y la relación carbono/nitrógeno es la adecuada.

Cuadro 5 Análisis químico del lombricompost adicionado a las unidades experimentales.

pH	%				ppm					%	μS	C:N
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	NT	CE	
6,1	0,32	0,63	1,25	0,23	25	130	4650	175	925	1,21	5540	7:0

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, planta y agua “Salvador Castillo Orellana”, FAUSAC, 2010.

El pH del lombricompost es medianamente ácido, mientras que los contenidos de calcio (Ca), cinc (Zn) y manganeso (Mn) son adecuados, en bajas cantidades se encuentra el fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y cobre (Cu). En cuanto a la relación carbono/nitrógeno y el contenido de nitrógeno, ambos se encuentran en los contenidos adecuados. Las diferencias entre ambos materiales orgánicos radican principalmente en la composición química de los mismos, siendo el origen del lombricompost los excrementos de lombrices mientras que la gallinaza proviene de los excrementos sólidos, líquidos y restos de las camas de aves de corral.

8.3 Análisis químico del suelo bajo el efecto de los materiales orgánicos

A continuación se presentan los resultados de la capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, saturación de bases y pH del suelo, después de haber concluido el experimento.

Cuadro 6 Resultados de los análisis químicos (CIC, bases intercambiables y %SB) de las muestras de suelo bajo el efecto de los materiales orgánicos evaluados.

Tratamiento	CIC (Meq /100 gr)	Bases (Meq /100 gr)				Saturación de bases (%)	pH
		K	Ca	Mg	Na		
Suelo forestal de Almolonga	8,74	1,02	5,97	2,79	0,26	100	5,1
Suelo f. + Lombricompost (120 ton·ha-1)	13,33	1,17	6,22	3,08	0,40	81,15	5,4
Suelo f. + Lombricompost (180 ton·ha-1)	14,99	1,62	7,22	3,41	0,36	84,12	5,7
Suelo f. + Gallinaza (120 ton·ha-1)	14,16	1,03	10,45	3,49	0,26	100	6,5
Suelo f. + Gallinaza (180 ton·ha-1)	17,08	1,22	14,19	4,39	0,28	100	6,5

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, planta y agua “Salvador Castillo Orellana”, FAUSAC, 2011.

En el cuadro anterior se observa el efecto de los materiales orgánicos sobre la capacidad de intercambio catiónico del suelo ya que a medida que aumenta el nivel de materia orgánica también aumenta la CIC y repercutiendo en la actividad química de los suelos (adsorción), así mismo es posible observar que en los suelos a los que se les aplicó

gallinaza, las cantidades de Ca y Mg aumentaron en relación a las cantidades aportadas por el lombricompost lo que influyó de manera directa en los valores de pH.

8.4 Disponibilidad de cinc (extracción en mg Zn·kg⁻¹)

En el cuadro que aparece a continuación, se presentan los resultados de la extracción mg Zn·kg⁻¹; al haber transcurrido 720 y 1440 horas de incubación del experimento.

Cuadro 7 Extracciones de cinc en mg·kg⁻¹, al haber transcurrido 720 y 1440 horas de incubación del experimento.

Tratamientos			Zn extraído a las 720 horas (1 mes)				Zn extraído a las 1440 horas (2 meses)			
Fuente	Nivel de Materia Orgánica (ton·ha ⁻¹)	Concentración (mg Zn·kg ⁻¹)	Repeticiones			Promedio (mg Zn·kg ⁻¹)	Repeticiones			Promedio (mg Zn·kg ⁻¹)
			R1	R2	R3		R1	R2	R3	
Testigo	0	0	3,2	1,8	0,8	1,9	2,4	1,8	0,8	1,7
	0	200	104,0	102,0	108,0	104,7	86,0	94,0	94,0	91,3
	0	400	225,0	235,0	240,0	233,3	205,0	215,0	220,0	213,3
	0	600	370,0	350,0	390,0	370,0	320,0	320,0	320,0	320,0
Lombricompost	120	0	5,0	4,0	2,8	3,9	5,0	3,4	2,6	3,7
	120	200	120,0	112,0	118,0	116,7	98,0	98,0	104,0	100,0
	120	400	235,0	230,0	255,0	240,0	210,0	200,0	220,0	210,0
	120	600	370,0	390,0	400,0	386,7	340,0	330,0	340,0	336,7
	180	0	7,8	5,8	4,4	6,0	8,4	4,6	10,2	7,7
	180	200	112,0	114,0	116,0	114,0	96,0	98,0	98,0	97,3
	180	400	230,0	250,0	250,0	243,3	210,0	220,0	220,0	216,7
	180	600	390,0	400,0	400,0	396,7	340,0	340,0	340,0	340,0
Gallinaza	120	0	10,4	8,8	7,6	8,9	6,8	5,8	5,0	5,9
	120	200	108,0	104,0	108,0	106,7	80,0	82,0	82,0	81,3
	120	400	230,0	230,0	245,0	235,0	190,0	200,0	180,0	190,0
	120	600	370,0	340,0	380,0	363,3	280,0	270,0	280,0	276,7
	180	0	18,0	11,8	12,2	14,0	11,0	8,0	9,6	9,5
	180	200	94,0	98,0	100,0	97,3	66,0	66,0	72,0	68,0
	180	400	200,0	200,0	215,0	205,0	160,0	150,0	160,0	156,7
	180	600	320,0	310,0	340,0	323,3	240,0	230,0	240,0	236,7

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, planta y agua "Salvador Castillo Orellana", FAUSAC, 2010.

En el cuadro anterior es posible observar en los tratamientos donde no se adicionó Zn; los aportes de cinc por parte de los materiales orgánicos. Al haber transcurrido 720 horas de incubación del experimento, en el caso del lombricompost el nivel de 120 ton·ha⁻¹ aporta 3.9 mg Zn·kg⁻¹, el nivel de 180 ton·ha⁻¹ aporta 6.0 mg Zn·kg⁻¹ mientras que la gallinaza el nivel de 120 ton·ha⁻¹ aporta 8.9 mg Zn·kg⁻¹ y el nivel de 180 ton·ha⁻¹ aporta 14.0 mg Zn·kg⁻¹, por lo que la gallinaza aporta mayor cantidad que el lombricompost, ese aumento también se da con los niveles más altos. Para el tiempo 1440 horas las concentraciones tienden a ser menores para los mismos tratamientos. Además se observa en forma general, que la extracción de Zn al haber aplicado la gallinaza es menor en comparación con el lombricompost, lo que se ve respaldado por el análisis estadístico que se presenta a continuación.

8.4.1 Análisis estadístico de los resultados obtenidos al haber transcurrido 720 y 1440 horas de incubación del experimento

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico de las extracciones en mg Zn·kg⁻¹, al haber transcurrido 1440 horas (dos meses) de incubación:

Cuadro 8 Análisis de varianza del experimento “Evaluación del efecto de dos fuentes de materia orgánica sobre la disponibilidad de cinc en suelos forestales del Valle hortícola de Almolonga, Quetzaltenango.”

Fuente de Variación	G.L.	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	P > F
Tiempo	1	27.694.408	27.694.408	110.028	0,005
Cinc	3	1.830.746.908	610.248.969	2.424.475	
Fuente de M.O.	4	23.386.575	5.846.644	23.228	
Fuente de M.O. * Cinc	12	19.887.097	1.657.258	6.584	
Error	99	24.918.652	251.704		
Total	119	1.926.633.640			

$$R^2 = 0.984$$

Como se puede observar en el análisis de varianza al cinco por ciento de significancia, existen diferencias significativas entre la interacción de los tres factores donde se obtiene un p-valor (<0.001) menor al 0.05 de significancia con el que se realizó la prueba, lo cual indica evidencia estadística para establecer que la interacción de los factores es la que causa diferentes comportamientos en la variable de respuesta (mg Zn·kg⁻¹), por lo anterior se procedió a realizar el análisis post-ANDEVA que se presenta a continuación:

E. Prueba de medias

Cuadro 9 Análisis post-ANDEVA (*prueba de Tukey*) del experimento “Evaluación del efecto de dos fuentes de materia orgánica sobre la disponibilidad de cinc en suelos forestales del Valle hortícola de Almolonga, Quetzaltenango.” Después de haber transcurrido 1440 horas de incubación.

Fuente de materia orgánica	Concentración de Zn	Medias	n	
Testigo	0 mg Zn·kg ⁻¹	1,67	3	A
120 (ton/ha) Lombricompost	0 mg Zn·kg ⁻¹	3,67	3	A
120 (ton/ha) Gallinaza	0 mg Zn·kg ⁻¹	5,87	3	A
180 (ton/ha) Lombricompost	0 mg Zn·kg ⁻¹	7,73	3	A
180 (ton/ha) Gallinaza	0 mg Zn·kg ⁻¹	9,53	3	A
180 (ton/ha) Gallinaza	200 mg Zn·kg ⁻¹	68,00	3	B
120 (ton/ha) Gallinaza	200 mg Zn·kg ⁻¹	81,33	3	B C
Testigo	200 mg Zn·kg ⁻¹	91,33	3	C D
180 (ton/ha) Lombricompost	200 mg Zn·kg ⁻¹	97,33	3	D
120 (ton/ha) Lombricompost	200 mg Zn·kg ⁻¹	100,00	3	D
180 (ton/ha) Gallinaza	400 mg Zn·kg ⁻¹	156,67	3	E
120 (ton/ha) Gallinaza	400 mg Zn·kg ⁻¹	190,00	3	F
120 (ton/ha) Lombricompost	400 mg Zn·kg ⁻¹	210,00	3	G
Testigo	400 mg Zn·kg ⁻¹	213,33	3	G
180 (ton/ha) Lombricompost	400 mg Zn·kg ⁻¹	216,67	3	G
180 (ton/ha) Gallinaza	600 mg Zn·kg ⁻¹	236,67	3	H
120 (ton/ha) Gallinaza	600 mg Zn·kg ⁻¹	276,67	3	I
Testigo	600 mg Zn·kg ⁻¹	320,00	3	J
120 (ton/ha) Lombricompost	600 mg Zn·kg ⁻¹	336,67	3	K
180 (ton/ha) Lombricompost	600 mg Zn·kg ⁻¹	340,00	3	K

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.001$)

Después de haber realizado el análisis de varianza para los resultados obtenidos al haber transcurrido 1440 horas de incubación del experimento, se estableció que los tratamientos, que presentan las diferencias significativas en cuanto a la menor extracción de Zn son: Testigo * 0 mg Zn·kg⁻¹, lombricompost 120 ton·ha⁻¹ * 0 mg Zn·kg⁻¹, gallinaza 120 ton·ha⁻¹ * 0 mg Zn·kg⁻¹, lombricompost 180 ton·ha⁻¹ * 0 mg·kg⁻¹ y gallinaza 180 ton·ha⁻¹ * 0 mg Zn·kg⁻¹.

En la prueba de medias se observa como la gallinaza en niveles de 180 ton·ha⁻¹ produce diferencias significativas ($p < 0.001$), presentando las menores extracciones; este comportamiento se mantuvo en todos los tratamientos a los que se les aplicó los diferentes niveles de cinc (200, 400 y 600 mg·kg⁻¹).

A continuación se presenta la prueba de medias individualmente:

Cuadro 10 Prueba de medias del factor A (materia orgánica) en las extracciones al haber transcurrido 1440 horas.

Fuente de M.O.	Medias	
180 (ton/ha) Gallinaza	117,72	A
120 (ton/ha) Gallinaza	138,47	B
Testigo	156,58	C
120 (ton/ha) Lombricompost	162,58	D
180 (ton/ha) Lombricompost	165,43	D

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.001$)

Del análisis anterior se obtiene que el material orgánico que presentó los mejores resultados fue la aplicación de gallinaza en niveles de $180 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, seguido de gallinaza en $120 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$; mientras que cuando se aplicó lombricompost se dio una mayor disponibilidad de cinc en el suelo, independientemente del nivel aplicado.

En las siguientes figuras (*figura 3 y figura 4*) se observa cómo, la aplicación de gallinaza presenta los mejores resultados; no así la aplicación de lombricompost, el cual tiene una capacidad menor de adsorción, inclusive al compararlo con el testigo.

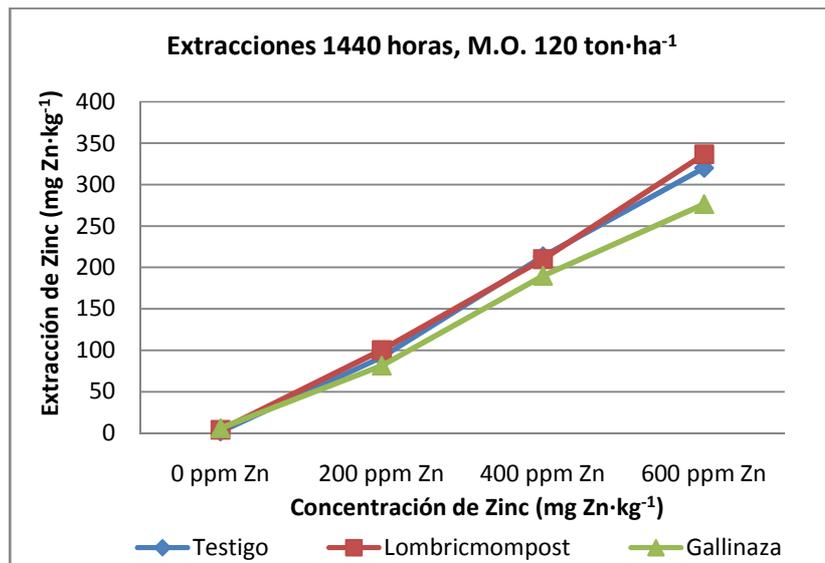


Figura 3 Extracciones de cinc a las 1440 horas, con diferentes concentraciones ($\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$) al haberse aplicado dos materiales orgánicos en dosis de $120 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$

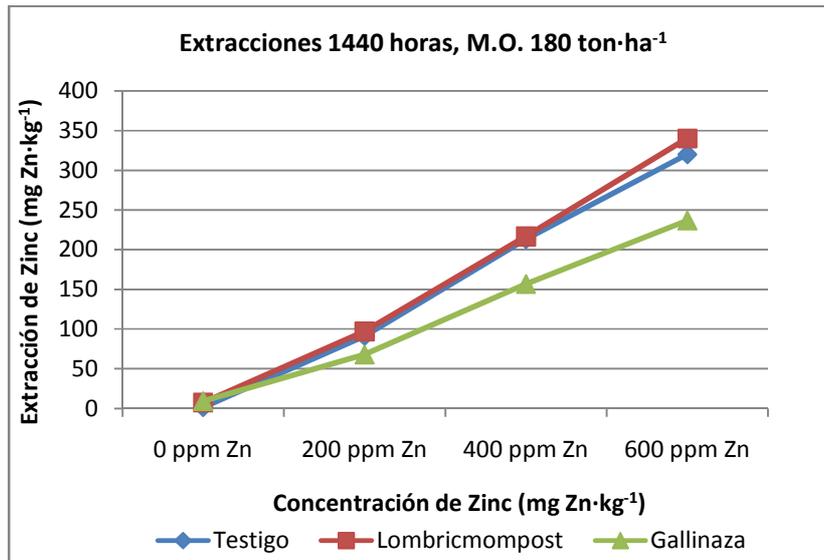


Figura 4 Extracciones de cinc a las 1440 horas, con diferentes concentraciones ($\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$) al haberse aplicado dos materiales orgánicos en dosis de $180 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Seguidamente se presenta la prueba de medias del factor B (concentración de Zn):

Cuadro 11 Prueba de medias del factor B (concentración de cinc) en las extracciones al haber transcurrido 1440 horas.

Concentración de cinc	Medias	
0 mg Zn·kg ⁻¹	5,69	A
200 mg Zn·kg ⁻¹	87,60	B
400 mg Zn·kg ⁻¹	197,33	C
600 mg Zn·kg ⁻¹	302,00	D

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.001$)

Al analizar el factor B (concentración de cinc en $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$), es evidente que existen diferencias significativas ($p < 0.001$), ya que al aumentar la concentración de un elemento en el suelo, por lo consiguiente, aumenta la extracción del mismo elemento.

Lo anterior es congruente a los porcentajes de adsorción del experimento los cuales se presentan en el siguiente cuadro (Ver figura 5).

Cuadro 12 Porcentaje de adsorción de cinc.

T	Fuente	Nivel de Materia Orgánica (ton·ha-1)	Concentración de Zn (mgZn·kg-1)	Porcentaje de adsorción (%)
T1	Testigo	0	0	----
T2		0	200	54,33
T3		0	400	46,67
T4		0	600	46,67
T5	Lombricompost	120	0	----
T6		120	200	50,00
T7		120	400	47,50
T8		120	600	43,89
T9		180	0	----
T10		180	200	51,33
T11		180	400	45,83
T12		180	600	43,33
T13	Gallinaza	120	0	----
T14		120	200	59,33
T15		120	400	52,50
T16		120	600	53,89
T17		180	0	----
T18		180	200	66,00
T19		180	400	60,83
T20		180	600	60,56

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, planta y agua "Salvador Castillo Orellana", FAUSAC, 2010.

Seguidamente se presenta la gráfica del cuadro anterior, donde se observan como la gallinaza en ambos niveles produjo los porcentajes más altos de adsorción.

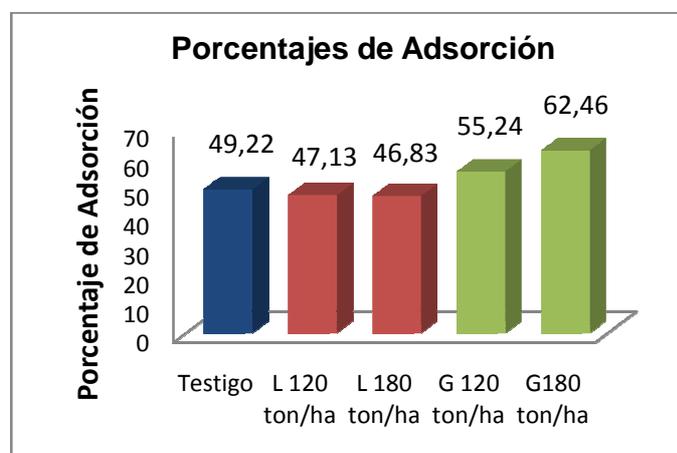


Figura 5 Porcentajes de adsorción del testigo, y las fuentes de materia orgánica en dosis de 120 y 180 ton·ha⁻¹.

En el caso de la gallinaza para ambos niveles se discute que los complejos formados entre el cinc y las sustancia húmicas del material orgánico son muy estables, ya que el promedio de los porcentajes de adsorción 55.24% y 62.46%, respectivamente, son considerablemente más altos que los del lombricompost (120 ton·ha⁻¹ y 180 ton·ha⁻¹) 47.13% y 46.83%, respectivamente, (Ver cuadro 12 y figura 5) por lo que para el fin de este experimento, brinda los mejores resultados. Al comparar los porcentajes de adsorción de los tratamientos a los que se les aplicó la dosis de 180 ton·ha⁻¹ de las dos fuentes de materia orgánica se obtuvo que la gallinaza adsorbió un 62.46% mientras que el lombricompost adsorbió un 46.83% existiendo una diferencia de más de 15% adsorbido por la gallinaza; comportamientos similares se obtuvieron al comparar los dos materiales orgánicos en niveles de 120 ton·ha⁻¹. A continuación se presentan las gráficas de los porcentajes de adsorción (a las 1440 h), en base a la concentración de zinc adicionada:

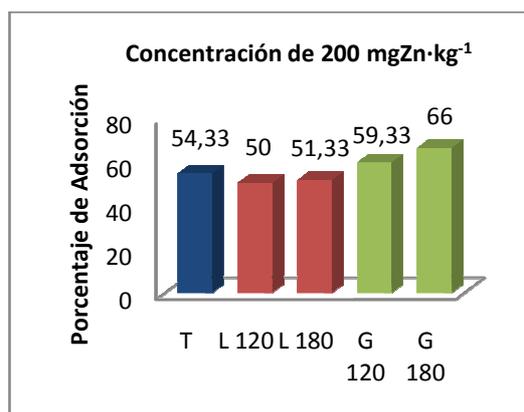


Figura 6 Porcentaje de adsorción en los tratamientos a los que se les adicionó 200 mgZn·kg⁻¹

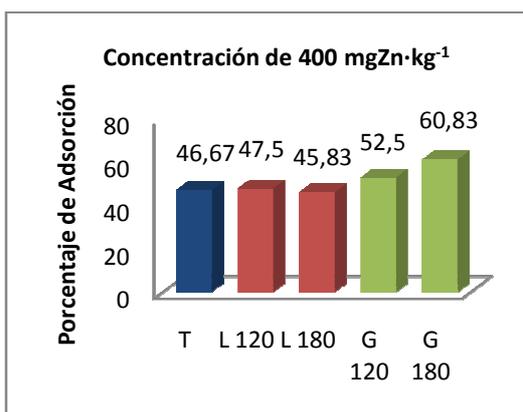


Figura 7 Porcentaje de adsorción en los tratamientos a los que se les adicionó 400 mgZn·kg⁻¹

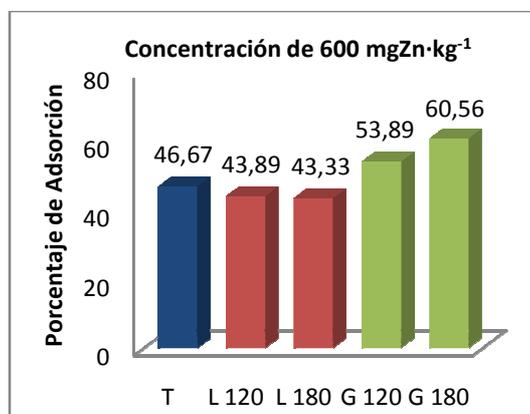


Figura 8 Porcentaje de adsorción en los tratamientos a los que se les adicionó 400 mgZn·kg⁻¹

A continuación se muestran las gráficas de los resultados obtenidos en base al cuadro 7 (Extracciones de cinc en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, al haber transcurrido 720 y 1440 horas de incubación del experimento)

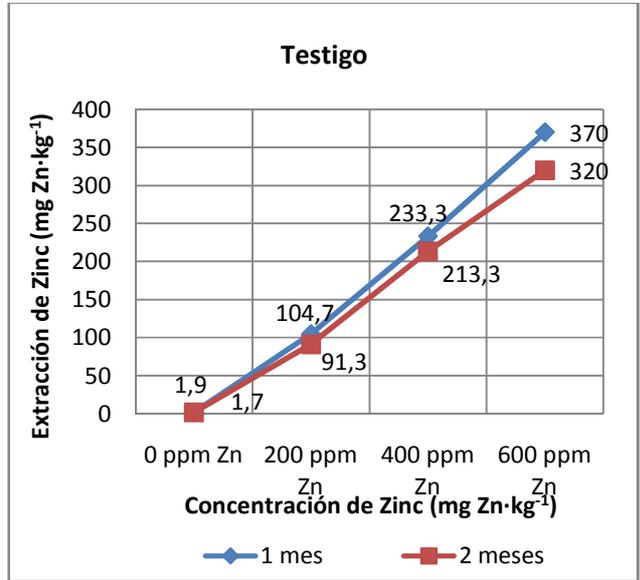


Figura 9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas.

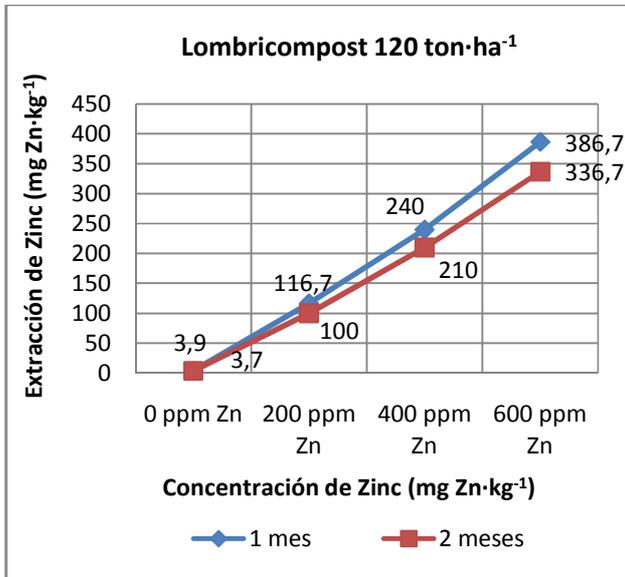


Figura 11 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas en el tratamiento que se le aplicó un nivel de lombricompost equivalente a $120\text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$.

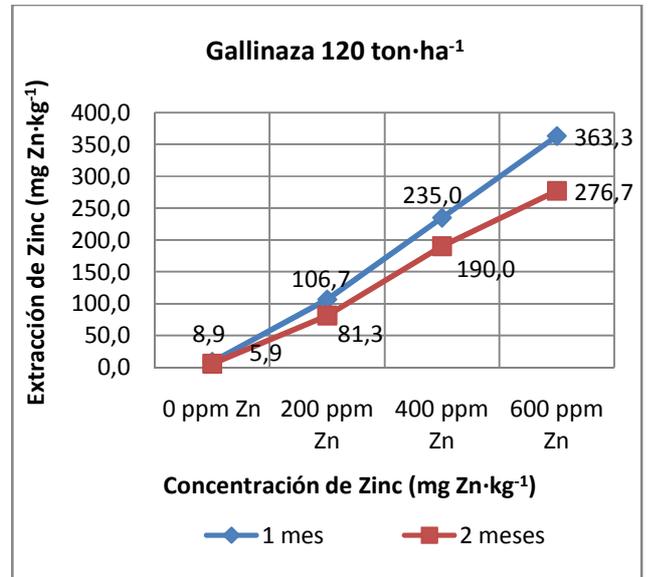


Figura 10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas en el tratamiento que se le aplicó un nivel de gallinaza equivalente a $120\text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$.

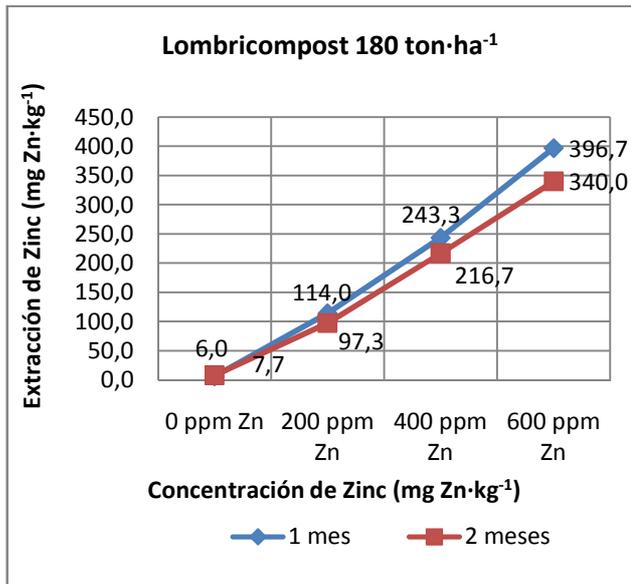


Figura 13 mg·kg⁻¹extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas en el tratamiento que se le aplicó un nivel de lombricompost equivalente a 180 ton·ha⁻¹.

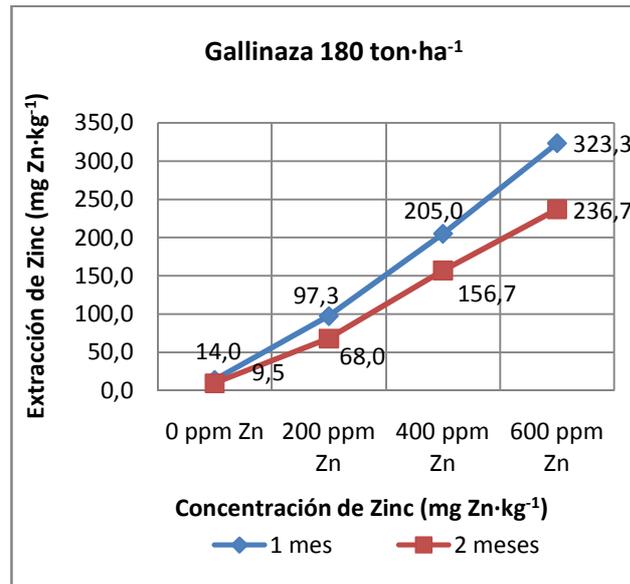


Figura 12 mg·kg⁻¹extraído al haber transcurrido 720 y 1440 horas en el tratamiento que se le aplicó un nivel de gallinaza equivalente a 180 ton·ha⁻¹.

En las gráficas anteriores se observa que la cantidad de extracción de cinc es directamente proporcional a la dosis aplicada ya que a medida que aumenta la dosis, aumenta la extracción del metal; además en todas las gráficas se observa que la extracción de cinc (mgZn·kg⁻¹) disminuye significativamente ($p < 0.001$) a medida que aumenta el tiempo; resultados similares encontró Ehsan et al. (2009), al evaluar el efecto de diferentes concentraciones de cinc sobre la disponibilidad de dicho elemento, a medida que aumentaba el tiempo; Ehsan et al. (2009), encontró diferencias significativas al haber transcurrido 1, 5 y 15 días de incubación del experimento; sin embargo en esta investigación se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) al haber transcurrido uno y hasta dos meses, debido al efecto de la aplicación de materia orgánica.

8.5 Análisis de los valores de pH

Seguidamente se presentan los valores de pH al haber transcurrido 1440 horas de incubación de las unidades experimentales:

Cuadro 13 Valores de pH para cada tratamiento, al haber transcurrido 1440 horas de incubación del experimento.

Tratamientos				pH			
T	Fuente	Nivel de Materia Orgánica (ton·ha ⁻¹)	Concentración (mg Zn·Kg ⁻¹)	Repeticiones			Promedio
				R1	R2	R3	
T1	Testigo	0	0	5,2	5,2	5,0	5,1
T2		0	200	5,1	5,0	5,0	5,0
T3		0	400	5,0	5,0	5,1	5,0
T4		0	600	4,9	5,0	5,0	5,0
T5	Lombricompost	120	0	5,2	5,5	5,4	5,4
T6		120	200	5,3	5,5	5,3	5,4
T7		120	400	5,3	5,4	5,3	5,3
T8		120	600	5,1	5,3	5,3	5,2
T9		180	0	5,6	5,6	5,8	5,7
T10		180	200	5,6	5,5	5,3	5,5
T11		180	400	5,5	5,4	5,4	5,4
T12		180	600	5,2	5,3	5,3	5,3
T13	Gallinaza	120	0	6,5	6,4	6,6	6,5
T14		120	200	6,1	6,1	6,5	6,2
T15		120	400	6,2	5,7	5,9	5,9
T16		120	600	5,7	5,8	5,7	5,7
T17		180	0	6,6	6,5	6,5	6,5
T18		180	200	6,5	6,5	6,5	6,5
T19		180	400	6,4	6,4	6,5	6,4
T20		180	600	6,2	6,2	6,2	6,2

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, planta y agua "Salvador Castillo Orellana", FAUSAC, 2010.

A continuación se presentan las gráficas del comportamiento del pH en los diferentes tratamientos:

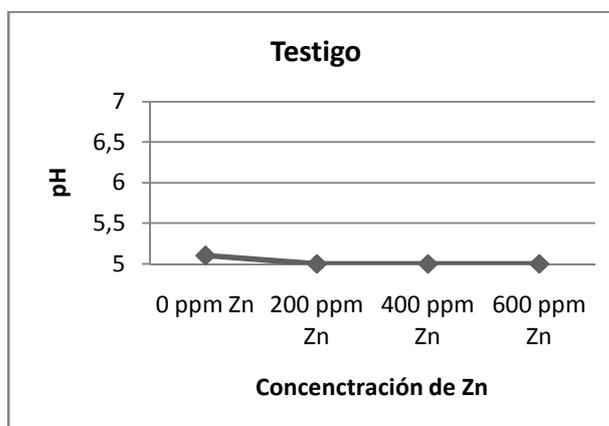


Figura 14 Valores de pH en los tratamientos a los que no se les adicionó material orgánico (testigo).

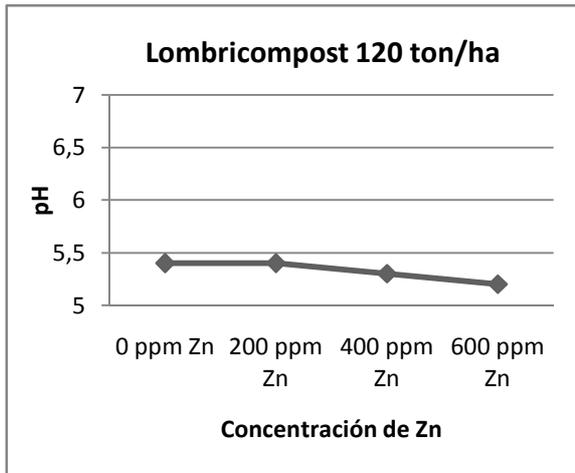


Figura 15 Valores de pH en los tratamientos a los que se les aplicó lombricompost en nivel de 120 ton·ha⁻¹.

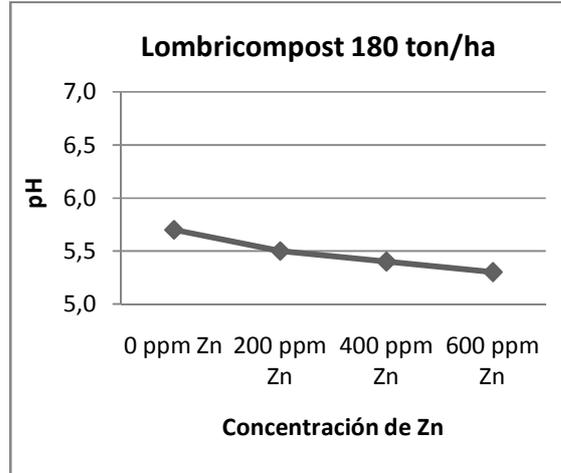


Figura 16 Valores de pH para los tratamientos a los que se les aplicó lombricompost en nivel de 180 ton·ha⁻¹.

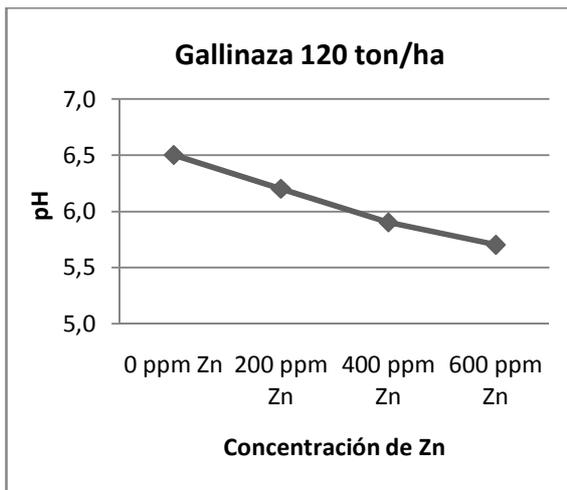


Figura 18 Valores de pH en los tratamientos a los que se les aplicó gallinaza en nivel de 120 ton·ha⁻¹.

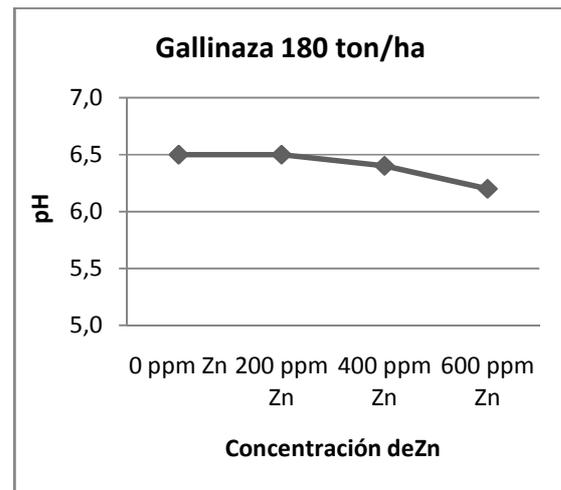


Figura 17 Valores de pH en los tratamientos a los que se les aplicó gallinaza en nivel de 180 ton·ha⁻¹.

De las figuras anteriores se discute que la debacle del pH se debe principalmente a las adiciones en orden ascendente de Zn_2SO_4 , ya que al reaccionar éste en la solución del suelo se oxida a H_2SO_4 , aumentando la concentración de iones hidronio en la solución del suelo, además se discute que la causa del aumento del pH en las figuras 19 y 20, es debido a la basicidad de la gallinaza.

Las siguiente gráficas se presentan en forma general, con el fin de explicar el efecto del pH sobre la extracción de cinc al haber transcurrido 1440 horas, en base a la fuente de materia orgánica (cada punto en las gráficas representa el nivel de materia orgánica que fue de 0, 120 y 180 ton·ha⁻¹).

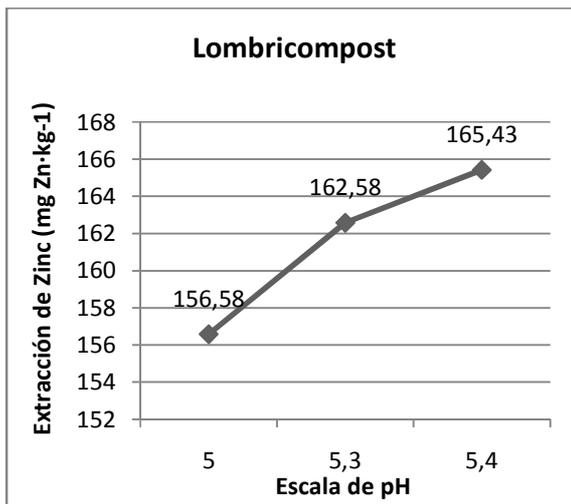


Figura 20 Valores de pH y extracción de cinc, en los tratamientos a los que se les adicionó lombricompost.

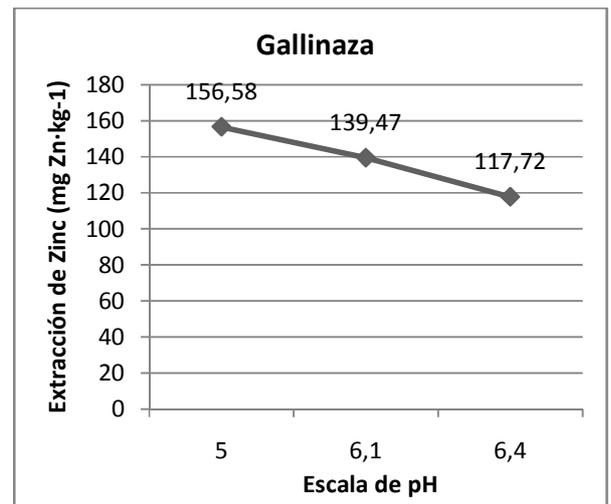


Figura 19 Valores de pH y extracción de cinc, en los tratamientos a los que se les adicionó gallinaza.

En las gráficas anteriores se observa que los tratamientos a los que se les aplicó lombricompost extrajeron más cinc en mg·kg⁻¹, en comparación con los tratamientos a los que se les aplicó gallinaza, debido a que la gallinaza por su alcalinidad aumenta el pH del suelo y mientras más alto sea el valor de pH la extracción de cinc será menor (mientras el valor de pH se acerca más a 5.0 la extracción de cinc en mg·kg⁻¹ será mayor). Argumento congruente con lo establecido por Villaroel et al. (1981) ya que cuando el pH aumenta el cinc parece ser precipitado como Zn (OH)₂ o como Zn CO₃.

9 CONCLUSIONES

Las fuentes de materia orgánica evaluadas tienen diferentes efectos sobre la disponibilidad de cinc en el suelo.

El material orgánico que causa la menor disponibilidad de cinc en los suelos del Valle hortícola de Almolonga es la gallinaza en niveles de $180 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$.

El lombricompost tiende a aumentar los niveles de cinc presentes en los suelos del Valle Hortícola de Almolonga, Quetzaltenango.

La disponibilidad de cinc disminuye a medida que aumenta el tiempo.

10 RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos del experimento, se recomienda la realización de experimentos con pruebas biológicas para evaluar el efecto de metales pesados sobre el crecimiento y desarrollo de hortalizas.

11 BIBLIOGRAFÍA

1. Almeida, W. 1985. Vigilancia sistemática del ambiente: residuos de pesticidas. Brasil, Universidad Estatal de Campinas. Consultado 10 oct 2009. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/eco/003106/03106-04-B.pdf>
2. Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
3. Borges, J; Vargas de Mello, W; Schaefer, C; Dussin, M; Pereira, W. 2008. Valores de referência local e avaliação da contaminação por cinco em solos adjacentes a áreas mineradas no município de Vazante-MG. Ci. Solo 32:2883-2893.
4. Caballero, R; Arguzo, M; Hernaiz, PJ. 1996. Acumulación y redistribución de elementos minerales. Argon 88(1):801-805.
5. Calderón Donis, MH. 2003. Evaluación de la respuesta de plántulas de café orgánico *Coffea arabica* a diferentes proporciones de abonos orgánicos (Bocashi y Lombricompost) en condiciones de la aldea San José Quixabaj, Santa Eulalia, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 62 p.
6. Ehsan, M; Molumeli, P; Hernandez, V; Baeza, A; Pérez, J; Soto, M; Ojeda, E; Jaen, D; Ruiz, A; Robledo, E. 2007. Contamination time effect on plant available fractions of cadmium and zinc in a mexican clay loam soil. Journal of Applied Sciences 7(16):2380-2384.
7. Fass, E; Wassner, D; Barros, M; Lorio, A; Rendina, A. 2008. Fitoextracción de cinc por *Ricinus comunis*. La Contaminación en Iberoamérica 1:215-226.
8. Fassbender, H. 1984. Química de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 398 p.
9. Fox, TL; Guerimot, ML. 1998. Biología molecular del transporte de cationes en las plantas. Fisiología de Plantas 49(1):669-695.
10. García Navarro, A. 2005. Contaminación del suelo. España, Universidad de Extremadura. Consultado 10 oct 2009. Disponible en: <http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL4Introd.htm>

11. _____. 2005. Contaminación del suelo: contaminantes específicos: metales pesados. España, Universidad de Extremadura. Consultado 10 oct 2009. Disponible en: <http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL4CEMetalesPesados.htm>
12. Guzmán Balcarcel, AD. 1998. Estudio de impacto ambiental de las actividades y sus efectos al medio, en el municipio de Almolonga, departamento de Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala, USAC. 74 p.
13. Kolmans, E; Vásquez, D. 1996. Manual de agricultura ecológica: una introducción a los principios básicos y su aplicación. Managua, Nicaragua, SIMAS / CICUTEC. 221 p.
14. Lindsay, WL; Norvell, WA. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.
15. Maischner, H. 2002. Nutrición mineral de plantas altas. 2 ed. San Diego, CA, US. Academic Press. 355 p. Consultado 10 oct 2009. Disponible en: <http://uaemex.mx/redalyc.pdf>
16. Ortiz-Vilanueva, B; Ortiz, C. 1990. Edafología. 7 ed. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 394 p.
17. Pérez Reynoso, JR. 2008. Diagnóstico general de las fuentes orgánicas e inorgánicas que aportan metales pesados (cobre, cinc y manganeso) al suelo hortícola del Valle de Almolonga, Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 77 p.
18. Premuzic, Z; Barros, M; Rendina, A; Lorio, A. 2008. Estabilización de metales en suelos afectados por sedimentos degradados mediante la aplicación de vermicoposts. La Contaminación en Iberoamérica 1:267:282.
19. Qishlaqui, A; Moore, F. 2007. Statistical analysis of accumulation and sources of heavy metals occurrence in agricultural soils of Khoshk river Banks, Shiraz, Iran. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 2(5):565-573.
20. Quixtan, RA. 1990. Evaluación de la respuesta de tres niveles de fertilizante químico, químico + gallinaza y gallinaza en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota*), en el cantón Chuicavioc, del municipio de Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 63 p.

21. Raxcaco González, F. 2001. Evaluación de cinco proporciones de lombricompost con suelo y cuatro dosis de fertilizante químico 20-20-0 para la producción de plantas de café *Coffea arabica* L. en la etapa de almacigo, Yepocapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 108 p.
22. River, C; Carracedo, C. 1999. Efecto del uso de gallinaza sobre algunos parámetros de fertilidad química de dos suelos de pH contrastante. *Maracay* 25:83-93.
23. Rodas Gaitán, HA. 2009. Diagnóstico general de la situación actual de la acumulación de cinc en el sistema hortícola del valle de Almolonga, Quetzaltenango. Informe de Ejercicio de Práctica Supervisada. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 19 p.
24. Roongtanakiat, N; Osotsapar, Y; Yindiram, C. 2009. Influence of heavy metals and soil amendmets on vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) grown in zinc mine soil. *Nat. Sci.* 43:37–49.
25. Salas, J. 1968. Efecto del molibdeno, boro y cinc sobre el efecto del tomate. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 44 p.
26. Silva Gómez, SE; Muños Orozco, A. 2007. Manual de contaminación de suelos. México, Universidad Autónoma de Chapingo. Consultado 30 mar 2007. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc.pdf>
27. Souza, G; Camargo, O; Porto, J; Cia, A; Silva, M. 2009. Assessment of heavy metals in soils of a vineyard region with the use of principal component analysis. *Sci. Agric.* 66(3):361-367.
28. Torre, CE De la. *et al.* 1997. Problemática actual y uso de la gallinaza en la comunidad de Chilasco, Salamá, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, 52 p.
29. Villaroel, J; Nuñez, R; Cajuste, L; Aguirre, D. 1981. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, cinc, hierro y manganeso en suelos de ciudad Serdan, Puebla, bajo condiciones de campo e invernadero. *Agrociencia* no. 44:77-90.