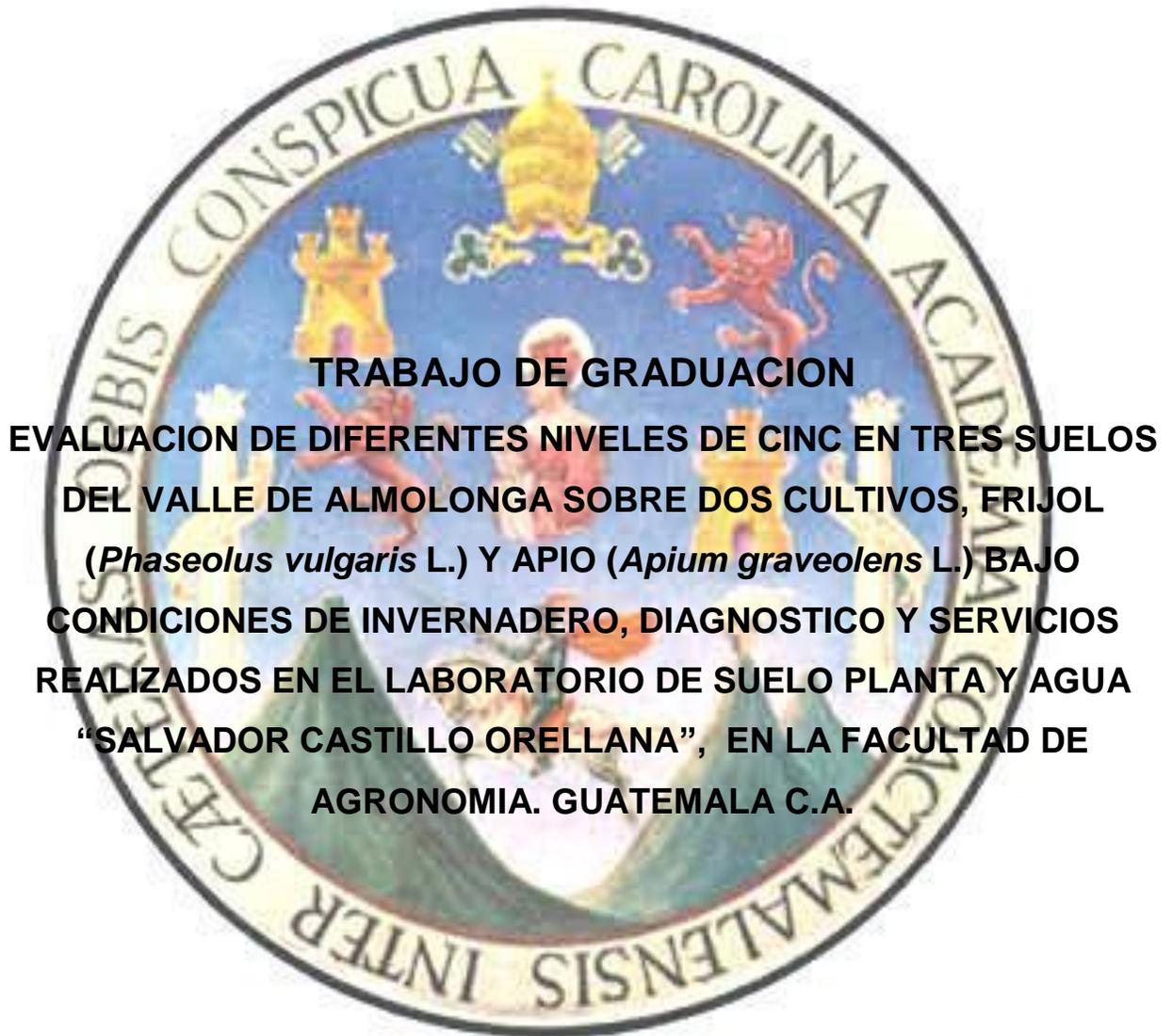


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

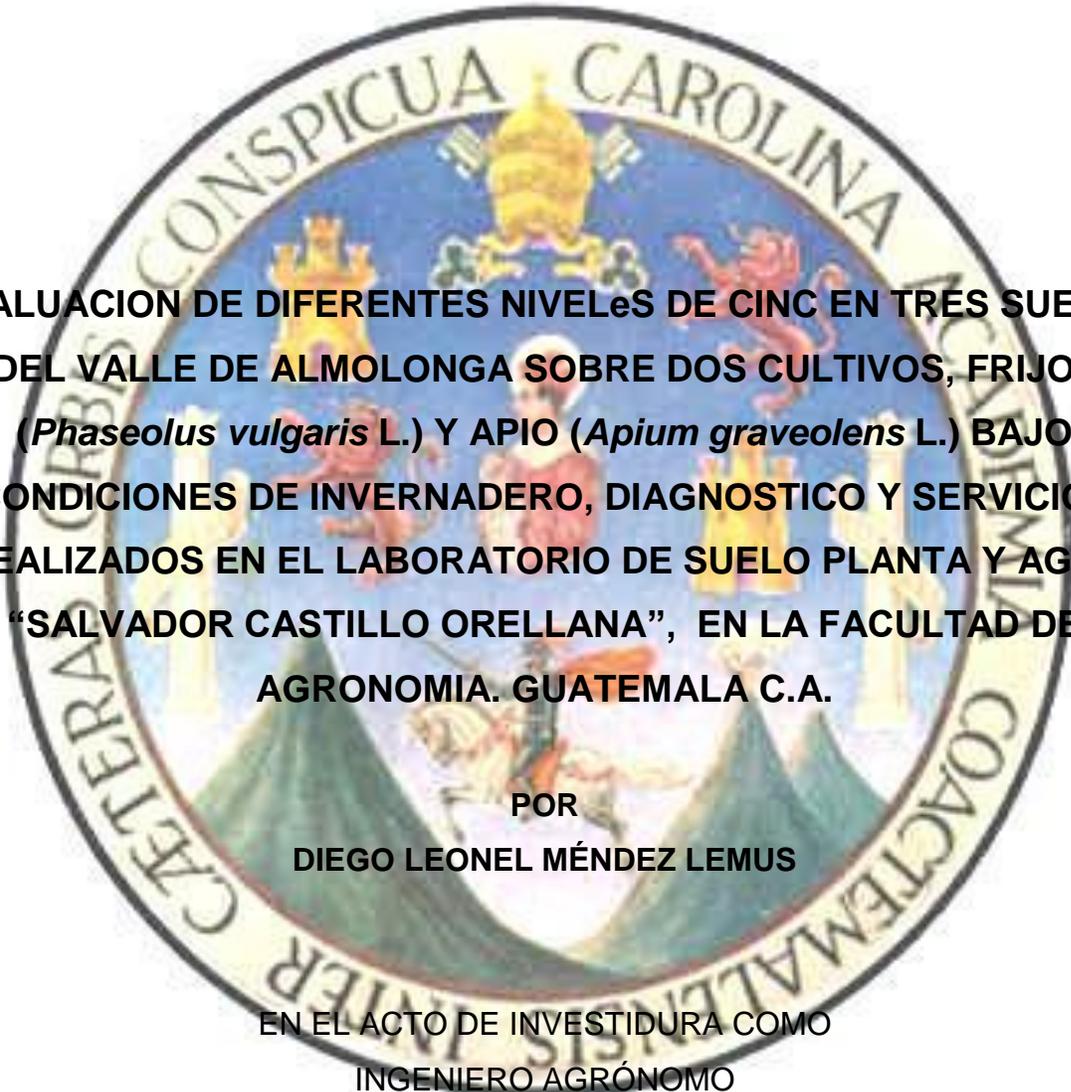


TRABAJO DE GRADUACION
EVALUACION DE DIFERENTES NIVELES DE CINCO EN TRES SUELOS
DEL VALLE DE ALMOLONGA SOBRE DOS CULTIVOS, FRIJOL
(*Phaseolus vulgaris* L.) Y APIO (*Apium graveolens* L.) BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO, DIAGNOSTICO Y SERVICIOS
REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO PLANTA Y AGUA
“SALVADOR CASTILLO ORELLANA”, EN LA FACULTAD DE
AGRONOMIA. GUATEMALA C.A.

DIEGO LEONEL MÉNDEZ LEMUS

GUATEMALA NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a saint or historical figure, standing on a globe. The figure is surrounded by various symbols, including a crown at the top and a cross. The text "UNIVERSITAS SAN CAROLINIENSIS" is written around the perimeter of the seal. The background of the seal is blue and green.

**EVALUACION DE DIFERENTES NIVELES DE CINCO EN TRES SUELOS
DEL VALLE DE ALMOLONGA SOBRE DOS CULTIVOS, FRIJOL
(*Phaseolus vulgaris* L.) Y APIO (*Apium graveolens* L.) BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO, DIAGNOSTICO Y SERVICIOS
REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO PLANTA Y AGUA
“SALVADOR CASTILLO ORELLANA”, EN LA FACULTAD DE
AGRONOMIA. GUATEMALA C.A.**

**POR
DIEGO LEONEL MÉNDEZ LEMUS**

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO

EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Rector Magnífico
Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

Junta Directiva de la Facultad de Agronomía

| | |
|------------|--|
| Decano | Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez |
| Vocal I | Dr. Ariel Abderraman Ortiz López |
| Vocal II | Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García |
| Vocal III | Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano |
| Vocal IV | Bachiller Lorena Carolina Flores Pineda |
| Vocal V | P. Agr. Josué Antonio Martínez Roque |
| Secretario | Ing. Agr. Carlos Roberto Echeverría Escobedo |

Guatemala, noviembre 2011

Guatemala, noviembre 2011

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado:

EVALUACION DE DIFERENTES NIVELS DE CINC EN TRES SUELOS DEL VALLE DE ALMOLONGA SOBRE DOS CULTIVOS, FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) Y APIO (*Apium graveolens* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO, DIAGNOSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO ORENELLA”, EN LA FACULTAD DE AGRONOMIA. GUATEMALA C.A.

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

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Diego Leonel Méndez Lemus

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS Por que tuyo es el cielo y la tierra, mi alma y todo lo que soy.

MIS PADRES Jorge Diego Méndez y Alba Luz Lemus, por su amor incondicional, sus oraciones, su paciencia, sus sacrificios y esfuerzos. Gracias por su apoyo incondicional a pesar de los inconvenientes de la vida.

MIS HERMANOS Ana Lisseth y Alba Sucelí, gracias por su cariño y desearme lo mejor del mundo, que nos ayude a seguir adelante unidos como hermanos

MIS SOBRINOS Jorge Enrique y Dulce María, que este triunfo sea para ellos una meta que puedan mejorar

MIS AMIGOS Luis Juárez, Daniel Guerrero, Estuardo Pérez, Julia Camel, Evelyn Argueta, y a todos aquellos que siempre han estado conmigo, gracias por su cariño y amistad sincera.

MI PAIS Guatemala, amor y respeto.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Mi alma máter, centro de conocimiento y sabiduría.

FACULTAD DE AGRONOMIA

Centro de formación académica y profesional que me abrió sus puertas durante estos años.

ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA

Casa conocimiento y aprendizaje, donde aprendí que las pruebas nos fortalecen.

INEBE LO DE COY JORNADA MATUTINA

Centro de aprendizaje en donde conocí la agronomía.

AGRADECIMIENTOS

A:

MI SUPERVISOR

Ing. Agr. Lily Gutiérrez por su supervisión, asesoría profesional, su tiempo y apoyo en la realización del presente documento.

MI ASESOR

Ing. Agr. Aníbal Sacbaja Galindo, por su guía, su tiempo, sus consejos y sobre todo amistad, tanto en la vida profesional como personal

SUBAREA DE CIENCIAS QUIMICAS:

A todos los trabajadores del lugar que me acogió como centro de enseñanza profesional, con cariño a Lic. Pérez, Lic. Flores, Lic. Solís, Ing. Armira, Ing. Catalan, Ing. Ortiz, Elizabeth, Oliver Fredi, a mis compañeros, Julia, Heberto, Eddio, Emilio, Sara, .

LABORATORIO “SALVADOR CASTILLO ORELLANA”

Por el apoyo brindado en la realización del Ejercicio Profesional Supervisado, con mucho cariño Ing. Norvin Ramos, Romael, Ranferí, por sus consejos, regaños Ing. Celena Carias.

CATEDRATICOS DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Gracias por compartir sus conocimientos y enseñarme el valor del saber.

PEM. GUSTAVO ADOLFO JACINTO

Su compañía, sus consejos, regaños, alegrías y su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

| Contenido | Página |
|--|--------|
| 1. CAPITULO I DIAGNÓSTICO DE DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN LABORATORIOS DE ANÁLISIS DE SUELO, PLANTA, AGUA DE GUATEMALA | 1 |
| 1.1 Presentación | 2 |
| 1.2 Objetivos | 3 |
| 1.3 Metodología..... | 3 |
| 1.3.1 Encuesta: | 3 |
| 1.3.2 Análisis de la Información:..... | 3 |
| 1.3.3 Fase de gabinete final: | 3 |
| 1.4 Resultados | 4 |
| 1.4.1 Tipo de análisis realizados | 5 |
| 1.4.2 Identificación de metales pesados | 6 |
| 1.4.3 Equipo utilizado en la determinación de metales pesado..... | 7 |
| 1.4.4 Costo de análisis de metales pesados | 8 |
| 1.4.5 Tiempo para entrega de resultados..... | 8 |
| 1.5 Análisis de prioridad: | 9 |
| 1.6 Conclusiones..... | 11 |
| 1.7 Bibliografía | 12 |
| 1.8 Anexo | 13 |
| 2. CAPITULO II EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE CINCO EN TRES SUELOS DEL VALLE DE ALMOLONGA SOBRE DOS CULTIVOS, FRIJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), Y APIO (<i>Apium graveolens</i> L.), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN LA FACULTAD DE AGRONOMIA. GUATEMALA C.A. | 15 |
| 2.1 Introducción..... | 16 |
| 2.2 Definición del problema..... | 17 |
| 2.3 Marco teórico..... | 18 |
| 2.3.1 Marco conceptual | 18 |
| 2.3.1.1 Contaminantes del suelo | 18 |

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| A. Contaminantes orgánicos del suelo | 18 |
| B. Contaminantes inorgánicos | 19 |
| C. Contaminación del suelo por la agricultura | 19 |
| 2.3.1.2 Cinc..... | 20 |
| D. Dinámica del Cinc en el Suelo..... | 20 |
| E. Factores que afectan la disponibilidad de Cinc en el Suelo | 21 |
| F. Absorción del cinc por las plantas | 23 |
| G. Funciones del Cinc en la planta | 24 |
| H. Síntomas de deficiencia de Cinc | 25 |
| I. Exceso de Cinc | 25 |
| J. Cultivos Tolerantes y Sensibles a la aplicación de Cinc..... | 26 |
| K. Mecanismos de tolerancia de cinc en cultivos..... | 27 |
| 2.3.1.3 Investigaciones realizadas | 28 |
| L. Evaluación de la contaminación del suelo por metales pesados (Brasil)..... | 28 |
| M. Influencia de los metales pesado en el crecimiento de vetiver (Zizanoides chrysopogon) sobre minas de Cinc (Brasil) | 29 |
| N. La toxicidad del Cinc y el cobre a las especies de Brassica: Implicaciones para la fitorremediación..... | 29 |
| O. Análisis de acumulación de metales pesados en suelos agrícolas (Irán)..... | 29 |
| P. Efecto del tiempo en la contaminación del suelo por metales pesados (México)..... | 30 |
| Q. Fijación y movilidad de cadmio y zinc en tres tipos de suelos ácidos de Galicia, España. | 30 |

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| R. Diagnóstico general de las fuentes orgánicas e inorgánicas que aportan metales pesados (Cu, Zn, Mn) al suelo hortícola del valle de Almolonga, Quetzaltenango..... | 31 |
| S. Diagnóstico general de la situación actual de la acumulación de cinc en el sistema hortícola del valle de Almolonga. | 31 |
| T. Evaluación del efecto de dos fuentes de materia orgánica sobre la disponibilidad de cinc en los suelos forestales del Valle Hortícola de Almolonga Quetzaltenango..... | 32 |
| 2.3.2 Marco referencial..... | 32 |
| 2.3.2.1 Localización y extensión territorial..... | 32 |
| 2.3.2.2 Condiciones Climáticas | 32 |
| 2.3.2.3 Recurso Suelo del Municipio de San Pedro Almolonga | 33 |
| 2.4. Objetivos | 34 |
| 2.4.1 General..... | 34 |
| 2.4.2 Específicos | 34 |
| 2.5 Hipótesis..... | 34 |
| 2.5.1 Hipótesis de Estudio..... | 34 |
| 2.6. Metodología..... | 35 |
| 2.6.1 Metodología experimental | 35 |
| 2.6.1.1 Características del material experimental..... | 35 |
| 2.6.1.2 Diseño experimental | 35 |
| 2.6.1.3 Factores evaluados | 35 |
| 2.6.1.4 Unidad experimental..... | 36 |
| 2.6.2 Manejo del experimento | 37 |
| 2.6.2.1 Toma de muestras de suelo | 37 |
| 2.6.2.2 Preparación de la muestra | 37 |
| 2.6.2.3 Análisis químico de suelos | 37 |
| 2.6.2.4 Cálculo de la cantidad de solución de cinc a aplicar | 38 |
| 2.6.2.5 Preparación de suelo forestal más material orgánico..... | 39 |

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| 2.6.2.6 Tamizado y llenado de macetas:..... | 39 |
| 2.6.2.7 Siembra y aplicación de los tratamientos:..... | 39 |
| 2.6.2.6 Riego..... | 40 |
| 2.6.2.7 Cosecha..... | 40 |
| 2.6.2.8 Análisis químico de cinc en el suelo extraído con DTPA | 40 |
| U. Preparación de la solución extractora : | 40 |
| 2.6.2.9. Análisis de rendimiento de materia seca..... | 41 |
| 2.6.2.10 Análisis de cinc en la planta..... | 41 |
| 2.6.3 Análisis de la información | 41 |
| 2.6.3.1 Modelo estadístico | 42 |
| 2.6.3.2 Prueba de medias | 42 |
| 2.7 Resultados y discusión | 43 |
| 2.7.1 Análisis químico del suelo Agrícola:..... | 43 |
| 2.7.2 Análisis químico del suelo Forestal..... | 43 |
| 2.7.3 Análisis químico del suelo Forestal más material orgánico..... | 44 |
| 2.7.4 Extracción de cinc en los suelos evaluados..... | 44 |
| 2.7.4.1 Análisis de varianza para la variable disponibilidad de cinc en el suelo..... | 46 |
| 2.7.5 Análisis de varianza para la variable rendimiento de materia seca en Apio y Frijol..... | 49 |
| 2.7.5.1 Análisis estadístico para rendimiento de materia seca en cultivos de Frijol y Apio. | 51 |
| 2.7.6 Análisis de varianza para la concentración de cinc en las plantas de Apio y Frijol..... | 54 |
| 2.7.6.1 Análisis estadístico para disponibilidad de cinc en el suelo. | 56 |
| 2.8 Conclusiones | 58 |
| 2.9 Bibliografía | 59 |
| 2.10. Anexos..... | 62 |

| Contenido | Página |
|--|---------------|
| CAPITULO III SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, AGUA Y PLANTA “SALVADOR CASTILLO ORELLANA” EN LA FACULTAD DE AGRONOMÍA. GUATEMALA C.A. | 64 |
| 3.1 Introducción..... | 65 |
| 3.2 Apoyo al laboratorio de Suelo y Agua “Salvador Castillo Orellana”..... | 66 |
| 3.2.1 Planteamiento del problema..... | 66 |
| 3.2.2 Objetivo | 66 |
| 3.2.3 Metodología..... | 66 |
| 3.2.3.1 Recepción de la muestra | 66 |
| 3.2.3.3 Preparación de la muestra..... | 67 |
| 3.2.3.3 Secado | 67 |
| 3.2.3.4 Reducción del tamaño de los agregados..... | 67 |
| 3.2.3.5 Tamizado..... | 67 |
| 3.2.3.6 Almacenamiento e Identificación | 68 |
| 3.2.3.7 Determinación de Nitrógeno total: | 68 |
| 3.2.3.8 Determinación de Materia Orgánica | 68 |
| 3.2.3.9 Determinación de Textura | 69 |
| 3.2.3.10 Determinación de pH..... | 69 |
| 3.2.3.11 Determinación Capacidad de Intercambio Catiónico | 69 |
| 3.2.3.13 Determinación de elementos disponibles | 70 |
| 3.2.3 Resultados | 70 |
| 3.2.3.1 Numero de muestras recibidas | 70 |
| 3.2.3.2 Extendido y secado de las muestras | 70 |
| 3.2.3.4 Análisis físicos y químicos | 70 |
| 3.2.4 Evaluación..... | 71 |
| 3.3 Apoyo al proyecto FODECYT 055-2009 Evaluación y caracterización de la sucesión vegetal secundaria y propuestas para la restauración ecológica alrededor de áreas con pinabete (<i>Abies guatemalensis</i> Rehder) en San Marcos | 72 |
| 3.3.1 Definición del Problema..... | 72 |

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| 3.3.2 Objetivo | 72 |
| 3.3.3 Metodología | 72 |
| 3.3.3.1 Ingreso de las muestras al libro de recibimiento | 72 |
| 3.3.3.2 Extendido y secado de la muestra | 73 |
| 3.3.3.3 Tamizado de la muestra | 73 |
| 3.3.3.4 Análisis físicos..... | 73 |
| 3.3.3.5 Análisis químicos..... | 73 |
| 3.3.4 Resultados | 73 |
| 3.3.4.1 Numero de muestras recibidas..... | 73 |
| 3.3.4.2 Extendido y secado de las muestras..... | 74 |
| 3.3.4.3 Análisis físicos y químicos..... | 74 |
| 3.3.5 Evaluación | 74 |
| 3.4 SERVICIO 3: Capacitación a estudiantes de centros regionales universitarios..... | 75 |
| 3.4.1 Definición del problema..... | 75 |
| 3.4.2 Objetivo..... | 75 |
| 3.4.3 Metodología | 75 |
| 3.4.4 Resultados | 76 |
| 3.4.4.1 Capacitación en preparación de la muestra de suelo..... | 76 |
| 3.4.4.2 Capacitación en la metodología para la determinación de textura | 77 |
| 3.4.4.3 Metodología para la determinación de pH:..... | 77 |
| 3.4.5 Evaluación | 78 |
| 3.5 Bibliografía | 79 |
| 3.6. Anexos | 80 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|---------------|
| Cuadro 1. Laboratorios entrevistados. | 5 |
| Cuadro 2. Respuesta de los cultivos a las aplicaciones de cinc..... | 26 |
| Cuadro 3. Factores evaluados suelo, cultivo y niveles de cinc de la investigación. | 36 |
| Cuadro 4. Arreglo general de los 30 tratamientos a analizar..... | 36 |
| Cuadro 5. Análisis químico del suelo agrícola del Valle de Almolonga, Quetzaltenango. | 43 |
| Cuadro 6. Análisis químico del suelo forestal del Valle de Almolonga, Quetzaltenango. | 43 |
| Cuadro 7. Análisis químico del suelo forestal más materia orgánica del Valle de Almolonga, Quetzaltenango..... | 44 |
| Cuadro 8. Resultados de la extracción de cinc con DTPA en el suelo agrícola, forestal y forestal más materia orgánica..... | 45 |
| Cuadro 9. Prueba de Tukey para la interacción clase de suelo, tipo de cultivos y niveles de cinc en la extracción de cinc en el suelo con DTPA. | 47 |
| Cuadro 10. Resumen de datos promedio de extracción de cinc por DTPA en cultivo de Frijol..... | 48 |
| Cuadro 11. Resumen de atos promedio, extracción de cinc por DTPA, en cultivo de Apio | 48 |
| Cuadro 12. Resultados de rendimiento de materia seca en gramos por unidad experimental | 50 |
| Cuadro 13. Prueba de tukey para la interacción tipo cultivos, suelo y niveles de cinc en el rendimiento de materia seca. | 52 |
| Cuadro 14. Datos promedio del rendimiento de materia seca en el cultivo de Frijol..... | 53 |
| Cuadro 15. Datos promedio del rendimiento de materia seca en el cultivo de Apio | 53 |
| Cuadro 16. Resultados de la concentración de Zn (mg.Kg^{-1} materia seca) en los tres suelos evaluados y niveles de cinc | 54 |

| Cuadro | Página |
|--|---------------|
| Cuadro 17. Prueba de tukey para la interacción tipo de cultivo, origen del suelo y niveles de cinc en la acumulación de cinc en la planta..... | 56 |
| Cuadro 18. Datos promedio, cantidad de cinc en la planta (mg.Zn.Kg ⁻¹ MS), en base a cuadro de tukey, en cultivo de frijol | 57 |
| Cuadro 19. Datos promedio, cantidad de cinc en la planta (mg.Zn Kg ⁻¹ MS), en base al cuadro de tukey, en cultivo de apio | 57 |
| Cuadro 20. Análisis de varianza para la disponibilidad de cinc en el suelo | 62 |
| Cuadro 21. Análisis de varianza del experimento para el rendimiento de materia seca..... | 62 |
| Cuadro 22. Análisis de varianza del experimento para la concentración de cinc en las planta | 63 |
| Cuadro 23. Metodología utilizada en el análisis físico y químico de muestras de suelo analizadas | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| Figura 1. Laboratorios entrevistados..... | 5 |
| Figura 2. Análisis realizados por los diferentes laboratorios | 5 |
| Figura 3. Metales pesados Identificados | 6 |
| Figura 4. Generador de hidruros. Fuente: Laboratorio AMSA | 7 |
| Figura 6. Horno de Microondas. Laboratorio AMSA..... | 8 |
| Figura 7. Porcentaje de los fungicidas más utilizados por parte de los agricultores del municipio de Almolonga, Quetzaltenango..... | 31 |
| Figura 8. Acumulación de cinc en el suelo en el cultivo de Frijol..... | 46 |
| Figura 9. Acumulación de cinc en el suelo en el cultivo de Apio..... | 46 |
| Figura 10. Rendimiento de materia seca en cultivo de Frijol en diferentes suelos..... | 51 |
| Figura 11. Rendimiento de materia seca en cultivo de Apio en diferentes suelos..... | 51 |
| Figura 12. Concentración de cinc en tejido vegetal en el cultivo de Frijol..... | 55 |
| Figura 13. Concnetración de cinc en tejido vegetal en el cultivo de Apio..... | 55 |

TRABAJO DE GRADUACION EVALUACION DE DIFERENTES NIVELES DE CINCO EN TRES SUELOS DEL VALLE DE ALMOLONGA SOBRE DOS CULTIVOS, FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) Y APIO (*Apium graveolens* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO, DIAGNOSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO ORELLANA”, EN LA FACULTAD DE AGRONOMIA. GUATEMALA C.A.

RESUMEN

El contenido del presente documento corresponde a las actividades realizadas en el laboratorio de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo Orellana” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el mismo se detallan las tres actividades en las cuales se divide el Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, estas actividades son: diagnóstico, investigación y servicios, actividades que se llevaron a cabo de Febrero a Noviembre del año 2010.

Con la finalidad de reconocer la situación actual de la determinación de metales pesados, se realizó un diagnóstico en los laboratorios que prestan servicio de análisis de suelo, planta, agua y otros, la mayoría de laboratorios realizan la identificación de metales pesados con fines de esencialidad en la nutrición de plantas, de calidad de agua y en alimentos. Del total de laboratorios entrevistados el 80% identifican los elementos (Mn, Zn, Cu, Fe) utilizando espectrofotometría de absorción atómica, sin embargo para la identificación de (Hg, Pb, Cd, Cr) es necesario accesorios especiales (Generador de Hidruros, Horno de Grafito) en el espectrofotómetro de absorción atómica, además del proceso de extracción con horno de microondas. De los cuales únicamente el Laboratorio Nacional de Salud, ECOQUIMSA®, el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Inlasa y LabLaser realizan el análisis principalmente en alimentos y agua. Por lo cual se hace necesario la creación de un laboratorio que cuente con el equipo indispensable para la determinación de metales pesados en muestras de suelo y foliares.

La investigación se desprende de estudios realizados sobre la acumulación de metales pesados en el Valle de Almolonga en el Municipio de San Pedro Almolonga del departamento de Quetzaltenango, la cual consistió en evaluar el efecto de cinco niveles de cinc, en tres suelos sobre el rendimiento de materia seca y concentración de cinc en el tejido vegetal de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), y apio (*Apium graveolens* L.) que son plantas que presentan susceptibilidad y tolerancia, respectivamente, a la aplicación de cinc. Así mismo se evaluó la extracción de cinc de los suelos al final de la investigación, en la cual se concluyó que el rendimiento de materia seca (g/unidad experimental) de el apio y frijol se ven limitados cuando se aplica el nivel de cinc 100 mg kg^{-1} en los suelos agrícola y forestal enriquecido con materia orgánica. En suelo forestal los rendimientos de todos los niveles evaluados en frijol son inferiores al testigo de los suelos agrícolas y forestales más materia orgánica. La concentración de cinc en apio y frijol se incrementa significativamente a partir de los 200 mg kg^{-1} mientras que en el suelo agrícola y forestal, en el suelo forestal más materia orgánica no existen diferencias en la concentración de cinc en apio y frijol por efectos de los niveles aplicados al suelo.

Como parte de los servicios realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo Orellana” se proporcionó apoyo del desarrollo de actividades de análisis, se realizó el apoyo al proyecto FODECYT 055-2009, en el análisis físico y químico de muestras provenientes de bosques de pinabete de San Marcos, y se realizó capacitaciones a los estudiantes de los Centros Regionales de Quiché y Jutiapa.

CAPITULO I
DIAGNÓSTICO DE DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN LABORATORIOS
DE ANÁLISIS DE SUELO, PLANTA, AGUA DE GUATEMALA

1.1 Presentación

En Guatemala siendo un país agrícola, es de vital importancia el análisis de metales pesados con fines de toxicidad, en el suelo, agua, planta y alimentos para evitar problemas de toxicidad. Actualmente en Guatemala, dentro de la red de laboratorios existentes que prestan el servicio de diferentes análisis (agua, hojas, suelo, alimentos, otros), pocos son los que prestan el servicio de identificación de metales pesados, principalmente por el tipo de equipo que se necesita para la extracción parcial o total del elemento.

De los laboratorios existentes la mayoría que se especializa en el análisis de metales pesados en suelo, aguas residuales y alimentos con fines de toxicidad se encuentra el laboratorio Nacional de salud que se basa en las norma ISO 17025, ECOQUIMSA® laboratorio acreditado por el Ministerio de Ambiente para el análisis de metales pesados en base a ISO 17025, con base en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. El laboratorio de toxicología se encarga principalmente del análisis en alimentos. Inlasa y LabLaser empresas privadas que se encargan de este tipo de análisis se realizan principalmente en alimentos y agua.

Los laboratorios anteriormente mencionados forman parte de la Red Nacional de Laboratorios de Salud y Ambiente; es una asociación técnica, científica, civil, no lucrativa, con personalidad jurídica, ajena a toda actividad política y religiosa; que reúne a laboratorios guatemaltecos relacionados con la temática de salud y ambiente.

1.2 Objetivos

General:

Realizar un diagnóstico en diferentes laboratorios sobre identificación de metales pesados.

Específicos

- Identificar los laboratorios que prestan el servicio en la determinación de metales pesados y el equipo que utilizan.
- Identificar cuales metales pesados determinan y la forma de cuantificarlo.
- Realizar un análisis de importancia en la determinación de metales pesados en suelo, planta, agua y otros.

1.3 Metodología

Para la realización del diagnóstico de la situación actual del análisis de metales pesados en Guatemala, se llevaron a cabo las siguientes técnicas:

1.3.1 Encuesta:

El objetivo es obtener información primaria de los laboratorios en Guatemala que se dedican al análisis de suelo, agua, planta y alimentos. La elaboración de la boleta incluía, principalmente que tipos de elementos identifican, precios, tiempo de obtención de resultados y equipo utilizado (ver anexo 1). Se realizó un censo de los laboratorios que prestan servicio de análisis.

1.3.2 Análisis de la Información:

En esta fase se llevó a cabo la descripción y priorización de los problemas que afecta el análisis de metales pesados en Guatemala, la priorización se llevó a cabo con la matriz de priorización de problemas, para posteriormente plantear una solución.

1.3.3 Fase de gabinete final:

Consistió en la elaboración del presente documento, el cual refleja la situación actual del análisis de metales pesados en Guatemala.

1.4 Resultados

Se realizó una boleta de encuesta a 25 laboratorios que prestan análisis de suelo, agua, planta y alimentos con los siguientes resultados. De los 25 laboratorios, ver figura 1 de los cuales el 52% corresponde a laboratorios privados, el 24% a estatales y el 24% corresponde a laboratorios Universitarios. Los laboratorios entrevistados están en el Cuadro 1

Cuadro 1: Listado de laboratorio Entrevistados.

| LABORATORIO | TIPO INSTITUCION | LABORATORIO | TIPO INSTITUCION | LABORATORIO | TIPO INSTITUCION |
|---|------------------|-----------------------|------------------|--|------------------|
| Amigos para el Manejos sustentable del Lago de Amatitlán (AMSA) | Gubernamental | ANALAB | Privado | "SALVADOR CASTILLO ORELLANA" FAUSAC | Universidad |
| INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLA (ICTA) | gubernamental | ANALISA | Privado | FARMACIA LABORATORIO DE TOXICOLOGIA | Universidad |
| LABORATORIO DE SUELO Escuela Nacional Central de Agricultura "ENCA" | Gubernamental | BIOLAB | Privado | LABORATORIO UNIVERSIDAD DEL VALLE | Universidad |
| LABORATORIO NACIONAL DE SALUD | Gubernamental | CENGICAÑA | Privado | LABORATORIO DE AGUA FACULTAD DE INGENIERIA | Universidad |
| MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS | Gubernamental | CONTRO-LAB | Privado | LABORATORIO DE SUELO UNIVERSIDAD FRANCISCO MARROQUIN | Universidad |
| MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE | Gubernamental | ECOQUIMSA | Privado | | |
| | | ECOSISTEMAS | Privado | | |
| | | F.Q.B. | Privado | | |
| | | HIDROAQUA | Privado | | |
| | | INLASA | Privado | | |
| | | LABLASER | Privado | | |
| | | LABORATORIO CERES | Privado | | |
| | | SOLUCIONES ANALITICAS | privado | | |

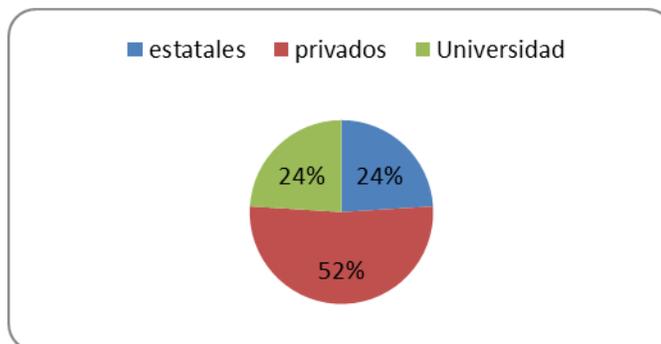


Figura 1. Laboratorios entrevistados. Fuente: Elaboración propia

1.4.1 Tipo de análisis realizados

Durante la entrevista se incluyó en que tipo de análisis realizan. En su mayoría realizan análisis de agua, con énfasis en calidad de agua y con fines agrícolas. Cabe mencionar que la mayoría de los laboratorios realizan análisis de suelo, agua y foliares, (aguas residuales, plaguicidas, lodos, fertilizantes) como se muestra en la Figura 2. La mayoría de los laboratorios realizan analisis en agua, suelo, en el mismo lugar.

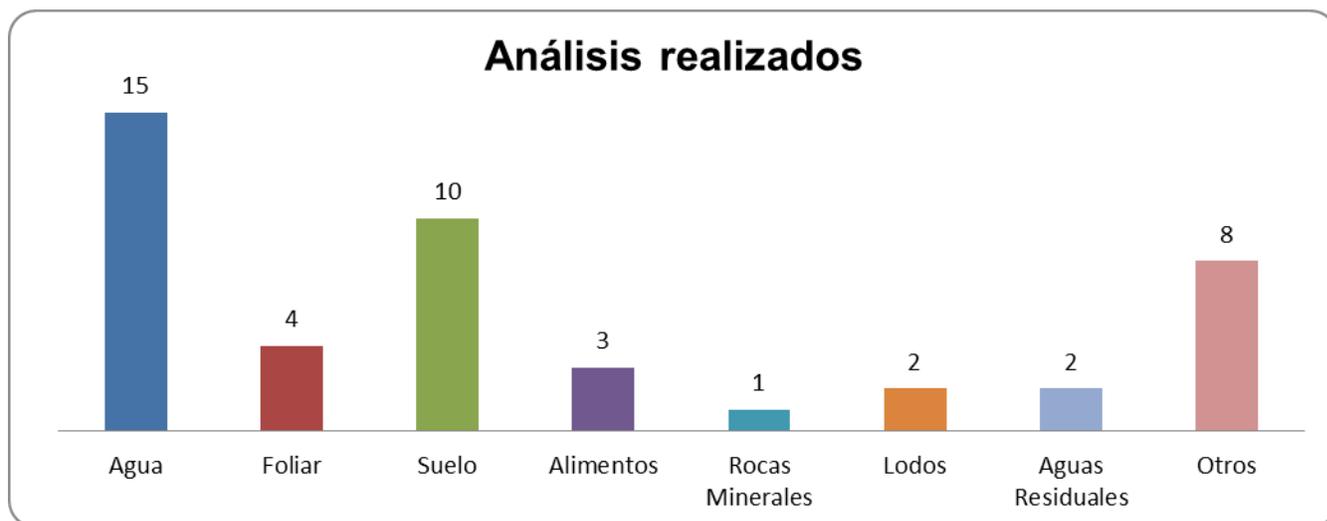


Figura 2. Análisis realizados por los diferentes laboratorios, Fuente: Elaboración propia

1.4.2 Identificación de metales pesados

Se procedió a identificar la cantidad de laboratorios que se encarga de la identificación de metales pesados independientemente del tipo de análisis. El 100% de los laboratorios realiza análisis de metales pesados. Pero la mayoría suelos analizan para criterios de esencialidad para el desarrollo de las plantas, de calidad de agua y alimentos. El 80% de los laboratorios identifica principalmente Manganeso, Zinc, Hierro, Niquel y Cobre. (Ver figura 3).

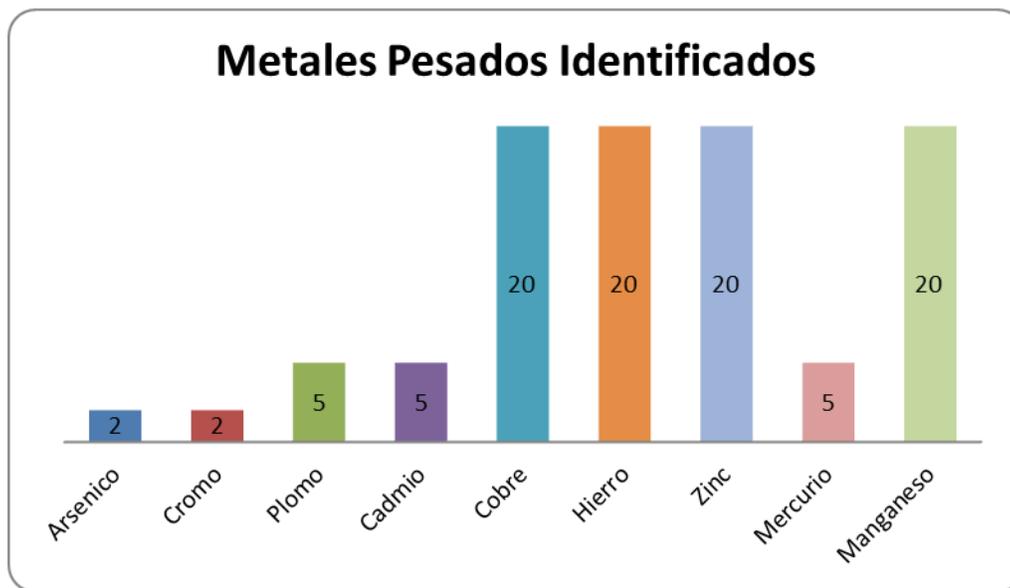


Figura 3. Metales pesados Identificados, Fuente: Elaboración propia

De los 25 laboratorios entrevistados, unicamente cinco prestan el servicio de identificación de metales pesados específicos como arsénico, cromo, plomo, cadmio y mercurio, el Laboratorio Nacional de Salud (LNS), Departamento de toxicología de la USAC, ECOSISTEMAS, LABLASER, para atención al público, AMSA realiza determinación de elementos pesados pero unicamente para los proyectos y municipalidades con los que trabajan actualmente.

La determinación de metales pesados con fines de toxicidad se realiza principalmente en muestras de agua con fines de calidad de agua. La determinación en el suelo y en la planta lo realiza AMSA, y el Laboratorio Nacional de Salud. En el laboratorio de toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, se realiza este

tipo de análisis, pero con énfasis en alimentos y a nivel de grupo tóxicos y no en función a elementos pesados específicamente.

1.4.3 Equipo utilizado en la determinación de metales pesado

El equipo utilizado para la determinación de metales pesados en suelos y plantas con criterios de fertilidad (Manganeso, Zinc, Cobre, Hierro), se utiliza el espectrofotómetro de absorción atómica, (ver Figura 4) pero para la determinación de metales pesados como Cadmio, Plomo, Cromo, Arsenico se utiliza el Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito (ver Figura 7), otro inconveniente en la determinacion de metales pesados, es que el método de extracción por medio de digestión se realiza específicamente en horno de microondas (ver Figura 6). Con respecto al analisis de Mercurio se utiliza el equipo de generacion de hidruros (Ver Figura 5).



Figura 4: Generador de hidruros. Fuente: Laboratorio AMSA



Figura 5: Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito. Laboratorio AMSA



Figura 6: Horno de Microondas. Laboratorio AMSA.

De los 25 laboratorios entrevistados, LabLaser, Ecoquimsa, Laboratorio Nacional de Salud, el laboratorio de AMSA y el laboratorio de Toxicología de Ciencias Químicas y Farmacia, tienen este tipo de equipo, lo que permite una correcta extracción de metales pesados, basados en la Norma ISO 17025 los *Requisitos Generales para la Competencia de Laboratorios de Prueba y Calibración*. Es la normativa en la gestión de pruebas específicas y no de modalidad general para acreditar a un laboratorio. 1.4.4 Costo de análisis de metales pesados

1.4.4 Costo de análisis de metales pesados

precio por análisis de metales pesados, para muestras provenientes del suelo el precio oscila entre Q 150.00 a Q 200.00 (Zn, Mn, Cu, Fe), para metales pesados utilizando los accesorios para determinación de (Pb, Cd, Cr, Ar) oscila entre Q 350.00 a Q 800.00

El precio por análisis de metales pesados, para muestras provenientes de muestras de agua el precio oscila entre Q 150.00 a Q 200.00 (Zn, Mn, Cu, Fe), para metales pesados utilizando los accesorios para determinación de (Pb, Cd, Cr, Ar) oscila entre Q 500.00 a Q 800.00

1.4.5 Tiempo para entrega de resultados

El tiempo promedio utilizado para la entrega de resultados oscila entre 7 y 15 días hábiles para la entrega de resultados y 1 mes calendario si se utiliza para registro general.

1.5 Análisis de prioridad:

Dada la situación económica actual y ante la problemática de acumulación de metales pesados en mantos acuíferos, suelo, animales y plantas producto por actividades industriales, agrícolas y de explotación minera, se hace necesario la implementación de metodologías para el análisis de metales pesados.

El 60% de los laboratorios trabaja principalmente muestras provenientes de ríos, aguas residuales y agua potable, luego se realiza el análisis de suelos (40%), alimentos (20%), y otros tipos de análisis (5%).

El principal problema para la determinación de metales pesados es la mediana a baja demanda de los análisis de metales pesados, y la adquisición de los accesorios específicos del espectrofotómetro de absorción atómica, para la determinación de mercurio (generador de hidruros), para la determinación en base a partes por billón, de elementos pesados como cadmio, plomo, arsénico y cromo, extracción y purificación de las muestras con el horno de microondas.

El 80% de los laboratorios entrevistados realiza el análisis de metales pesados pero con fines de riego, para planes de fertilización y de agua potable, el análisis se realiza principalmente en Cobre, Zinc, Hierro, Manganeso, por medio de espectrofotometría de absorción atómica. Del total de laboratorios que realiza el análisis de metales pesados únicamente el 25% realiza el análisis de metales pesados con énfasis en toxicología.

Para el análisis de metales pesados con fines toxicológicos para seres vivos Cadmio, Plomo, Arsénico, Cromo es necesario un equipo especial para la determinación de los elementos a nivel de trazas datos que indican la toxicidad de un elemento en la vida de los seres vivos.

Para el análisis de mercurio, un elemento muy tóxico para el ser humano, por vías respiratorias y de ingestión, es necesario un generador de hidruros, del equipo mencionando, únicamente seis laboratorios Laboratorio Nacional de Salud, AMSA,

Lablaser, Ecosistemas, Universidad Francisco Marroquin, y el Departamento de Toxicología de la Facultad de Farmacia poseen este tipo de equipo.

El análisis de metales pesados en suelos y plantas con fines toxicológicos únicamente se realiza con residuos de pesticidas en el Laboratorio Nacional de Salud, LabLaser y el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Química y Farmacia. El análisis de metales pesados en suelo, únicamente lo realiza el Laboratorio Nacional de Salud solo bajo pedido especial, AMSA en investigaciones. El costo para el análisis oscila entre Q. 350.00 y Q. 800.00, el tiempo de entrega de resultados es de entre 15 a 25 días hábiles.

Por lo cual se hace necesario la creación de un laboratorio que cuente con el equipo indispensable para la determinación de metales pesados, con fines toxicológicos en las muestras de suelo, muestras de planta, actualmente se plantea que el laboratorio de la facultad de Agronomía de Análisis de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana", se adquiera el equipo faltante para que la determinación, sea más accesible al público en general.

1.6 Conclusiones

Se realizó un diagnóstico en los laboratorios que prestan servicio de análisis de suelo, planta, agua y otros, con fines de fertilidad, de calidad de agua, aguas residuales y con énfasis en realizar determinación de metales en medio ambiente.

El 80% de los laboratorios realiza análisis de metales pesados, los cuales identifican cobre, zinc, manganeso, hierro, principalmente con fines de fertilidad, calidad de agua y con fines de riego, únicamente Ecoquimsa, Laboratorio Nacional de Salud, LabLaser, AMSA, realizan análisis de metales pesados de plomo, cadmio, mercurio, cromo y arsénico porque poseen los accesorios necesarios en el espectrofómetro de absorción atómica (generador de hidruros, horno de grafito), además de equipo para la extracción y purificación de la muestra (horno de microondas).

Dentro de los laboratorios existentes la mayoría se especializa en el análisis de metales pesados en suelo, aguas residuales y alimentos con fines de toxicidad se encuentra el Laboratorio Nacional de Salud que se basa en las norma ISO 17025, ECOQUIMSA® laboratorio acreditado por el Ministerio de Ambiente para el análisis de metales pesados base ISO 17025, con base en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. El laboratorio de toxicología se encarga principalmente del análisis en alimentos. Inlasa y LabLaser empresas privadas que se encargan de este tipo de análisis lo realizan principalmente en alimentos y agua.

Los laboratorios anteriormente mencionados forman parte de la Red Nacional de Laboratorios de Salud y Ambiente; es una asociación técnica, científica, civil, no lucrativa, con personalidad jurídica, ajena a toda actividad política y religiosa; que reúne laboratorios guatemaltecos relacionados con la temática de salud y ambiente.

1.7 Bibliografía

1. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE). 2004 The 1998 Aarhus Protocol on heavy metals. US. Consultado 3 Set. 2010. Disponible en www.unece.org/env/lrtap/hm_h1.htm
2. García, I; Dorronsoro, C. 2007. Estudio de contaminación de metales pesados (en línea). España, Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Edafología y Química Agrícola, Unidad Docente e Investigadora. Consultado 30 marzo 2010. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/fact.htm>
3. Gutiérrez Loarca, CE. 2005. Plaguicidas químicos y su efecto en la salud humana. Tesis Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 61 p.
4. Holding, BV. 1998. Características químicas de los metales pesados. España, Universidad de Granada. Consultado 9 Mar 2010. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/fact.htm>
5. Schinitan, N 2004. Metales pesados y ambiente España. (En línea) Consultado 31 Jul 2010. Disponible en línea http://www.ecoportel.net/Contenido/Temas_Especiales/Contaminacion/Metales_Pesados_Ambiente_y_Salud
6. Silva Gómez, SE; Muños Orozco, A. 2007. Manual de contaminación de suelos. México, Universidad Autónoma de Chapingo. Consultado 30 mar 2010. Disponible en: [//redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf](http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf).
7. US Department of Labor. 2004. US Toxic metals. (En línea) Consultado 25 de Jun 2010. Disponible en línea. www.osha.gov/SLTC/metalsheavy/

1.8 Anexo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

BOLETA DE ENTREVISTADATOS GENERALES

Laboratorio Estatal, Universitario, Privado:

Localidad:

Dirección:

Responsable:

Correo electrónico y/o e-mail:

DATOS DE ANALISIS

El laboratorio presta servicio de:

Análisis de Suelo

Análisis Foliar

Análisis De Agua

Análisis de Alimentos

Rocas Minerales

Lodos

Aguas Residuales

Otro ---> Detallar: _____

| |
|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> |

Realizan la determinación de metales pesados en los análisis realizados en su laboratorio

Si _____

No _____

¿Qué metales pesados identifican?

En qué tipo de muestra realiza el análisis de metales pesados

Suelo

Agua

Planta

Alimentos

Otros especifique: _____

¿Qué equipo utiliza para la determinación de metales pesados?

En el análisis de metales pesados la determinación del elemento es Total o Fracción del total.

Total

Fracción del Total

¿Cuál es el costo por determinación por elemento?

Q 200.00

Q 300.00

Q 400.00

Q 500.00

Otro precio Especifique: _____

¿Cuál es el tiempo promedio para que el usuario para obtener resultados?

2 – 3 días hábiles

5 días hábiles

1 semana

2 semanas

CAPITULO II

EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE CINC EN TRES SUELOS DEL VALLE DE ALMOLONGA SOBRE DOS CULTIVOS, FRIJOL (*Phaseolous vulgaris* L.), Y APIO (*Apium graveolens* L.), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA. GUATEMALA C.A.

EVALUATION OF DIFFERENT LEVELS OF ZINC IN THREE SOILS OF THE VALLEY OF ALMOLONGA IN TWO CULTURES, BEANS (*Phaseolous vulgaris* L.), AND CELERY (*Apium graveolens* L.), UNDER GREENHOUSE CONDITIONS OF THE FACULTY OF AGRONOMY. GUATEMALA C.A.

2.1 Presentación

El municipio de San Pedro Almolonga, se ubica en la parte Este del departamento de Quetzaltenango, en la Región VI o Región Sur-Occidental, se encuentra a 3 km de la cabecera departamental de Quetzaltenango y a 208 km de la ciudad capital de Guatemala. La extensión territorial es de 20 km². Según el censo nacional 2009 existe una población de 13380 habitantes del cual el 90% es indígena.

El valle está rodeado por montañas, lo cual lo protege de las inclemencias del tiempo, especialmente en épocas donde la temperatura disminuye. Además, existen fuentes naturales de agua que permite el riego en la época seca lo cual favorece la producción intensiva de hortalizas obteniéndose hasta tres cosechas al año situación que ha provocado las aplicaciones de agroquímicos y de abonos orgánicos en cada ciclo de cultivo, este sistema de producción agrícola se ha venido desarrollando desde la década de los años 70, lo que ha ocasionado la acumulación de ciertos elementos en el suelo.

Entre los elementos acumulados se encuentra el cinc, elemento indispensable en la nutrición vegetal. Es componente del ARN polimerasa, participa en el mecanismo de formación de proteínas, también participa en la asimilación del NH_4^+ , el exceso afecta el desarrollo radical, clorosis en hojas nuevas, inhibe la absorción de hierro en las plantas.

En la presente investigación se evaluó el efecto de cinco niveles de cinc, en tres suelos sobre el rendimiento de materia seca y concentración de cinc en el tejido vegetal de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), y Apio (*Apium graveolens* L.) que son plantas que presentan susceptibilidad y tolerancia respectivamente a la aplicación de cinc, así mismo se evaluó la extracción de cinc de los suelos al final de la investigación. La investigación se efectuó a nivel de invernadero durante los meses de julio a diciembre del año 2010.

2.2 Definición del problema

Los agricultores del Valle de Almolonga han venido desarrollando el modelo de agricultura intensiva desde la década de los 70, modelo que exige el uso de agroquímicos, como insecticidas, fertilizantes, herbicidas y fungicidas.

Esta situación ha provocado la acumulación de cinc en los suelos del Valle de Almolonga, como lo reporta Pérez (2008) al realizar el Diagnóstico de cinc, cobre y manganeso en los suelos del Valle. Determinó un índice de $119 \text{ mg Zn Kg}^{-1}$, para los primeros 0.15m de profundidad. Este índice se encuentra muy por encima del rango de suficiencia ($1-2 \text{ mgkg}^{-1}$) reportando para la mayoría de los cultivos cuando se utiliza la solución extractora Mehlich I. Rodas en (2009) indica que la causa de la acumulación del cinc en los suelos se debe a la aplicación constante de fungicidas como Propineb (Antracol), Mancoceb (Dithane, Mancoceb) y Ziram (Ziram), productos que son usados frecuentemente en los programas de protección fitosanitaria que contienen cinc en su composición.

El exceso de cinc en las plantas, puede afectar el normal desarrollo de las mismas reduciendo los rendimientos y en casos extremos la muerte, y como consecuencia la economía de los agricultores. Además de afectar el desarrollo de la flora y fauna del suelo y la contaminación de mantos acuíferos por erosión o por lixiviación.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Marco conceptual

2.3.1.1 Contaminantes del suelo

García, (2005) indica que la contaminación del suelo es la presencia de compuestos químicos hechos por el hombre u otra alteración al ambiente natural del suelo. Esta contaminación generalmente aparece al producirse una ruptura de tanques de almacenamiento subterráneo, aplicación de pesticidas, filtraciones de rellenos sanitarios o de acumulación directa de productos industriales.

Los químicos más comunes incluyen derivados del petróleo, solventes, pesticidas y metales pesados. Éste fenómeno está estrechamente relacionado con el grado de industrialización e intensidad del y uso de químicos. De todos los contaminantes orgánicos son los fitosanitarios la causa más frecuente de contaminación.

A. Contaminantes orgánicos del suelo

García, (2007) explica que los contaminantes orgánicos fitosanitarios son productos de uso universal en agricultura para combatir los parásitos y enfermedades de las plantas, proteger a los cultivos de los agentes dañinos, (malas hierbas, algas, otros) y mejorar la calidad cualitativa y cuantitativa de la producción.

Dentro de estos contaminantes orgánicos encontramos de formulaciones de agroquímicos utilizados en la agricultura: los derivados halogenados, compuestos organofosforados, carbamatos, derivados de la urea y tiourea, y compuestos heterocíclicos, principalmente, Los mecanismos que rigen la evolución de los contaminantes orgánicos en el suelo son: 1. Procesos de acumulación (mecanismos físicos y de adsorción), 2. Procesos de degradación (descomposición química, fotoquímica y degradación biológica) 3. Procesos de transporte (difusión, lixiviación, volatilización y erosión).

B. Contaminantes inorgánicos

García, (2007) explica que los contaminantes inorgánicos están presentes en el suelo de forma natural pero en concentraciones reguladas por los ciclos biológicos asociadas a cada suelo. Pueden ser aportados al suelo a través de la actividad agrícola, ya que existen múltiples fuentes de materiales que pueden adecuar la reestructuración del suelo, como los abonos animales, los residuos forestales, los residuos domésticos, la turba y el mulch. La sobresaturación de alguno de ellos hace que se alcancen concentraciones considerables como contaminantes alterando así los ciclos de regulación.

C. Contaminación del suelo por la agricultura

García, (2007) explica que la aplicación intensiva de productos sintéticos a los cultivos, tales como fertilizantes, plaguicidas y otros, son la principal causa de contaminación del recurso suelo, en ellos un deterioro muy marcado y significativo que repercute en sus propiedades que lo hacen fértil, generando así un elevado riesgo para los consumidores de los alimentos, por las sustancias residuales que pudieran contener debido a una contaminación por el uso inadecuado y excesivo de sustancias químicas. Los plaguicidas pueden quedar retenidos en el complejo de cambio, esto es en las arcillas y en la materia orgánica, lo que puede provocar la pérdida de fertilidad del suelo. Esta pérdida es más atribuida a suelos con poca materia orgánica, con poca arcilla o arcillas de tipo caolinítico.

Al aplicar plaguicidas a una zona agrícola, gran parte del producto se pierde y se vierte al suelo. Asimismo, parte de lo aplicado sobre las hojas es arrastrado por el viento o por las precipitaciones, apareciendo finalmente en el suelo. El resultado es una acumulación de estos productos sobre el suelo en cantidades elevadas, lo que hace que provoquen alteraciones sobre la microfauna del suelo y toxicidades sobre ciertos vegetales, sobre todo aquellos que son más persistentes.

Los plaguicidas no se presentan de una forma homogénea en el suelo, si no que aparecen más concentrados en la superficie, pero sin un reparto uniforme. En general, la zona de acción se ejerce hasta una profundidad de 30 o 40 cm, aunque cerca del 50% del plaguicida vertido permanece en 2.5 cm. Frecuentemente, al añadir un plaguicida, se produce un aumento en el contenido de nutrientes, debido a la intensificación de las descomposiciones de la materia orgánica y a los microorganismos que mueren. Ciertos productos convierten elementos del suelo como el zinc y el manganeso en asimilables, produciendo intoxicaciones en algunas especies. Los elementos como el zinc y el arsénico suelen formar compuestos insolubles, pero si el suelo es ácido, pueden llegar a ser asimilables, produciendo cierta fitotoxicidad.

2.3.1.2 Cinc

Alloway, (2004) explica que el Zn fue uno de los primeros micronutrientes reconocido como esencial para las plantas. Además, es el micronutriente que con más frecuencia limita los rendimientos de los cultivos. A pesar de que es requerido en pequeñas cantidades, es imposible obtener rendimientos altos sin este micronutriente.

D. Dinámica del Cinc en el Suelo

Fassbender, (1984) indica que el contenido de cinc en suelos no contaminados esta entre 10 – 80 mg kg⁻¹. En suelo arenosos el contenido de cinc es más bajo que en suelos limosos. El cinc disponible en la solución del suelo es adsorbido/fijado especialmente por la materia orgánica del suelo. Además es adsorbido por los óxidos de hierro, aluminio y manganeso o fijado en la red de minerales arcillosos y silicatos. Una fijación adicional del cinc ocurre cuando el contenido de sulfatos y fosfatos en la solución del suelo es alto. La disponibilidad de cinc es fuertemente influenciado por el pH. La cantidad de cinc intercambiable disminuye con el aumento del pH la afinidad del cinc aumenta considerablemente contra los óxidos de hierro y manganeso.

En cinc se encuentra en suelos y rocas en la forma divalente Zn^{2+} . El carbonato de calcio también reduce fuertemente su disponibilidad. El encalado excesivo produce una deficiencia del elemento. Alloway, (2004) explica que el Cinc es adsorbido de una forma intercambiable por los minerales y la materia orgánica del suelo. El cinc se puede fijar sobre ciertos minerales como la bentonita, caolinita, moscovita, biotita, y vermiculita, bajo esa forma no es aprovechable por las plantas. En la fracción mineral de los suelos el cinc se encuentra principalmente en minerales ferromagnéticos, tales como la biotita, magnetita, hornablenda y sulfuro de Cinc (ZnS). Muchos de estos minerales son meteorizados y el cinc liberado se adsorbe probablemente a los coloides, como un catión divalente (Zn^{2+}) o forma complejos con la materia orgánica. El desplazamiento del Cinc por percolación es tan solo importante en suelos ácidos. Buenavides, (2010) en su estudio de elementos traza explica que el contenido promedio de zinc en los suelos, por otro lado, se encuentra entre 50-66 mg kg⁻¹, encontrándose en los suelos agrícolas un rango de variación de 10 a 300 mg Zn kg⁻¹suelo. Aproximadamente el 90% del cinc en el suelo se encuentra en esta última fracción no accesible a las plantas, la concentración típica de cinc ligado a los sitios de intercambio es de 0.1 a 2 mg.kg⁻¹, mientras que la concentración de cinc disuelto en la solución de agua del suelo es de 4×10^{-10} hasta 4×10^{-6} M. Los valores más bajos se observan en suelos calcáreos llegando hasta 10⁻¹¹M.

E. Factores que afectan la disponibilidad de Cinc en el Suelo

Alloway, (2004) indica que generalmente, los suelos de textura fina contienen más cinc que los suelos arenosos. Sin embargo, el contenido total de cinc en el suelo no indica cuanto de este nutriente está disponible para el cultivo. Varios factores determinan esta disponibilidad:

- **pH del suelo** — El cinc es menos disponible a medida que sube el pH del suelo. Aquellos suelos encalados a pH superiores a 6.0 pueden desarrollar deficiencias de cinc, especialmente en suelos arenosos. Las deficiencias no se presentan en todos los suelos con pH cercano a la neutralidad o alcalino, simplemente la probabilidad de deficiencia es mayor. La concentración de cinc en el suelo se reduce 30 veces por cada unidad de incremento en pH entre 5.0 y 7.0.

- **Alta cantidad de fósforo en el suelo** — Deficiencias de cinc pueden presentarse en suelos con una alta disponibilidad de fósforo. Varios cultivos han demostrado ser susceptibles al efecto de la interacción Zn-P. Altos niveles de cinc o de fósforo pueden producir antagonismo. La aplicación de uno de ellos (Zn o P), en un suelo con poca disponibilidad en ambos, puede inducir a un antagonismo. El pH del suelo complica más la interacción Zn-P. El aplicar fósforo en un suelo con niveles adecuados de cinc no produce deficiencia de cinc. Sin embargo, los especialistas sugieren que para obtener rendimientos altos es necesario aplicar 1 Kg de cinc por cada 20 kg de fosfato.
- **Materia orgánica** — Abundante cinc se puede fijar en las fracciones orgánicas de suelos con alto contenido de materia orgánica. También se puede inmovilizar temporalmente en los cuerpos de los microorganismos del suelo, especialmente cuando se aplican gallinaza. Por otro lado, la disponibilidad del cinc en suelos minerales está asociada con la materia orgánica. Niveles bajos de materia orgánica en el suelo son a menudo indicativos de una baja disponibilidad de cinc.
- **Lixiviación** — El cinc es adsorbido por los coloides del suelo. Esto ayuda a que este nutriente no se pierda por lixiviación y se mantenga en la zona radicular.
- **Suelos fríos y húmedos** — Las deficiencias de cinc ocurren temprano en el ciclo de crecimiento, en suelos fríos y húmedos de zonas templadas. En estas condiciones el crecimiento radicular es lento y las raíces no pueden absorber suficiente cantidad de cinc para satisfacer las necesidades de la planta. En ocasiones las plantas parecen superar esta deficiencia, pero los rendimientos podrían ya haber sido afectados significativamente.
- **Actividad biológica del suelo** — La disponibilidad de cinc es afectada por la presencia de cierto hongo en el suelo, denominado micorriza, que forma una relación simbiótica con las raíces de las plantas. Este hongo benéfico ayuda a la planta a absorber cinc.

F. Absorción del cinc por las plantas

En las plantas el cinc es adsorbido 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 Bonermiza (2006).

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.

Alloway, (2004) en cambio indica que la planta absorbe iones de Cinc de la solución del suelo principalmente como Zn^{+2} e hidróxido de Cinc (en pH altos). El suministro de Cinc para la planta es normalmente seguro en suelos con un pH < 6, debido a que la disponibilidad del Cinc aumenta con la disminución del pH. No obstante la absorción de Cinc se reduce con bajas temperaturas y en presencia de inhibidores metabólicos. La absorción del Cinc por la raíz se ve influenciada por otros elementos, como calcio, magnesio, hierro, manganeso y cobre (antagonismo). Sin embargo, el antagonismo de absorción más documentado es el que presenta en situaciones de exceso de fósforo.

La movilidad del Cinc dentro de la planta es muy baja. En las hojas viejas, es bastante inmóvil y se transloca con dificultad a los tejidos en crecimiento, sobre todo en plantas con deficiencia. Cuando los aportes de Cinc son altos, suele acumularse en los tejidos de la raíz (PPI 2000).

G. Funciones del Cinc en la planta

Las funciones del cinc en la planta según Alloway, (2004), es un componente esencial de la enzima RNA polimerasa responsable por la catalización de la síntesis del RNA influyendo así la formación de proteínas. Como componente de las enzimas, el Cinc cataliza la síntesis de la fructosa-6-fosfato, la cual es un importante metabolito de la glicólisis y por lo tanto de la fotosíntesis. Es esencial para estabilidad de los ribosomas. Se requiere en la síntesis del ácido indol-3 acético a partir del triptófano, el cual es importante para regular el crecimiento de la planta (actividad auxínica). Activa de forma específica la enzima glutámico deshidrogenada que está relacionada con la asimilación del amonio (NH_4).

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 (Buenavides 2010). 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 (Caballeros 1996).

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 (Marschner, 2002). El cinc influye en muchos de los procesos metabólicos de la planta no solo al actuar como un cofactor enzimático en determinadas metaloproteínas activándolas de forma inespecífica (Enolasa/glicolisis) y específica (Anhidrasa carbónica) sino al ser un componente de diferentes enzimas. Buenavides en 2010 indica que el contenido promedio de zinc en los tejidos que se considera adecuado para los cultivos cae en el rango de 15 a 50 mg kg^{-1}

H. Síntomas de deficiencia de Cinc

En magnoliopsidas se observa hojas pequeñas y arrosetadas con las puntas a menudo blancas. El crecimiento general de la planta es retardado (enanismo). En trigo, sorgo y maíz se presentan típicos puntos amarillo-blanquecinos que luego se convierten en franjas a lo largo de las nervaduras y pueden presentar una coloración rojiza como manchas. En frutales ocurre un entorchado de las hojas (roseta) debido a crecimiento corto de yemas terminales. El crecimiento de las ramas es inhibido y los brotes jóvenes mueren. Las hojas se caen prematuramente. En la vid se produce un incremento en el número de hijuelos y las uvas se quedan pequeñas. En hojas medianas y viejas aparecen manchas cloróticas con áreas muertas. Afecta los brotes primarios y no permite el desarrollo de raíces (Alloway, 2010).

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 (Marschner, 2002).

I. Exceso de Cinc

Es tóxico, pero las plantas poseen diferentes niveles de tolerancia. Algunas plantas pueden almacenar el exceso de cinc en sus vacuolas. En casos severos causa la muerte descendente de brotes. El crecimiento de las raíces es inhibido. Las hojas jóvenes muestran síntomas de clorosis. Induce la deficiencia de hierro (Alloway 2010).

Marschner, (1995) explica que cuando la cantidad de cinc es grande, la toxicidad de zinc puede ser fácilmente inducida a plantas no tolerantes en la inhibición de la elongación de las raíces en forma muy sensible. Muy a menudo, la toxicidad de zinc conduce a clorosis en las hojas jóvenes, esto puede ser una deficiencia inducida, de magnesio o hierro, debido a las radios de iones similar de cinc y hierro una cinc un Magnesio. La

deficiencia de manganeso puede ser inducido con alta cantidad de cinc en la planta disminuye en gran medida el contenido de manganeso de la planta. En las plantas de Frijol la toxicidad de cinc inhibe la fotosíntesis en varias etapas una a través de mecanismos diferentes, la actividad reduce la RuBP carboxilasa es presumiblemente causada por la competencia con el magnesio, y se inhibe la actividad de del fotosistema II, la sustitución de manganeso en las membranas tilacoides. Mientras que en las membranas tilacoides de las plantas de control cerca de seis átomos de manganeso y zinc Boht están obligados por cada 400 moléculas de clorofila, en virtud de la toxicidad de zinc, esta proporción cambia a dos en dos átomos de zinc y manganeso 30. Los niveles de toxicidad importante en las hojas de las plantas cultivadas son de tan baja como 100 mg.Zn g de peso seco a más de 300 mg.Zn g de peso seco, los valores de este último más típico.

J. Cultivos Tolerantes y Sensibles a la aplicación de Cinc

Dependiendo del lugar de origen, la aplicación de diferentes plaguicidas, la aplicación del cinc en diferentes cultivos puede demostrar diferente respuesta. Como se muestra en el Cuadro 2

Cuadro 2. Respuesta de los cultivos a las aplicaciones de cinc.

| Alta Respuesta | Mediana Respuesta | Baja Respuesta |
|----------------|---------------------|----------------|
| Fríjol | Cebada | Apio |
| Maíz | Papa | Avena |
| Arroz | Soya | Arvejas |
| Cítricos | Pasto Sudán | Col |
| Café | Remolacha azucarera | Centeno |
| Sorgo | Tomate | Lechuga |
| Duraznos | Alfalfa | Espárrago |
| Aguacate | Tréboles | Zanahoria |
| Cebolla | Algodón | Uvas |

Fuente: Alloway_Print 2004

K. Mecanismos de tolerancia de cinc en cultivos

Amaral en 2009 indica que algunas plantas solamente no son capaces de tolerar elevadas concentraciones de cinc, sino que tienen la capacidad de hiperacumularlos existen entre 100 a 200 especies que pueden acumular más de 1% de Zn de su peso seco. Contrario a los contaminantes de origen orgánico, los metales pesados no pueden ser degradados química u orgánicamente, por lo que una de las alternativas para la limpieza de los suelos contaminados con metales es la Fito extracción, la cual consiste en la absorción y acumulación de cinc en la parte aéreas de las plantas hiperacumuladoras.

Las plantas pueden acumular metales pesados dentro y fuera de sus tejidos, debido a su gran habilidad para adaptarse a las propiedades químicas del medio ambiente. Siendo así, pueden ser consideradas reservorios intermediarios a través de los cuales los metales pesados se mueven desde el suelo, al agua hasta llegar hasta los animales y el hombre. Las plantas pueden ser receptores pasivos de metales pesados, aunque también pueden ejercer control sobre las translocación o reinscripción de algunos elementos a través de reacciones fisiológicas específicas.

Las plantas pueden presentar diferentes mecanismos de tolerancia en respuesta al exceso de metales pesados, incluida la reducción del transporte a través de membrana, exclusión, formación de péptidos ricos en grupos tiólicos (fitoquelatinas y metalotioneínas) quelatación por ácidos orgánicos y aminoácidos, y compartimentación del metal en estructuras subcelulares. La hiperacumulación de metales pesados por plantas superiores es un proceso complejo, desarrollado en varias etapas: a) bioactivación de metales pesados en la rizosfera, b) transporte de metales a través de la membrana plasmática de las células radiculares, c) traslocación de metales a través del xilema, d) detoxificación y secuestro metales por la planta.

La primera barrera contra la entrada de los metales pesados en las plantas se expresa a nivel radicular. La mayoría de los metales posee una baja movilidad en el suelo y no son fácilmente absorbidos por las raíces de las plantas. Por lo que, tanto las raíces como la microbiota del suelo poseen mecanismos que pueden aumentar la

biodisponibilidad de los metales pesados en la rizosfera, como la secreción de protones, ácidos orgánicos, aminoácidos y enzimas. Es importante destacar que de una cantidad de iones asociados a la raíces, solo una parte es absorbida por las células. Una fracción significativa es absorbida por grupos cargados negativamente (COO^-) en la pared celular de las raíces. Es por ello que, es posible la existencia de plantas que acumulan valores significativos de metales en las raíces.

2.3.1.3 Investigaciones realizadas

En los últimos años la contaminación de los suelos ha cobrado importancia debido a los efectos nocivos a largo plazo que puede tener para la población humana, además de modificar el ecosistema existente, en países como Brasil, se han realizado diferentes investigaciones sobre el tema de toxicidad provocada por el cinc. En Guatemala se han realizado tres estudios sobre la situación actual de cinc en el área de producción hortícola en el Valle de Almolonga, Quetzaltenango.

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

Souza et.al. 2009 estudio suelos contaminados con metales pesados, en el cultivo de vid, en el estado de Sao Paulo. La investigación se realizó con el fin de identificar el origen de metales Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, Cr, y Cd, aplicando diferentes análisis estadísticos para demostrar que son contaminantes potenciales del suelo. La investigación consistió en la toma de 200 muestras de suelo tomadas a diferentes profundidades, utilizando para el estudio extracción por medio de DTPA, observando que las muestras superficiales (97%) y las muestras subsuperficiales (83%), del total de muestras presentaron rangos entre 46 mg.Kg-1 hasta 261.7 mg.Kg-1 de cinc, siendo en zonas de cultivo de vid de muchos años donde se presentó la mayor cantidad de cinc y cobre, debido a la aplicación de agroquímicos, entre ellos el Mancozeb.

M. Influencia de los metales pesado en el crecimiento de vetiver (*Zizanoides chrysopogon*) sobre minas de Cinc (Brasil)

La contaminación de suelos con alta cantidad de cinc también se evaluó en pruebas biológicas de vetiver (*Zezanoides chrysopogon*), la variable analizada consistió en la medición de la altura en diferentes estados de crecimiento de las plantas a los 30, 60 y 90 días, cosechando finalmente a los 120 días, la cual se observó que las plantas que crecieron en suelos con Cinc presentaron una reducción en significativa en el crecimiento, obteniendo medición promedio de 53.2 cm contra 119 cm. de las plantas en el tratamiento testigo (sin cinc), presentando diferencias significativas (p valor > 0.05). Además se concluyó que esta planta puede ser utilizada como una alternativa de fitorremediación debido a su amplio sistema radicular.

N. La toxicidad del Cinc y el cobre a las especies de Brassica: Implicaciones para la fitorremediación.

Ebbs al.et. (1997) realizó una investigación sobre la toxicidad de cinc y cobre en tres especies del género Brassica, con el fin de determinar si estas plantas mostraron suficiente tolerancia y la acumulación de metal que se utiliza para fitorremediar un sitio contaminado con estos dos metales pesados. Con pocas excepciones, tanto de raíz y peso seco de las tres especies disminuyó significativamente en presencia de metales pesados. El Cobre inhibe elongación de las raíces laterales en *B. rapa*, *B. napus*, y, en menor medida, *B. juncea*, mientras el cinc tendió a disminuir sólo diámetro de raíces laterales. El grado de eliminación de cinc y cobre se redujo en presencia de ambos metales, en comparación con los tratamientos de metales pesados individuales.

O. 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 cinc, las muestras de suelo contenían un promedio de 117 mgZn.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%), 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 disponibilidad de cinc en el suelo es la materia orgánica (Quishlaqi et al. 2007).

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

En el año 2007 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 mg Zn·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 mgZn·kg⁻¹ extraídos) , 48 horas (promedio 195 mgZn·kg⁻¹ extraídos), 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).

Q. Fijación y movilidad de cadmio y zinc en tres tipos de Suelos ácidos de Galicia, España.

En el año 2000 en España se estudió la retención y la movilidad de Cd y Zn fueron estudiadas en tres suelos ácidos de Galicia, España, los suelos fueron tratados con 500 mg kg⁻¹ de cadmio, 1.000 mg kg⁻¹ de zinc y una mezcla de ambos elementos. Se encontraron diferencias significativas en los tres los suelos. La mayor retención de cinc se encuentra en el suelo con un mayor contenido de materia orgánica, textura más fina, más capacidad efectiva de intercambio catiónico, y menor porcentaje de saturación de

Aluminio, el cinc tiene una movilidad es mayor que el Cd en los tres suelos. Las altas concentraciones de uno de los metales favorecen la movilidad e inhibe la retención de los otros (Andrade, et al 2000).

R. Diagnóstico general de las fuentes orgánicas e inorgánicas que aportan metales pesados (Cu, Zn, Mn) al suelo hortícola del valle de Almolonga, Quetzaltenango.

Pérez, (2008), realizó una investigación cuyo objetivo principal fue cuantificar la concentración de los metales cobre, cinc y manganeso en los suelos hortícolas, así como la disponibilidad de los mismos en las principales hortalizas cultivadas, obteniendo que el cinc y el cobre son elementos que se encuentran arriba de los niveles establecidos, la acumulación de los metales pesados es provocada por la aplicación de plaguicidas a base de Cinc. La figura 8 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 al suelo (Pérez, 2008).



Figura 7. Porcentaje de los fungicidas más utilizados por parte de los agricultores del municipio de Almolonga, Quetzaltenango. Fuente. Pérez, 2008

S. Diagnóstico general de la situación actual de la acumulación de cinc en el sistema hortícola del valle de Almolonga.

Rodas (2009) investigó sobre la cantidad de Antracol que utilizan los agricultores del Valle de Almolonga, para calcular y estimar la cantidad aplicada por ciclo de cultivo, y

además de la cantidad de cinc acumulado en el suelo por año, la cual concluyo que las aplicaciones de Antracol en el valle contribuyen de 60 a 174 kg de Zn por hectárea por año

T. Evaluación del efecto de dos fuentes de materia orgánica sobre la disponibilidad de cinc en los suelos forestales del Valle Hortícola de Almolonga Quetzaltenango.

Reyes (2011) investigó sobre el efecto de dos materias orgánicas (gallinza y lombricompost) sobre la disponibilidad de cuatro niveles de cinc (0.200,400 y 600 mg Zn.kg⁻¹ en los suelos forestales del Valle de Almolonga, a medida que aumenta el tiempo (720 y 1440 horas), concluyendo que la gallinaza en un nivel de 180 ton-ha⁻¹ provoca una menor disponibilidad de cinc, además el uso de lombricompost tiende a aumentar los niveles de cinc, y que la disponibilidad de cinc disminuye a medida que aumenta el tiempo.

2.3.2 Marco referencial

2.3.2.1 Localización y extensión territorial

La ubicación geográfica de la investigación se desarrolló en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicado a 14°33'11" latitud Norte 90°35'58" longitud Oeste, a una altura de 1502 msnm (Cordón 1990).

2.3.2.2 Condiciones Climáticas

La Ciudad de Guatemala se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado (Bh-st). El área de estudio posee una precipitación media anual de 1216.2 mm distribuidos en 110 días durante los meses de mayo a octubre, presenta una temperatura media anual de 18.3°C. Humedad relativa es del 79%. Y una insolación es de 6.65 horas por día.

2.3.2.3 Recurso Suelo del Municipio de San Pedro Almolonga

Simmons *et. al.* 1956 realizó un levantamiento de suelo en toda Guatemala indicando que el suelo del municipio de San Pedro Almolonga es de origen volcánico. El sub-suelo lo constituye una masa amorfa de material depositado, principalmente de arena con densidad alta y de color oscuro, de tipo basáltico mezclado en proporciones diversas con grava y piedras de tamaño considerable.

La parte superficial del suelo es de origen aluviónico en parte y otra parte es creada por el hombre al transportar e incorporarle altas cantidades de broza sea materia orgánica sin descomponer, la cual recolectan en las montañas vecinas. La capa superficial del suelo tiene una textura franco-arenosa y un espesor aproximado de 35 cm, los horizontes inferiores tienen una textura arena-franca. Los suelos de Almolonga pertenecen a las clases misceláneas, las que incluyen áreas donde algunas características geológicas u otros factores limitan su uso agrícola predominante, incluyendo los suelos aluviales y los conos volcánicos.

Dentro de los suelos aluviales no diferenciados, hay áreas que se pueden adaptar al cultivo de cosechas de corto periodo de crecimiento, ya que el área está sujeta a las inundaciones durante la época lluviosa. Los suelos de Almolonga pertenecen a la Serie de Suelos de Alotenango, los cuales se caracterizan por ser profundos, bien drenados, desarrollados sobre cenizas volcánicas recientes, su textura en el valle, franco-arenosa y en las laderas, arcillosa, con pH entre 6.2 y 6.9.

2.4. Objetivos

2.4.1 General

Generar información sobre el efecto de diferentes niveles de Cinc en los cultivos de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y Apio (*Apium graveolens* L.), en tres suelos del Valle de Almolonga, bajo condiciones de invernadero.

2.4.2 Específicos

- Evaluar el efecto de cinco niveles de cinc (0 – 100 – 200 – 400 – 800 mg kg⁻¹) sobre el rendimiento de materia seca y concentración de cinc en los cultivos de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y Apio (*Apium graveolens* L.), en tres suelos del Valle de Almolonga, bajo condiciones de invernadero.
- Evaluar el efecto de la aplicación de cinco niveles de cinc (0 – 100 – 200 – 400 – 800 mg kg⁻¹) sobre la extracción de cinc con la solución DTPA en tres suelos del Valle de Almolonga, bajo condiciones de invernadero.
- Determinar el nivel de cinc que afecta el desarrollo de la planta en los cultivos de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y Apio (*Apium graveolens* var. L.), bajo condiciones de Invernadero.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis de Estudio

La aplicación de 200 mg.kg⁻¹ de cinc en el cultivo de Frijol y Apio, producirá rendimientos de materia seca y concentración de cinc iguales para cada cultivo en los tres suelos evaluados.

2.6. Metodología

2.6.1 Metodología experimental

2.6.1.1 Características del material experimental

Se establecieron dos cultivos Frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad Proticta y Apio (*Apium graveolens*) var. Triumph.

2.6.1.2 Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con un Arreglo Trifactorial, debido a la utilización de un invernadero que presenta condiciones homogéneas.

2.6.1.3 Factores evaluados

Los tratamientos que se evaluaron son 3 factores de investigación: Factor 1 Suelo (F1 suelo forestal, F2 Suelo agrícola F3 suelo forestal mas materia orgánica) Factor 2 Cultivos: A1 Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) A2 Apio (*Apium graveolens* L.) Factor 3 Niveles de Cinc (N1 0 mg kg⁻¹, N2 100 mg kg⁻¹, N3, 200 mg kg⁻¹, N4 400 mg kg⁻¹, N5, 800 mg kg⁻¹)

Cuadro 3. Factores evaluados suelo, cultivo y niveles de cinc de la investigación.

| Factor 1 Suelo | Factor 2 Cultivo | Factor 3 Niveles de Cinc |
|---|--|--|
| F1 Suelo Forestal F2 Suelo Agrícola F3 Suelo Forestal + Materia Orgánica | A1 Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) A2 Apio (<i>Apium graveolens</i> L.) | N1 0 mg kg ⁻¹ N2 100 mg kg ⁻¹ N3 200 mg kg ⁻¹ N4 400 mg kg ⁻¹ N5 800 mg kg ⁻¹ |

Fuente: Elaboración propia

2.6.1.4 Unidad experimental

La unidad experimental estuvo compuesta por macetas de 1 kg de Suelo con dos plantas de cada cultivo a analizar. El total de unidades experimentales son treinta tratamientos por cuatro repeticiones total 120 unidades experimentales. Como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Arreglo general de los 30 tratamientos a analizar.

| TRATAMIENTO | SIMBOLOGIA | DESCRIPCIÓN | TRATAMIENTO | SIMBOLOGIA | DESCRIPCIÓN |
|-------------|------------|---|-------------|------------|--|
| T1 | F1A1N1 | Suelo forestal, cultivo de Frijol, 0 mg. Zn.Kg-1 | T16 | F2A2N1 | Suelo agrícola, cultivo de Apio, 0 mg. Zn.Kg-1 |
| T2 | F1A1N2 | Suelo forestal, cultivo de Frijol, 100 mg. Zn.Kg-1 | T17 | F2A2N2 | Suelo agrícola, cultivo de Apio, 100 mg. Zn.Kg-1 |
| T3 | F1A1N3 | Suelo forestal, cultivo de Frijol, 200 mg. Zn.Kg-1 | T18 | F2A2N3 | Suelo agrícola, cultivo de Apio, 200 mg. Zn.Kg-1 |
| T4 | F1A1N4 | Suelo forestal, cultivo de Frijol, 400 mg. Zn.Kg-1 | T19 | F2A2N4 | Suelo agrícola, cultivo de Apio, 400 mg. Zn.Kg-1 |
| T5 | F1A1N5 | Suelo forestal, cultivo de Frijol, 800 mg. Zn.Kg-1 | T20 | F2A2N5 | Suelo agrícola, cultivo de Apio, 800 mg. Zn.Kg-1 |
| T6 | F1A2N1 | Suelo forestal, cultivo de Apio, 0 mg. Zn.Kg-1 | T21 | F3A1N1 | Suelo forestal+ MO cultivo de Frijol, 0 mg. Zn.Kg-1 |
| T7 | F1A2N2 | Suelo forestal, cultivo de Apio, 100 mg. Zn.Kg-1 | T22 | F3A1N2 | Suelo forestal+MO, cultivo de Frijol, 100 mg. Zn.Kg-1 |
| T8 | F1A2N3 | Suelo forestal, cultivo de Apio, 200 mg. Zn.Kg-1 | T23 | F3A1N3 | Suelo forestal+MO, cultivo de Frijol, 200 mg. Zn.Kg-1 |
| T9 | F1A2N4 | Suelo forestal, cultivo de Apio, 400 mg. Zn.Kg-1 | T24 | F3A1N6 | Suelo forestal+MO, cultivo de Frijol, 400 mg. Zn.Kg-1 |
| T10 | F1A2N5 | Suelo forestal, cultivo de Apio, 800 mg. Zn.Kg-1 | T25 | F3A1N5 | Suelo forestal+MO, cultivo de Frijol, 800 mg. Zn.Kg-1 |

| | | | | | |
|-----|--------|---|-----|--------|--|
| T11 | F2A1N1 | Suelo agrícola, cultivo de Frijol, 0 mg. Zn.Kg-1 | T26 | F3A1N1 | Suelo forestal+MO, cultivo de Apio, 0 mg. Zn.Kg-1 |
| T12 | F2A1N2 | Suelo agrícola, cultivo de Frijol, 100 mg. Zn.Kg-1 | T27 | F3A2N2 | Suelo forestal+MO, cultivo de Apio, 100 mg. Zn.Kg-1 |
| T13 | F2A1N3 | Suelo agrícola, cultivo de Frijol, 200 mg. Zn.Kg-1 | T28 | F3A2N3 | Suelo forestal+MO, cultivo de Apio,20 0 mg. Zn.Kg-1 |
| T14 | F2A1N4 | Suelo agrícola, cultivo de Frijol, 400 mg. Zn.Kg-1 | T29 | F3A2N4 | Suelo forestal+MO, cultivo de Apio,400 mg. Zn.Kg-1 |
| T15 | F2A1N5 | Suelo agrícola, cultivo de Frijol, 800 mg. Zn.Kg-1 | T30 | F3A2N5 | Suelo forestal+MO, cultivo de Apio,800 mg. Zn.Kg-1 |

Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Manejo del experimento

2.6.2.1 Toma de muestras de suelo

Se obtuvo las muestras en un área específica del Valle donde se colectó aproximadamente 50 kg de suelo, en el área de producción agrícola y en el bosque cercano del área de producción. Para la toma de muestra del suelo la cual se realizó a una profundidad de 0 a 25 cm.

2.6.2.2 Preparación de la muestra

A partir de la toma de muestras, se procedió a secar, tamizar y homogenizar el suelo para evitar problemas de diferencia de datos al momento de realizar los análisis correspondientes

2.6.2.3 Análisis químico de suelos

Se realizó un análisis químico y físico de laboratorio con la solución extractora Merlich 1, y DTPA para la extracción y cuantificación de zinc inicial en los suelos, por medio del Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Además de conocer las características de los suelos.

2.6.2.4 Cálculo de la cantidad de solución de cinc a aplicar

Se realizó el cálculo de solución de cinc en base a sulfato de cinc el cual se suele utilizar como fuente de cinc de la forma siguiente, luego se llevó a cabo una dilución para la aplicación de cada tratamiento:

$$1000 \text{ ml Solución} = \frac{5000 \text{ mg Zn}}{1000 \text{ ml Solución}} * \frac{1 \text{ g Zn puro}}{1000 \text{ mg Zn puro}} * \frac{287.32 \text{ g ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O puro}}{65.38 \text{ g Zn Puro}} * \frac{100 \text{ g ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O puro}}{99.9 \text{ ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}$$

$$= 21.995 \text{ g de ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$$

$$= 21.995 \text{ g de ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$$

$$1000 \text{ gramos de Suelo} * \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ gramo de suelo}} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$1000 \text{ cm}^3 * 800 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} = 5000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} * V_2$$

$$V_2 = \frac{80000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} \cdot \text{cm}^3}{5000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1}}$$

$$V_2 = 160 \text{ cm}^3$$

$$1000 \text{ cm}^3 * 400 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} = 5000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} * V_2$$

$$V_2 = \frac{40000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} \cdot \text{cm}^3}{5000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1}}$$

$$V_2 = 80 \text{ cm}^3$$

$$1000 \text{ cm}^3 * 200 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} = 5000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} * V_2$$

$$V_2 = \frac{20000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} \cdot \text{cm}^3}{5000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1}}$$

$$V_2 = 40 \text{ cm}^3$$

$$1000 \text{ cm}^3 * 100 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} = 5000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} * V_2$$

$$V2 = \frac{10000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1} . \text{cm}^3}{5000 \text{ mg Zn.Kg}^{-1}}$$

$$V2 = 20 \text{ cm}^3$$

2.6.2.5 Preparación de suelo forestal más material orgánico

Con el fin de determinar la cantidad de materia orgánica en los suelos agrícolas se realizaron cálculos para ajustar la cantidad de materia orgánica el suelo forestal (3.86%) a la cantidad de materia orgánica presente en el suelo agrícola (7.86%) de la siguiente forma utilizando como fuente de material orgánico lombricompost que contenía (9.99%) de materia orgánica ajustando a la cantidad de un kilogramo por maceta:

0.0786 (1 kilogramos) = 432.90 g Lombricompost (0.10) + 567.09 g Suelo Forestal.

2.6.2.6 Tamizado y llenado de macetas:

Se procedió a tamizar el suelo proveniente del Valle de Almolonga y la zona boscosa aledaña al mismo, posteriormente se llenaran las macetas colocando un kilogramos de suelo por maceta.

2.6.2.7 Siembra y aplicación de los tratamientos:

Se aplicó el cinc se aplicaron los diferentes niveles de Cinc (0, 100, 200,400, 800 mg kg⁻¹), y se dejó 60 días de incubación antes de la siembra de las plántulas junto con una aplicación de nitrógeno a todos los tratamientos correspondiente a 50 kg/ha. Durante la siembra se colocó dos semillas por maceta del cultivo de Frijol, y dos pilones del cultivo de Apio

2.6.2.6 Riego:

Se aplicó riego a cada cultivo todos los días de la semana a una razón de 100 ml en los primeros 20 días y 200 ml a partir del día 21 hasta la cosecha del cultivo de Frijol. (45 días) y la cosecha del cultivo de Apio (71 días)

2.6.2.7 Cosecha:

Se recolectaron las plántulas de cada unida experimental de cada tratamiento a los 45 días en el cultivo de Frijol, y a los 71 días en el cultivo de Apio, y se procedió a realizar un análisis radicular y foliar de los cultivos, y un análisis del suelo.

2.6.2.8 Análisis químico de cinc en el suelo extraído con DTPA

Se realizó un análisis químico de laboratorio con la solución extractora DTPA, para posteriormente determinar la cantidad de cinc final en los suelos y la cantidad acumulada en las plantas, por medio del Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

U. Preparación de la solución extractora:

La solución utilizada para la extracción de cinc fue ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) 0.005M, cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.01 M, y trietanolamina (TEA $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) 0.1 M, ajustado a un pH de 7.3. Para un litro de solución se disolvieron 1.967 gramos de DTPA, 1.47 gramos de Cloruro de Calcio y 14.92 gramos de TEA (densidad 1.12 g/cm³ se utilizó 13.3 ml) en aproximadamente 20 ml de agua desionizada; se diluyó en 900 ml, se ajustó el pH a 7.3 +/- 0.05 con HCl 6N, se agitó y se diluyó a un litro de con agua de igual calidad. Esta solución se almacenó en un frasco de plástico (Lindsay et.al. 1978).

Se utilizó esta solución extractora ya que basado en investigaciones anteriores se demostró que los contenidos extraídos con DTPA han mostrado una buena correlación con la absorción de la planta, y estandarizado para extracción de cobre, cinc, manganeso

y hierro, en Italia (Rauret, 1998) también Borges et.al. (2008) y Boenermiza et. al. (2006) concluyen que el extractante DTPA se destacó como más sensible para diferencias área anómalas de las zonas contaminadas con elementos pesados.

2.6.2.9. Análisis de rendimiento de materia seca

Para el análisis de materia seca todas las muestras fueron secadas en un horno de convección forzada a temperatura de 65 °C durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante, luego fue triturada en un molino de acero inoxidable el cual posee un tamiz de 40 mesh

2.6.2.10 Análisis de cinc en la planta

Para el análisis de tejido vegetal se utilizó el método de combustión seca (O₂ + calor), el cual consistió en someter la muestra en un horno de 450°C de temperatura durante cuatro horas, luego se recuperó con HCl (ácido clorhídrico) 1N y se filtró. Las determinaciones se realizaron utilizando Espectrofotometría de Absorción Atómica.

2.6.3 Análisis de la información

Para el análisis de la información se utilizó el software *InfoStat*, versión 2008, Grupo InfoStat, versión Estudiantil por medio del análisis estadístico SC tipo III con un nivel de significancia del cinco por ciento.

2.6.3.1 Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\theta)_{ik} + (\beta\theta)_{jk} + (\alpha\beta\theta)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ij} : Variable de respuesta

μ : Media general

α_i : Efecto del cultivo $i = 1,2$

β_j : Efecto del suelo $j = 1,2,3$

θ_k : Efecto del Nivel de Cinc $K = 1,2,3,4,5$

ε_{ij} : Error experimental.

2.6.3.2 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).

2.7 Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados del análisis químico del suelo, procedente del Valle de Almolonga:

2.7.1 Análisis químico del suelo Agrícola:

El cuadro 5 indica que el pH del suelo se encuentra ligeramente ácido. Con base en los niveles críticos usados en el laboratorio de suelos en la solución Carolina del Norte. Los elementos, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cinc, hierro, manganeso se encuentran en niveles altos, no así el caso del cobre. La materia orgánica se encuentra ligeramente alta.

Cuadro 5. Análisis químico del suelo agrícola del Valle de Almolonga, Quetzaltenango.

| pH | mg.kg ⁻¹ | | cmol ⁽⁺⁾ .kg | | mg.kg ⁻¹ | | | | cmol ⁽⁺⁾ .kg | | | | | % | |
|-----|---------------------|-----|-------------------------|------|---------------------|-----|------|----|-------------------------|-------|------|------|------|-------|------|
| | P | K | Ca | Mg | Cu | Zn | Fe | Mn | CIC | Ca | Mg | Na | K | SB | M.O |
| 6.4 | 512 | 189 | 20.9 | 4.37 | 0.5 | 145 | 28.5 | 31 | 18.08 | 12.97 | 3.95 | 0.78 | 0.69 | > 100 | 7.86 |

Fuente: Laboratorio Salvador Castillo Facultad de Agronomía

2.7.2 Análisis químico del suelo Forestal

El cuadro 6 indica que el pH se encuentra moderadamente ácido, en base a los niveles críticos usados en laboratorio de suelos con la solución Carolina del Norte, fósforo nivel alto, calcio, magnesio, cinc y hierro presenta un nivel adecuado, potasio, cobre y manganeso se encuentran en niveles bajos, materia orgánica para ser un suelo forestal presenta un porcentaje bajo.

Cuadro 6. Análisis químico del suelo forestal del Valle de Almolonga, Quetzaltenango.

| pH | mg.kg ⁻¹ | | cmol(+).kg | | mg.kg ⁻¹ | | | | cmol(+).kg | | | | | % | |
|-----|---------------------|-------|------------|-----|---------------------|-----|------|----|------------|------|------|------|-----|-------|------|
| | P | K | Ca | Mg | Cu | Zn | Fe | Mn | CIC | Ca | Mg | Na | K | SB | M.O |
| 5.7 | 26.9 | 251.3 | 7.49 | 2.0 | 1.5 | 3.5 | 23.3 | 14 | 11.9 | 5.24 | 1.77 | 0.21 | 1.3 | 71.82 | 3.86 |

Fuente: Laboratorio Salvador Castillo Facultad de Agronomía

2.7.3 Análisis químico del suelo Forestal más material orgánico

El cuadro 7 indica que el pH se encuentra moderadamente alcalino, en base a los niveles críticos usados en laboratorio de suelos con la solución Carolina del Norte, fósforo nivel alto, calcio, magnesio, cinc y hierro presenta un nivel adecuado, cobre y manganeso se encuentran en niveles bajos, materia orgánica para ser un suelo forestal presente un porcentaje alto. El potasio se encuentra en nivel alto.

Cuadro 7. Análisis químico del suelo forestal más materia orgánica del Valle de Almolonga, Quetzaltenango.

| pH | mg.kg-1 | | cmol(+).kg | | mg.kg-1 | | | | cmol(+).kg | | | | % | | |
|-----|---------|------|------------|-----|---------|-----|------|----|------------|------|------|------|------|------|-----|
| | P | K | Ca | Mg | Cu | Zn | Fe | Mn | CIC | Ca | Mg | Na | K | SB | M.O |
| 8.3 | 28.9 | 2750 | 15.29 | 5.8 | 0 | 4.0 | 15.5 | 31 | 11.9 | 9.48 | 3.87 | 0.26 | 6.62 | >100 | 7.9 |

Fuente: Laboratorio Salvador Castillo Facultad de Agronomía

2.7.4 Extracción de cinc en los suelos evaluados

Se presentan los resultados de cinc en mg kg^{-1} , obtenidos con la solución extractora DTPA en los tres suelos evaluados, en Frijol y Apio (ver Cuadro 8)

En el cuadro ocho se observa el efecto de la aplicación de diferentes niveles de cinc los tratamientos en donde no se adicionó cinc permanecen con valores bajos a excepción del suelo agrícola en donde se observa un promedio de 144 mg kg^{-1} , esto provocado por la acumulación de cinc a través de los años.

Cuadro 8: Resultados de la extracción de cinc con DTPA en el suelo agrícola, forestal y forestal más materia orgánica.

| Identificación | | Suelo Agrícola | Suelo Forestal | Suelo Forestal + M.O. | Identificación | Suelo Agrícola | Suelo Forestal | Suelo Forestal + M.O. | |
|---------------------------------|----|----------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|-----|
| FRIJOL 0 ppm | R1 | 145 | 3.4 | 3.8 | APIO 0 ppm | R1 | 150 | 4.6 | 3.4 |
| | R2 | 150 | 2.4 | 2.6 | | R2 | 150 | 2.2 | 3.8 |
| | R3 | 145 | 2.4 | 1.8 | | R3 | 140 | 2.8 | 12 |
| | R4 | 145 | 2.8 | 2.4 | | R4 | 145 | 3.2 | 2.8 |
| FRIJOL 100 ppm | R1 | 190 | 95 | 50 | APIO 100 ppm | R1 | 240 | 95 | 55 |
| | R2 | 210 | 95 | 45 | | R2 | 270 | 80 | 45 |
| | R3 | 205 | 80 | 50 | | R3 | 235 | 70 | 50 |
| | R4 | 200 | 100 | 55 | | R4 | 275 | 82 | 55 |
| FRIJOL 200 ppm | R1 | 264 | 192 | 125 | APIO 200 ppm | R1 | 330 | 210 | 100 |
| | R2 | 252 | 198 | 110 | | R2 | 312 | 180 | 120 |
| | R3 | 282 | 222 | 130 | | R3 | 330 | 186 | 95 |
| | R4 | 276 | 204 | 120 | | R4 | 318 | 192 | 115 |
| FRIJOL 400 ppm | R1 | 440 | 400 | 240 | APIO 400 ppm | R1 | 440 | 400 | 200 |
| | R2 | 420 | 400 | 220 | | R2 | 440 | 360 | 220 |
| | R3 | 440 | 460 | 220 | | R3 | 420 | 360 | 200 |
| | R4 | 420 | 420 | 240 | | R4 | 440 | 400 | 210 |
| FRIJOL 800 ppm | R1 | 560 | 600 | 520 | APIO 800 ppm | R1 | 640 | 580 | 460 |
| | R2 | 580 | 660 | 460 | | R2 | 640 | 620 | 420 |
| | R3 | 560 | 600 | 520 | | R3 | 580 | 600 | 460 |
| | R4 | 500 | 640 | 480 | | R4 | 600 | 600 | 480 |

Fuente: Elaboración propia

En base al cuadro siete medida que se aumenta la cantidad de cinc aplicado, a partir los de 200 mg kg⁻¹, se observa que la acumulación en el suelo tiende a duplicarse, en el suelo forestal con materia orgánica, mientras que el suelo agrícola presenta una acumulación mayor provocada por la cantidad inicial reportada en el análisis de suelo (ver cuadro 5). A medida que se aumenta la cantidad de cinc aumenta la cantidad encontrada en el suelo, en las Figuras ocho y nueve se encuentra la cantidad de cinc acumulado en el suelo tanto en Frijol como en Apio.

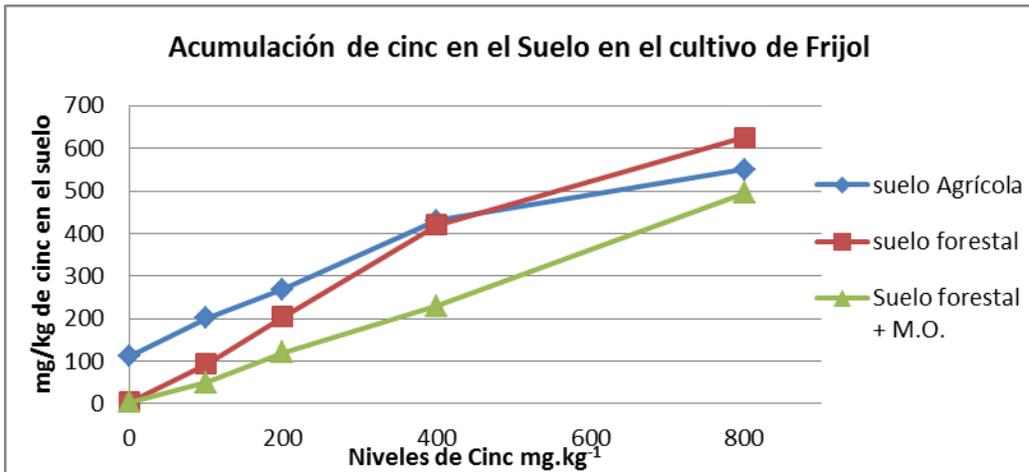


Figura 8: Acumulación de cinc en el suelo en el cultivo de Frijol, Fuente: Elaboración propia

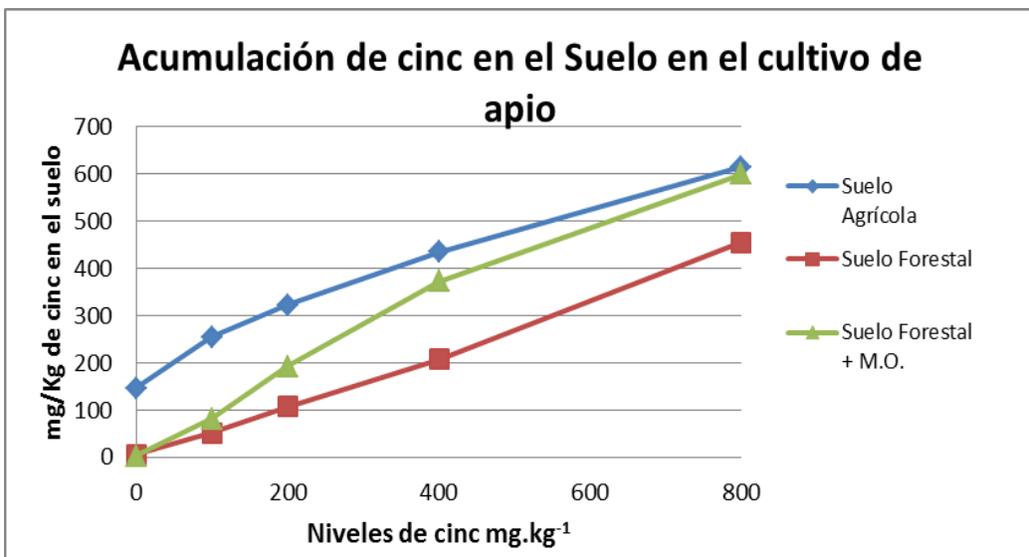


Figura 9: Acumulación de cinc en el suelo en el cultivo de Apio, Fuente: Elaboración propia

2.7.4.1 Análisis de varianza para la variable disponibilidad de cinc en el suelo

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico de extracciones de cinc en miligramos por kilogramo, al finalizar el experimento. Como puede observarse en el análisis de varianza (ver en el cuadro 19), al 5% de significancia existen diferencias significativas entre las interacciones de los tres factores, por lo cual se procedió a realizar un análisis post-ANDEVA que se presenta a continuación.

Cuadro 9. Prueba de Tukey para la interacción clase de suelo, tipo de cultivos y niveles de cinc en la extracción de cinc en el suelo con DTPA.

| Cultivo | Cinc | suelo | Medias | n | E.E. | |
|---------|--------|---------------|--------|---|------|---|
| FRIJOL | 800,00 | forestal | 625,00 | 4 | 8,25 | A |
| APIO | 800,00 | agricola | 615,00 | 4 | 8,25 | A |
| APIO | 800,00 | forestal | 600,00 | 4 | 8,25 | A |
| FRIJOL | 800,00 | agricola | 550,00 | 4 | 8,25 | B |
| FRIJOL | 800,00 | forestal + MO | 495,00 | 4 | 8,25 | C |
| APIO | 800,00 | forestal + MO | 455,00 | 4 | 8,25 | D |
| APIO | 400,00 | agricola | 435,00 | 4 | 8,25 | D |
| FRIJOL | 400,00 | agricola | 430,00 | 4 | 8,25 | D |
| FRIJOL | 400,00 | forestal | 420,00 | 4 | 8,25 | E |
| APIO | 400,00 | forestal | 380,00 | 4 | 8,25 | E |
| APIO | 200,00 | agricola | 322,50 | 4 | 8,25 | F |
| FRIJOL | 200,00 | agricola | 268,50 | 4 | 8,25 | G |
| APIO | 100,00 | agricola | 255,00 | 4 | 8,25 | G |
| FRIJOL | 400,00 | forestal + MO | 230,00 | 4 | 8,25 | H |
| APIO | 400,00 | forestal + MO | 207,50 | 4 | 8,25 | H |
| FRIJOL | 200,00 | forestal | 204,00 | 4 | 8,25 | H |
| FRIJOL | 100,00 | agricola | 201,25 | 4 | 8,25 | H |
| APIO | 200,00 | forestal | 192,00 | 4 | 8,25 | I |
| FRIJOL | 0,00 | agricola | 148,75 | 4 | 8,25 | J |
| APIO | 0,00 | agricola | 146,25 | 4 | 8,25 | J |
| FRIJOL | 200,00 | forestal + MO | 121,25 | 4 | 8,25 | K |
| APIO | 200,00 | forestal + MO | 107,50 | 4 | 8,25 | K |
| FRIJOL | 100,00 | forestal | 92,50 | 4 | 8,25 | L |
| APIO | 100,00 | forestal | 81,75 | 4 | 8,25 | L |
| APIO | 100,00 | forestal + MO | 51,25 | 4 | 8,25 | L |
| FRIJOL | 100,00 | forestal + MO | 50,00 | 4 | 8,25 | M |
| APIO | 0,00 | forestal + MO | 5,50 | 4 | 8,25 | N |
| APIO | 0,00 | forestal | 3,20 | 4 | 8,25 | N |
| FRIJOL | 0,00 | forestal | 2,75 | 4 | 8,25 | N |
| FRIJOL | 0,00 | forestal + MO | 2,65 | 4 | 8,25 | N |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p < 0,05$)

Fuente: Infostat estudiantil 2010

El Cuadro diez nos indica que al aplicar 100 mg kg⁻¹ la concentración de cinc en el suelo aumenta arriba de los rangos permisibles en el suelo agrícola, en el suelo forestal más materia orgánica y forestal la aplicación de 100 mg kg⁻¹ se encuentra arriba de los rangos permisibles en el cultivo de Frijol.

Cuadro 10: Resumen de datos promedio de extracción de cinc por DTPA en cultivo de Frijol.

| Suelo | 0 mg.kg-1 | 100 mg.kg-1 | 200 mg.g-1 | 400mg.kg-1 | 800 mg.g-1 |
|----------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| Agrícola | 149 J | 201 H | 269 G | 430 D | 550 B |
| Forestal | 3 N | 93 L | 204 H | 420 E | 625 A |
| Forestal + M.O | 3 N | 50 M | 121 K | 230 H | 495 C |

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro 11 nos indica que al aplicar 100 mg kg-1 la concentración de cinc en el suelo aumenta arriba de los rangos permisibles en el suelo agrícola, en el suelo forestal más materia orgánica y forestal la aplicación de 100 mg kg-1 se encuentra arriba de los rangos permisibles en el cultivo de Apio

Cuadro 11: Resumen de datos promedio, extracción de cinc por en cultivo de Apio

| Suelo | 0 mg.kg-1 | 100 mg.kg-1 | 200 mg.g-1 | 400mg.kg-1 | 800 mg.g-1 |
|----------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| Agrícola | 146 J | 255 G | 322 E | 435 D | 615 A |
| Forestal | 5.5 N | 51 L | 107 K | 207 H | 455 D |
| Forestal + M.O | 3.3 N | 82 L | 192 I | 273 E | 600 A |

Fuente: Elaboración propia

Según el cuadro 9 los tratamientos que presentan mayor cantidad de miligramos de cinc por kilogramo acumulado en el suelo son Suelo Forestal + 800 mg Zn.Kg⁻¹ en cultivo de Frijol, Suelo Agrícola* 800 mg Zn.Kg⁻¹ en cultivo de Apio, Suelo Forestal + 800 mg Zn.Kg⁻¹ en cultivo de Apio, lo que indica que la cantidad de cinc disponible fue de 625 y 615 mg.Zn.Kg⁻¹. Al aplicar cinc en el suelo forestal más materia orgánica se observa una cantidad de cinc lo que indica que la actividad de la materia orgánica no hizo disponible el cinc aplicado. El suelo forestal + 0 mg.Zn.Kg⁻¹, y el suelo forestal más materia orgánica presentan la menor cantidad de cinc acumulado en el suelo con 2.98 y 4.08 mg.Zn.Kg⁻¹, producto de los valores nutricionales bajos (ver Cuadro cinco). Los cuadros seis y siete, demuestran que la aplicación de 100 mg.Zn.Kg⁻¹, se encuentra arriba de los rangos

permitidos ($10 - 100 \text{ mg.ZnKg}^{-1}$, (Buenavides. 2010), la cantidad de cinc extraído en el suelo a medida que se aumenta la concentración aplicada reportándose una cantidad menor en los suelos forestales con materia orgánica, esto por la acción de fijación que tiene la materia orgánica (Alloway, 2004).

2.7.5 Análisis de varianza para la variable rendimiento de materia seca en Apio y Frijol.

A continuación se presenta un resumen de los resultados de materia seca del cultivo de Frijol y Apio en gramos, sobre 3 suelos analizados.

En el cuadro 12 se observa el efecto de la aplicación de diferentes niveles de Cinc. En los tratamientos en donde no se adicionó Cinc el rendimiento de materia seca en el cultivo de Frijol presenta una cantidad promedio de 3.84g, un valor muy cercano del promedio del suelo forestal con materia orgánica 3.59 g. a medida que se aumenta la cantidad de cinc el rendimiento baja significativamente tanto en el suelo agrícola como en el suelo forestal. Se marca una tendencia de una pérdida del 14.5% por a partir de la aplicación de 100 mg.Zn . Comparado con el testigo (0 mg/Kg de Cinc), se observa un mejor desarrollo planta en el suelo forestal con materia orgánica.

Cuadro 12. Resultados de rendimiento de materia seca en gramos por unidad experimental

| IDENTIFICACION | | Suelo Agrícola | Suelo Forestal | Suelo Forestal + M.O. | IDENTIFICACION | Suelo Agrícola | Suelo Forestal | Suelo Forestal + M.O. | |
|---------------------------|----|----------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------------------|------|
| FRIJOL 0 ppm | R1 | 3.896 | 1.676 | 3.628 | APIO 0 ppm | R1 | 5.08 | 3.02 | 5.28 |
| | R2 | 3.887 | 0.930 | 3.542 | | R2 | 5.19 | 2.79 | 6.13 |
| | R3 | 3.319 | 0.814 | 3.939 | | R3 | 5.13 | 3.16 | 5.46 |
| | R4 | 4.275 | 1.14 | 3.308 | | R4 | 6.40 | 2.88 | 5.51 |
| FRIJOL 100 ppm | R1 | 2.380 | 1.098 | 3.791 | APIO 100 ppm | R1 | 6.38 | 2.75 | 4.70 |
| | R2 | 2.489 | 0.862 | 3.175 | | R2 | 4.39 | 2.83 | 5.85 |
| | R3 | 3.365 | 1.164 | 3.155 | | R3 | 4.85 | 1.24 | 4.83 |
| | R4 | 2.608 | 1.268 | 3.489 | | R4 | 5.27 | 3.29 | 5.08 |
| FRIJOL 200 ppm | R1 | 2.457 | 1.121 | 2.303 | APIO 200 ppm | R1 | 4.02 | 2.62 | 4.94 |
| | R2 | 2.447 | 1.054 | 3.090 | | R2 | 5.82 | 3.14 | 5.33 |
| | R3 | 2.116 | 0.956 | 2.471 | | R3 | 5.59 | 2.94 | 4.91 |
| | R4 | 2.492 | 1.355 | 2.989 | | R4 | 5.13 | 0.89 | 5.63 |
| FRIJOL 400 ppm | R1 | 2.578 | 0.761 | 3.559 | APIO 400 ppm | R1 | 4.82 | 1.83 | 4.26 |
| | R2 | 2.389 | 0.656 | 2.314 | | R2 | 4.64 | 1.48 | 4.96 |
| | R3 | 2.707 | 0.804 | 3.106 | | R3 | 5.10 | 1.78 | 5.78 |
| | R4 | 2.294 | 0.825 | 3.217 | | R4 | 4.83 | 2.59 | 5.08 |
| FRIJOL 800 ppm | R1 | 2.267 | 0.4693 | 2.2 | APIO 800 ppm | R1 | 5.02 | 2.47 | 4.37 |
| | R2 | 1.613 | 0.478 | 3.398 | | R2 | 4.09 | 2.27 | 5.62 |
| | R3 | 2.51 | 0.378 | 3.169 | | R3 | 4.24 | 1.92 | 3.83 |

Fuente: Elaboración propia

El cultivo de Frijol se observa que a medida que se aumenta la concentración de cinc el rendimiento de materia seca disminuye ver Figuras 10 y 11.

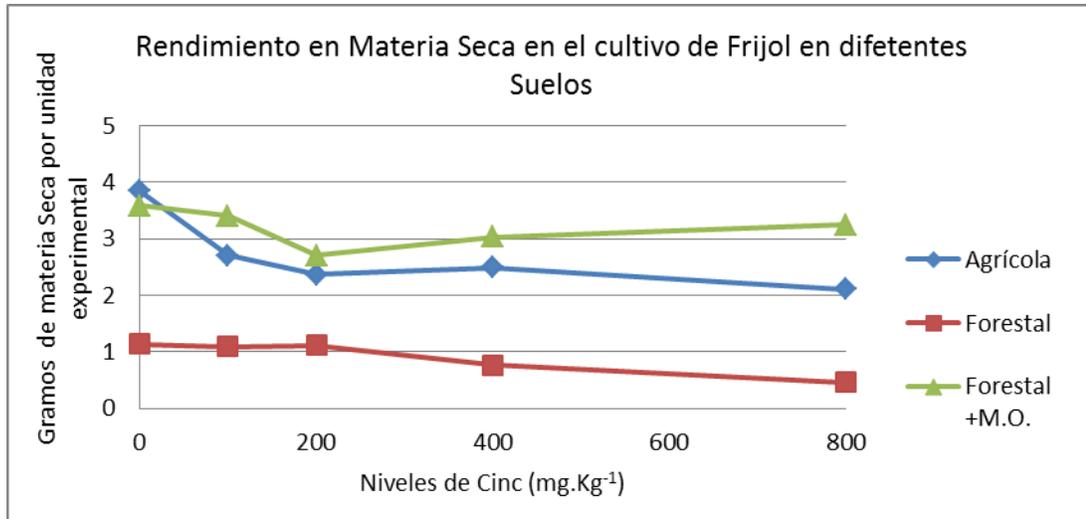


Figura 10: Rendimiento de materia seca en cultivo de frijol en diferentes suelos. Fuente: Elaboración propia

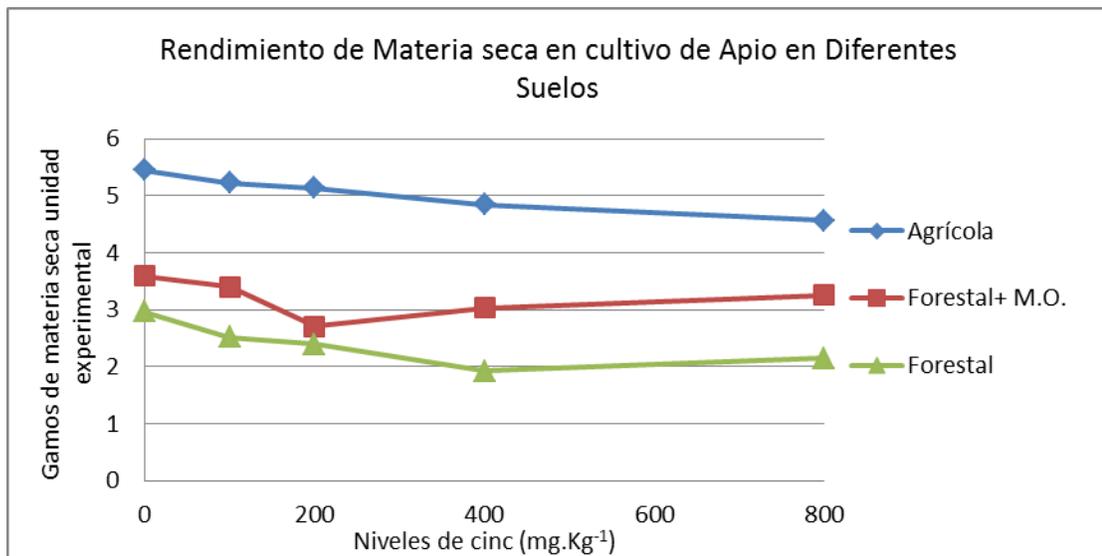


Figura 11: Rendimiento de materia seca en cultivo de apio en diferentes suelos. Fuente: Elaboración propia

2.7.5.1 Análisis estadístico para rendimiento de materia seca en cultivos de Frijol y Apio.

Antes los datos proporcionados se realizó un análisis de varianza al cinco por 0.05%, ver según análisis de varianza (ver cuadro 20), observándose que existen

diferencias significativas entre las interacciones de los tres factores, por lo cual se procedió a realizar una prueba de medias de tukey, que se presenta a continuación:

Cuadro 13. Prueba de tukey para la interacción tipo cultivos, origen del suelo y niveles de cinc en el rendimiento de materia seca.

| cultivo | cinc | suelo | Medias | n | E.E. | |
|---------|--------|---------------|--------|---|------|---|
| APIO | 0,00 | forestal + MO | 5,60 | 4 | 0,25 | A |
| APIO | 0,00 | agrícola | 5,45 | 4 | 0,25 | A |
| APIO | 100,00 | agrícola | 5,22 | 4 | 0,25 | B |
| APIO | 200,00 | forestal + MO | 5,20 | 4 | 0,25 | B |
| APIO | 200,00 | agrícola | 5,14 | 4 | 0,25 | B |
| APIO | 100,00 | forestal + MO | 5,12 | 4 | 0,25 | B |
| APIO | 400,00 | forestal + MO | 5,02 | 4 | 0,25 | C |
| APIO | 400,00 | agrícola | 4,85 | 4 | 0,25 | C |
| APIO | 800,00 | forestal + MO | 4,69 | 4 | 0,25 | C |
| APIO | 800,00 | agrícola | 4,57 | 4 | 0,25 | C |
| FRIJOL | 0,00 | agrícola | 3,84 | 4 | 0,25 | C |
| FRIJOL | 0,00 | forestal + MO | 3,60 | 4 | 0,25 | C |
| FRIJOL | 100,00 | forestal + MO | 3,40 | 4 | 0,25 | D |
| FRIJOL | 800,00 | forestal + MO | 3,25 | 4 | 0,25 | E |
| FRIJOL | 400,00 | forestal + MO | 3,05 | 4 | 0,25 | F |
| APIO | 0,00 | forestal | 2,96 | 4 | 0,25 | G |
| FRIJOL | 200,00 | forestal + MO | 2,71 | 4 | 0,25 | G |
| FRIJOL | 100,00 | agrícola | 2,71 | 4 | 0,25 | H |
| APIO | 100,00 | forestal | 2,53 | 4 | 0,25 | I |
| FRIJOL | 400,00 | agrícola | 2,49 | 4 | 0,25 | I |
| APIO | 200,00 | forestal | 2,40 | 4 | 0,25 | I |
| FRIJOL | 200,00 | agrícola | 2,38 | 4 | 0,25 | I |
| APIO | 800,00 | forestal | 2,15 | 4 | 0,25 | J |
| FRIJOL | 800,00 | agrícola | 2,12 | 4 | 0,25 | J |
| APIO | 400,00 | forestal | 1,92 | 4 | 0,25 | K |
| FRIJOL | 0,00 | forestal | 1,14 | 4 | 0,25 | K |
| FRIJOL | 200,00 | forestal | 1,12 | 4 | 0,25 | K |
| FRIJOL | 100,00 | forestal | 1,10 | 4 | 0,25 | K |
| FRIJOL | 400,00 | forestal | 0,76 | 4 | 0,25 | K |
| FRIJOL | 800,00 | forestal | 0,47 | 4 | 0,25 | K |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,01$)

Fuente: Infostat Estudiantil 2010

Por la complejidad del experimento y el análisis de medias de tukey, se realizaron cuadros resúmenes para cada cultivo 14 y 15, indican que en el cultivo de Frijol, los suelos agrícola y forestal más materia orgánica, cuando se le agrega 100 mg Zn.Kg⁻¹ el rendimiento disminuye significativamente un 14.63% y 7.4% respectivamente, en el suelo forestal los rendimientos son los más bajos, por los índices nutricionales del suelo y el efecto de la aplicación de cinc. Para el cultivo de Apio en los tres suelos el rendimiento a

partir de 100 mg.Zn.Kg⁻¹, presenta diferencias significativas al igual que en el cultivo de Frijol.

Cuadro 14. Rendimiento de materia seca en base a prueba de medias, en cultivo de Frijol

| Suelo | 0 mg.kg-1 | 100 mg.kg-1 | 200 mg.g-1 | 400 mg.kg-1 | 800 mg.g-1 |
|----------------|-----------|-------------|------------|-------------|------------|
| Agrícola | 3.84 C | 2.71 H | 2.37 I | 2.49 I | 2.11 J |
| Forestal | 1.14 K | 1.09 K | 1.12 K | 0.76 K | 0.46 K |
| Forestal + M.O | 3.59 C | 3.40 D | 2.71 G | 3.03 F | 3.25 E |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15. Rendimiento de materia seca en base a prueba de medias, en cultivo de Apio

| Suelo | 0 mg.kg-1 | 100 mg.kg-1 | 200 mg.g-1 | 400mg.kg-1 | 800 mg.g-1 |
|----------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| Agrícola | 5.54 A | 5.22 B | 5.14 B | 4.84 C | 4.56 C |
| Forestal | 2.96 G | 2.52 I | 2.39 I | 1.92 K | 2.15 J |
| Forestal + M.O | 5.60 A | 5.12 B | 5.20 B | 5.02 C | 4.69 C |

Fuente: Elaboración propia

Según el Cuadro 12 el tratamiento que presentan mayor cantidad de materia seca acumulada es el nivel de 0 mg.Zn, en el cultivo de Apio, en el suelo forestal con materia orgánica, al igual que el tratamiento del cultivo de Apio, con 0 mg.Zn, en el suelo agrícola, con la mayor acumulación 5.60 y 5.45 gramos presentando una media similar. Los suelos agrícola y forestal más materia orgánica, producen la mayor cantidad de materia seca. El suelo forestal produce el menor rendimiento de materia seca, esto es debido a la diferencia de nutrientes que poseen el suelo agrícola y forestal más materia orgánica.

El rendimiento de materia seca disminuye en ambos cultivos al aumentar la concentración de cinc en el suelo, siendo más evidente en el cultivo de Frijol, confirmando lo evidenciado por Alloway (2004).

2.7.6 Análisis de varianza para la concentración de cinc en las plantas de Apio y Frijol.

A continuación se presenta un resumen de los resultados miligramos de cinc por kilogramos de materia seca en el cuadro 16.

Cuadro 16. Resultados de la concentración de Zn (mg.Kg^{-1} de Materia seca) en los tres suelos evaluados y niveles de cinc

| Identificación | | Suelo Agrícola | Suelo Forestal | Suelo Forestal + M.O. | Identificación | | Suelo Agrícola | Suelo Forestal | Suelo Forestal + M.O. |
|---------------------------------|-----------|----------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|----------------|----------------|-----------------------|
| FRIJOL 0 ppm | R1 | 80.00 | 50.00 | 50.00 | APIO 0 ppm | R1 | 140.00 | 40.00 | 25.00 |
| | R2 | 105.00 | 35.00 | 35.00 | | R2 | 145.00 | 35.00 | 25.00 |
| | R3 | 120.00 | 35.00 | 45.00 | | R3 | 135.00 | 40.00 | 30.00 |
| | R4 | 105.00 | 50.00 | 40.00 | | R4 | 155.00 | 40.00 | 15.00 |
| FRIJOL 100 ppm | R1 | 125.00 | 200.00 | 55.00 | APIO 100 ppm | R1 | 195.00 | 155.00 | 95.00 |
| | R2 | 165.00 | 175.00 | 55.00 | | R2 | 185.00 | 120.00 | 60.00 |
| | R3 | 170.00 | 195.00 | 65.00 | | R3 | 225.00 | 155.00 | 80.00 |
| | R4 | 155.00 | 190.00 | 70.00 | | R4 | 200.00 | 135.00 | 85.00 |
| FRIJOL 200 ppm | R1 | 235.00 | 450.00 | 75.00 | APIO 200 ppm | R1 | 285.00 | 295.00 | 100.00 |
| | R2 | 200.00 | 550.00 | 65.00 | | R2 | 235.00 | 230.00 | 60.00 |
| | R3 | 210.00 | 550.00 | 55.00 | | R3 | 265.00 | 165.00 | 80.00 |
| | R4 | 200.00 | 450.00 | 60.00 | | R4 | 250.00 | 400.00 | 105.00 |
| FRIJOL 400 ppm | R1 | 500.00 | 1250.00 | 125.00 | APIO 400 ppm | R1 | 500.00 | 575.00 | 185.00 |
| | R2 | 400.00 | 1400.00 | 75.00 | | R2 | 550.00 | 900.00 | 150.00 |
| | R3 | 400.00 | 1400.00 | 75.00 | | R3 | 400.00 | 800.00 | 130.00 |
| | R4 | 350.00 | 1250.00 | 95.00 | | R4 | 450.00 | 725.00 | 125.00 |
| FRIJOL 800 ppm | R1 | 900.00 | 1450.00 | 140.00 | APIO 800 ppm | R1 | 1250.00 | 3625.00 | 240.00 |
| | R2 | 1150.00 | 1950.00 | 145.00 | | R2 | 1250.00 | 3125.00 | 100.00 |
| | R3 | 1000.00 | 1650.00 | 140.00 | | R3 | 1250.00 | 2750.00 | 240.00 |
| | R4 | 1200.00 | 1650.00 | 130.00 | | R4 | 1250.00 | 2625.00 | 170.00 |

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de diferentes niveles de cinc provoca una acumulación en las plantas de Frijol y Apio en los suelos agrícola y forestal, en cambio el suelo forestal más materia

orgánica, la concentración en ambos cultivos fue menor lo cual la amortiguación de la materia orgánica en la absorción/adsorción en la planta explicados por Alloway (2004), además los mecanismos de tolerancia (Amaral 2010), nos indica que el Apio tiene a ser una planta hiperacumuladora de cinc en sus tejidos, esto se demuestra por la alta concentración reportada en el suelo agrícola y forestal. Como puede observarse en las Figuras (12 y 13) se observa el comportamiento de la concentración de cinc en cada suelo y cultivo.

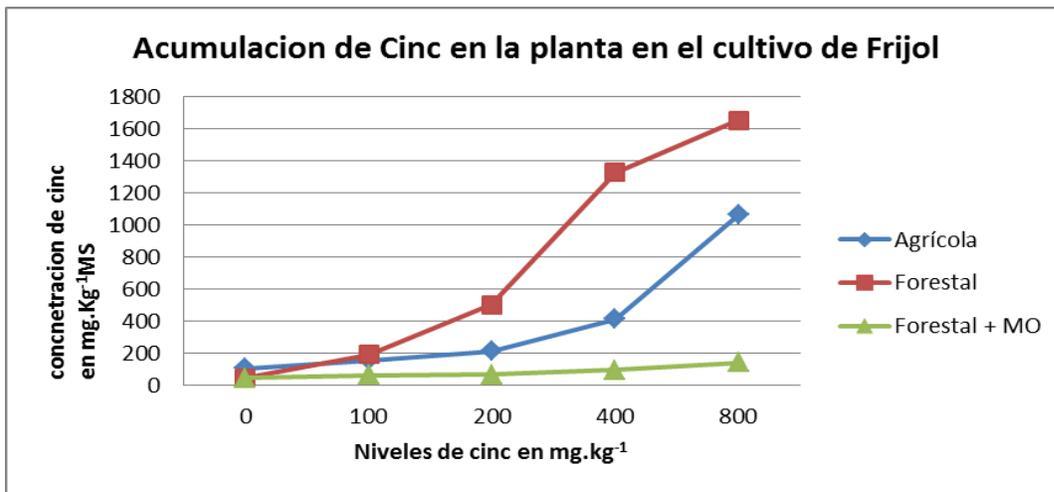


Figura 12: Acumulación de cinc en tejido vegetal en el cultivo de Frijol. Fuente: Elaboración propia

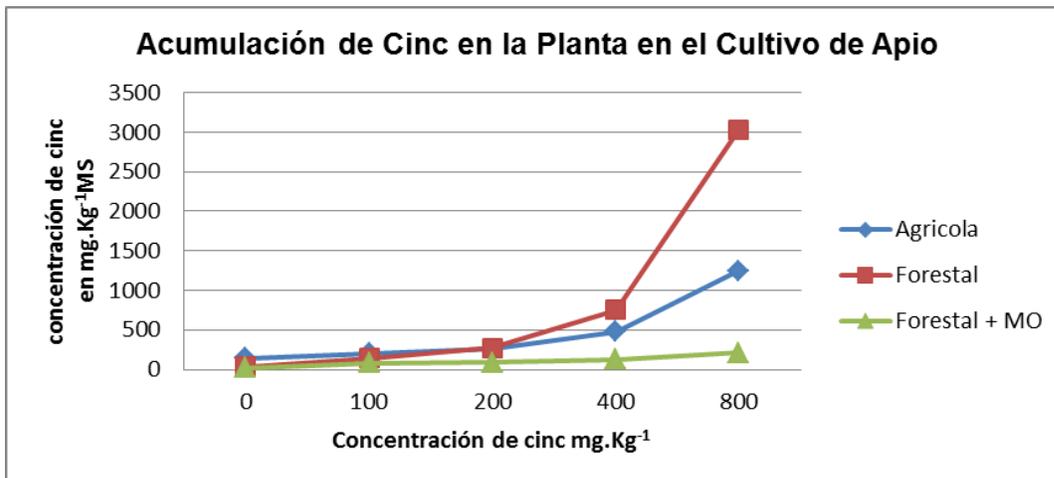


Figura 13: Acumulación de cinc en tejido vegetal en el cultivo de Apio. Fuente: Elaboración propia

2.7.6.1 Análisis estadístico para disponibilidad de cinc en el suelo.

Con base a los datos obtenidos en el análisis de varianza (ver cuadro 22) 5% de significancia, existen diferencias significativas entre las interacciones de los tres factores por lo cual se procedió a realizar una prueba de tukey que se presenta a continuación:

Cuadro 17. Prueba de tukey para la interacción tipo de cultivo, origen del suelo y niveles de cinc en la acumulación de cinc en la planta

| cultivo | cinc | suelo | Medias | n | E.E. | |
|---------|--------|-------------|---------|---|-------|---|
| APIO | 800,00 | forestal | 3031,25 | 4 | 51,64 | A |
| FRIJOL | 800,00 | forestal | 1675,00 | 4 | 51,64 | B |
| FRIJOL | 400,00 | forestal | 1325,00 | 4 | 51,64 | C |
| APIO | 800,00 | agrícola | 1250,00 | 4 | 51,64 | C |
| FRIJOL | 800,00 | agrícola | 1062,50 | 4 | 51,64 | C |
| APIO | 400,00 | forestal | 750,00 | 4 | 51,64 | D |
| FRIJOL | 200,00 | forestal | 500,00 | 4 | 51,64 | E |
| APIO | 400,00 | agrícola | 475,00 | 4 | 51,64 | F |
| FRIJOL | 400,00 | agrícola | 412,50 | 4 | 51,64 | F |
| APIO | 200,00 | forestal | 272,50 | 4 | 51,64 | G |
| APIO | 200,00 | agrícola | 258,75 | 4 | 51,64 | G |
| FRIJOL | 200,00 | agrícola | 211,25 | 4 | 51,64 | G |
| APIO | 100,00 | agrícola | 201,25 | 4 | 51,64 | G |
| FRIJOL | 100,00 | forestal | 190,00 | 4 | 51,64 | H |
| APIO | 800,00 | forestal+MO | 187,50 | 4 | 51,64 | H |
| FRIJOL | 100,00 | agrícola | 153,75 | 4 | 51,64 | H |
| APIO | 400,00 | forestal+MO | 147,50 | 4 | 51,64 | H |
| APIO | 0,00 | agrícola | 143,75 | 4 | 51,64 | H |
| APIO | 100,00 | forestal | 141,25 | 4 | 51,64 | H |
| FRIJOL | 800,00 | forestal+MO | 138,75 | 4 | 51,64 | H |
| FRIJOL | 0,00 | agrícola | 102,50 | 4 | 51,64 | H |
| FRIJOL | 400,00 | forestal+MO | 92,50 | 4 | 51,64 | H |
| APIO | 200,00 | forestal+MO | 86,25 | 4 | 51,64 | H |
| APIO | 100,00 | forestal+MO | 80,00 | 4 | 51,64 | H |
| FRIJOL | 200,00 | forestal+MO | 63,75 | 4 | 51,64 | H |
| FRIJOL | 100,00 | forestal+MO | 61,25 | 4 | 51,64 | H |
| FRIJOL | 0,00 | forestal+MO | 42,50 | 4 | 51,64 | H |
| FRIJOL | 0,00 | forestal | 42,50 | 4 | 51,64 | H |
| APIO | 0,00 | forestal | 38,75 | 4 | 51,64 | H |
| APIO | 0,00 | forestal+MO | 23,75 | 4 | 51,64 | H |

Fuente: Infostat Estudiantil 2010

El suelo agrícola, suelo forestal más materia orgánica y el suelo forestal presentan una diferencia significativa al aumentar la concentración a 200 mg.Zn.Kg⁻¹, según cuadros 17 y 18. En ambos cultivos se presentan diferencias muy marcadas en el suelo de origen forestal más materia orgánica con los resultados más bajos en la menor cantidad de cinc acumulado en la planta, demostrando el poder amortiguador reportado por Alloway 2004, y

en las investigaciones de Reyes 2011, Estevéz 2000, reportando la mayor cantidad de cinc retenido en el suelo, induciendo a una disminución en la absorción del cinc en la planta.

Cuadro 18. Datos promedio, cantidad de cinc en la planta (mg.Zn.Kg⁻¹MS), en base a cuadro de tukey, en cultivo de Frijol

| Suelo | 0 mg.kg-1 | 100 mg.kg-1 | 200 mg.g-1 | 400mg.kg-1 | 800 mg.g-1 |
|-----------------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| Agrícola | 145 H | 153 H | 211 G | 412 F | 1062 C |
| Forestal | 42 H | 190 H | 500 E | 1325 C | 1675 B |
| Forestal + M.O | 42 H | 61 H | 63 H | 92 H | 138 H |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19. Datos promedio, cantidad de cinc en la planta (mg.Zn), en base al cuadro de tukey, en cultivo de Apio

| Suelo | 0 mg.kg-1 | 100 mg.kg-1 | 200 mg.g-1 | 400mg.kg-1 | 800 mg.g-1 |
|-----------------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| Agrícola | 103 H | 201 H | 258 G | 475 F | 1250 C |
| Forestal | 38 H | 141 H | 272 G | 750 D | 3031 A |
| Forestal + M.O | 24 H | 80 H | 86 H | 147 H | 187 H |

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 17 demuestra que el tratamiento que presentan mayor cantidad de cinc acumulado en la planta es el suelo forestal en el cultivo de Apio que se le aplicó 800 mg.Zn presenta la acumulación en el tejido vegetal con 3031.51 mg Zn. El segundo lo presenta el suelo forestal en cultivo de Frijol que se le aplicó 800 mg.Zn con 1675.00 mg Zn. Arriba de los rangos permisibles en los cultivos de 15 a 50 mg kg⁻¹ de materia seca, se observó que al no aplicar cinc, en los cultivos se encuentran en similares condiciones 68.75 y 62.50 mg.Zn respectivamente.

2.8 Conclusiones

- El rendimiento de materia seca (g/planta), se ve limitado a medida que se incrementa los niveles de cinc. El nivel cinc de 100 de mg kg⁻¹, afecta negativamente el rendimiento de materia seca en el cultivo de Frijol y el cultivo de Apio, en los tres suelos evaluados.
- La concentración de cinc en la planta en el suelo agrícola y forestal, se vio afectado a partir del nivel de la aplicación de 200 mg kg⁻¹, en contraste el suelo forestal más materia orgánica presenta las más bajas concentraciones de cinc en materia seca en los cultivos de Apio y Frijol debido a la acción amortiguadora de la materia orgánica.
- concentraciones de cinc en materia seca en cultivos de Apio y Frijol, producto a la acción de la materia orgánica, producto de la acción amortiguadora.
- El nivel que afecta la extracción de cinc con la solución DTPA, en los tres suelos evaluados fue el de 100 de mg kg⁻¹, provocando un nivel tóxico arriba de los niveles normales para los cultivos.
- El nivel que afecta el desarrollo de los cultivos de Frijol y Apio, fue de 100 mg.Zn.Kg⁻¹, lo cual afecta el rendimiento de los cultivos.

2.9 Bibliografía

1. Alloway, B. 2004. Zinc in soils and crop nutrition (en línea). Belgium, International Zinc Associations. Consultado 22 set 2011. Disponible en http://www.zincworld.org/Documents/Communications/Publications/Zn_in_Soils_and_Crop_Nutrition_2008.pdf
2. Almeida, W. 1985. Vigilancia sistemática del ambiente; residuos de pesticidas. Brasil, Universidad Estatal de Campinas. Consultado 10 oct 2010. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/eco/003106/03106-04-B.pdf>
3. Amaral Sobrino, N; Blabín Arias, I; Sanchez Elías, S; Soares dos Santos, F; Valdés Carmenate, R. 2009. Mecanismos de hiperacumulación de metales pesados en plantas. Cuba, Universidad Agraria de la Habana. 16 p.
4. Borges, J; Vargas de Mello, W; Schaefer, C; Dussin, M; Pereira, W. 2008 Valores de referência local e avaliação por zinco em solos adjacentes a áreas mineradas no município de Vazantes-MG. Ci. Solo 32:2883-2893.
5. Bornemiza, E; Molina, E. 2006. Nivel crítico de zinc en suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. 20 p.
6. Buenavides Mendoza, A; Ramírez, H; Robledo, V; Fuente, LO; Sandoval, A. 2010. Elementos traza y calidad nutricional, casos del iodo, zinc y selenio. México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 10 p.
7. Caballero, R; Arguzo, M; Hernaiz, PJ. 1996. Acumulación y redistribución de elementos minerales. Argon 88(1):801-805.
8. Cordón Sosa, E. 1991. Levantamiento detallado de suelos del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 138 p.
9. Ebbs, S; Kochian, LV. 1997. Toxicity of zinc and copper to Brassica species: implications for phytoremediation. Journal of Environmental Quality 26(3):776-781.
10. Ehsan, M; Molumeli, P; Hernández, 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.
11. Estevéz, J; Marcep, P; Andrade, L; Montero, P. 2000. Fijación y movilidad de Cadmio y Zinc en tres tipos de suelos ácidos de Galicia. Ciencia del Suelo 1:28-35
12. Fassbender, H. 1984. Química de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 398 p.

13. García Navarro, SE; Muñoz Orozco, A. 2005. Contaminación del suelo: contaminantes específicos: metales pesados. España, Universidad de Extremadura. Consultado 10 oct 2010. Disponible en: <http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL4CEMetalesPesados.htm>
14. _____. 2007. Gestión y conservación de suelo; lección 4 contaminación de suelo (en línea). España, UNEX, Facultad de Ciencias, Área de Edafología y Química Agrícola. Consultado 12 mar 2010. Disponible en <http://www.unex.es/edafología/GCSP/GCSL4.htm>
15. Holding, BV. 1998. Características químicas de los metales pesados. España, Universidad de Granada. Consultado 9 oct 2010. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/fact.htm>
16. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Sección de Climatología, GT). 2010. Datos meteorológicos del municipio de Guatemala. Guatemala. 72 p.
17. Lindsay, WL; Norvell, WA. 1978. Development of DTPA soil test for cinc, iron, manganese and coper. Soil. Soc. Am. J.42:421-428.
18. Marschner, H. 1995. Nutrición mineral de plantas altas. 2 ed. San Diego, CA, US, Academic Press. 888 p.
19. _____. 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>
20. Pérez Reynoso, J. 2008. Estudio de la concentración de cobre, cinc y manganeso en los suelos hortícolas del valle de San Pedro Almolonga, Quetzaltenango, sometidos a una agricultura intensa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 83 p.
21. PPI (Potash and Posphate Institute, CA). 2000. Manual internacional de fertilidad de suelo. Canadá. 125 p.
22. Qishalqui, A; Moore, F. 2007. Statistical analysis of accumulation and souces of heavy metals occurrence in agricultural soils of Khoshk river Banks. Shiraz, Iran. American-Eurasian J. Agric & Environ. Sci. 2(5):556-573.
23. Reyes Escobar, JR. 2011. Evaluación del efecto de dos fuentes de materia orgánica sobre la disponibilidad de cinc en los suelos forestales del valle hortícola de Almolonga, Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 48 p.

24. Rodas Gaitán, HA. 2009. Diagnóstico general de la situación actual de la acumulación de cinc en el sistema hortícola del valle de Almolonga, Quetzaltenango. EPSA Diagnóstico. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 19 p.
25. Roongtanakiat, N; Osotsapar, Y; Yindirarn, C. 2009. Influence of heavy metals and soil amendaments on vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) grown in zinc mine soil. *Nat. Sci.* 43:37-49.
26. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
27. Universidad de Chapingo, MX. 2000. Guía del cultivo de Frijol. México, Agricultura en América Latina, Servi-Agro.com. Consultado 20 set 2011. Disponible en <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaCBasicos/Frijolprod1.pdf>

2.10. Anexos

Cuadro 20A. Análisis de varianza del experimento para la disponibilidad de cinc en el suelo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------------|-----|----------------|-------------------|------|
| Ppm de Cinc en suelo | 120 | 0,99 | 0,99 | 6,46 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|------------|-----|-----------|---------|---------|
| Modelo | 4632640,86 | 29 | 159746,24 | 586,10 | <0,0001 |
| cultivo | 378,79 | 1 | 378,79 | 1,39 | 0,2416 |
| Cinc | 3948904,02 | 4 | 987226,00 | 3622,07 | <0,0001 |
| suelo | 519184,83 | 2 | 259592,41 | 952,43 | <0,0001 |
| cultivo*Cinc | 4640,72 | 4 | 1160,18 | 4,26 | 0,0034 |
| cultivo*suelo | 22857,00 | 2 | 11428,50 | 41,93 | <0,0001 |
| Cinc*suelo | 132412,36 | 8 | 16551,55 | 60,73 | <0,0001 |
| cultivo*Cinc*suelo | 4263,14 | 8 | 532,89 | 1,96 | 0,0013 |
| Error | 24530,24 | 90 | 272,56 | | |
| total | 4657171,10 | 119 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 21A. Análisis de varianza para el rendimiento de materia seca

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------|------|----------------|-------------------|----|
| Materia Seca120 | 0,92 | 0,90 | 15,73 | |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|--------|-----|--------|--------|---------|
| Modelo | 280,59 | 29 | 9,68 | 37,44 | <0,0001 |
| cultivo | 109,44 | 1 | 109,44 | 423,51 | <0,0001 |
| Cinc | 11,50 | 4 | 2,88 | 11,13 | <0,0001 |
| suelo | 150,86 | 2 | 75,43 | 291,90 | <0,0001 |
| cultivo*Cinc | 0,55 | 4 | 0,14 | 0,53 | 0,7124 |
| cultivo*suelo | 3,73 | 2 | 1,87 | 7,22 | 0,0012 |
| Cinc*suelo | 1,71 | 8 | 0,21 | 0,83 | 0,5827 |
| cultivo*Cinc*suelo | 2,80 | 8 | 0,35 | 1,35 | 0,2278 |
| Error | 23,26 | 90 | 0,26 | | |
| Total | 303,85 | 119 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 22. Análisis de varianza concentración de cinc en las plantas de Frijol y Apio

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|--------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| ppm cinc en planta | 120 | 0,98 | 0,97 | 23,54 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|-------------|-----|------------|--------|---------|
| Modelo | 49298856,04 | 29 | 1699960,55 | 159,38 | <0,0001 |
| cultivo | 137025,21 | 1 | 137025,21 | 12,85 | 0,0005 |
| cinc | 21560121,67 | 4 | 5390030,42 | 505,36 | <0,0001 |
| suelo | 9927411,67 | 2 | 4963705,83 | 465,39 | <0,0001 |
| cultivo*cinc | 1710192,50 | 4 | 427548,12 | 40,09 | <0,0001 |
| cultivo*suelo | 29526,67 | 2 | 14763,33 | 1,38 | 0,2558 |
| cinc*suelo | 13259175,83 | 8 | 1657396,98 | 155,39 | <0,0001 |
| cultivo*cinc*suelo | 2675402,50 | 8 | 334425,31 | 31,36 | <0,0001 |
| Error | 959918,75 | 90 | 10665,76 | | |
| Total | 50258774,79 | 119 | | | |

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III

**SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, AGUA Y PLANTA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA" EN LA FACULTAD DE AGRONOMÍA.
GUATEMALA C.A.**

3.1 Presentación

El Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Universidad de San Carlos de Guatemala ubicado en la facultad de Agronomía, cuenta con los aparatos de tecnología para los respectivos análisis de suelo, planta y agua para el servicio de la comunidad Guatemalteca, no posee el suficiente personal para realizar las diferentes actividades, ya que este laboratorio recibe semanalmente una fuerte cantidad de muestras, no dándose abasto el personal para realizar los diferentes análisis requeridos, es por ello que se procedió al apoyo principalmente de los respectivos análisis químicos y físicos requeridos.

Otro servicio prestado fue el apoyo al proyecto 055-2009 de FODECYT, el cual consistió en la recepción, preparación y análisis físico y químico de 60 muestras provenientes del departamento de San Marcos, elaborándose un informe final con la interpretación de los resultados obtenidos.

Un servicio prestado a la comunidad correspondió a la capacitación de estudiantes de centros universitarios sobre el uso, manejo del diferente equipo y aparatos utilizados en el laboratorio, además del análisis de las diferentes metodologías utilizadas para las diferentes muestras recibidas en el laboratorio.

3.2 Apoyo al laboratorio de Suelo y Agua “Salvador Castillo Orellana”

3.2.1 Planteamiento del problema

El Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Agua “Salvador Castillo Orellana” de la Universidad de San Carlos de Guatemala ubicado en la facultad de Agronomía, cuenta con los aparatos de mayor tecnología para los respectivos análisis de suelos plantas y agua para el servicio de la comunidad Guatemalteca. El laboratorio es visitado por varias empresas agrícolas requiriendo análisis, este laboratorio no cuenta con el suficiente personal para realizar las diferentes actividades, y la fuerte demanda de la comunidad de Guatemala para realizar diferentes análisis de suelo, y la cantidad de muestras que ingresan semanalmente el personal no se da abasto para realizar los diferentes análisis requeridos, es por ello que se procedió al apoyo al proyecto mencionado, con los respectivos análisis químicos y físicos requeridos

3.2.2 Objetivo

- Apoyar con los respectivos análisis físicos y químicos de las muestras provenientes de diferentes fincas de Guatemala que ingresaban al laboratorio de suelos.

3.2.3 Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto se siguió la siguiente metodología

3.2.3.1 Recepción de la muestra

Las muestras se reciben tal como el encargado de la finca o unidad productora las envía al laboratorio, son ingresadas al denominado Libro de Ingresos, en el cual se anotan los diferentes datos de interés para el laboratorio con respecto a la procedencia de la muestra, así como la identificación de la misma.

3.2.3.3 Preparación de la muestra

El proceso de preparación de la muestra es el mismo tanto para los análisis físicos como para los análisis químicos.

3.2.3.3 Secado

Consiste en colocar las muestras sobre papel prensa, en mesas dentro del laboratorio en un lugar ventilado y a la sombra. El horno no es utilizado para secar las muestras ya que al someter la muestra a una alta temperatura, ésta puede sufrir modificaciones químicas. Es importante mencionar que en el papel en el cual se coloca la muestra se escriben las especificaciones de identificación de la muestra para mantener el control de cada una de las muestras ingresadas.

3.2.3.4 Reducción del tamaño de los agregados

Esta se realiza en los casos que es necesario, o sea, cuando las muestras vienen en agregados muy grandes, es necesario reducirlas para que las partículas puedan pasar por el tamiz de 2 mm y obtener una muestra homogénea, dicha práctica, se realiza golpeando los agregados con un mazo sobre una superficie sólida y plana cubierta con periódico.

3.2.3.5 Tamizado

Esta actividad, es realizada utilizando un tamiz de acero inoxidable (para no alterar las condiciones químicas del suelo), el cual posee un diámetro de malla de 2 mm, diámetro de partículas utilizado para la mayoría de análisis en el laboratorio.

3.2.3.6 Almacenamiento e Identificación

Las muestras tamizadas a 2 mm, son almacenadas en bolsas de plástico, las cuales están debidamente identificadas con la información de la muestra, de ésta manera se lleva el control de los distintos análisis, antes de ingresarlos al banco principal de datos con que cuenta el laboratorio. Las muestras tamizadas e identificadas se colocan en un lugar fresco y limpio, alejadas de los lugares donde puedan ser contaminadas, esto para garantizar la veracidad de los resultados.

3.2.3.7 Determinación de Nitrógeno total:

La determinación de Nitrógeno total en el suelo se realiza mediante el método Kjeldhal clásico o Kjeldhal modificado en algunas ocasiones. El proceso se desarrolla en dos etapas: Digestión: Por medio del ácido sulfúrico se destruye la materia orgánica. Este actúa como oxidante, los gases de H_2SO_4 que se forman a una temperatura de 338°C se disocian en forma de SO_3 y H_2O . El SO_3 se descompone en SO_2 y oxígeno, el oxígeno oxida el Carbono y el Hidrógeno de la materia orgánica para convertirlos en CO_2 y H_2O . El Nitrógeno se convierte en NH_3 que con el ácido Sulfúrico forma el Sulfato de Amonio. Destilación: Se realiza con hidróxido de Sodio (NaOH) mediante el cual el sulfato de Amonio se destila como amoníaco y se recibe en una solución de ácido Bórico (H_3BO_4). Posteriormente el NH_4^+ se titula con ácido Sulfúrico.

3.2.3.8 Determinación de Materia Orgánica

Se pesa aproximadamente 1 gr de suelo, se le adiciona 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N, se agita y se le añade 20 ml de H_2SO_4 concentrado, se agita unos 30" y se deja reposar durante 30 minutos. Para valorar la sal de Mohr se añade 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N y 20 ml de H_2SO_4 concentrado, se agita unos 30" y se deja reposar durante 30 min transcurrido el tiempo se le añade unos 200 ml de agua destilada y 10 ml de H_3PO_4 al 85% y se enfría con un chorro de agua. Se le añade 1 ml de la disolución de difenilamina y se valora con $(\text{SO}_4)_2\text{Fe}(\text{NH}_4)_2$ hasta que el color vire a verde manzana.

3.2.3.9 Determinación de Textura

Es una técnica rápida, ya que la muestra no presenta pre tratamientos. El hidrómetro mide la densidad del medio, que varía directamente con la cantidad de partícula que tiene en suspensión. Tiene una dispersión química por calgón y una dispersión física violenta por medio de batidor. Una vez realizada la dispersión, y obtenida la individualización de partículas, se procede a disponer la suspensión en un recipiente estandarizado colocando un densímetro o hidrómetro a tiempos preestablecidos. En nuestro caso las lecturas se realizan a los 40 segundos, y a las dos horas. El total de arenas se saca por diferencia. Para determinar las distintas fracciones de arena se debe realiza, un tamizado. Se debe registrar la temperatura del agua, ya que el método se estandarizó a 19.5 °C. Si difiere, se debe corregir según tabla. Con los datos obtenidos se construye un gráfico o se realiza una tabla de resultados

3.2.3.10 Determinación de pH

Se utilizó relación suelo-agua para la determinación del pH bien sea en peso o en volumen. En laboratorios se suele utilizar una relación suelo agua 1 : 2.5 volumen/volumen. El método de lectura, generalmente es el potenciométrico.

3.2.3.11 Determinación Capacidad de Intercambio Catiónico

La determinación de las bases (K, Ca, Mg, Na) se fundamenta en el equilibrio que se establece entre una solución extractora de Acetato de Amonio y la muestra del suelo donde se efectúa éste intercambio. Para este intercambio catiónico se utiliza $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N y neutro. Los cationes K, Ca, Mg, Na, se determinan en la solución extractora por espectrofotometría de absorción atómica. Se toman 10 ml de Suelo de suelo, se agregan 100 ml de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N y neutro se agita durante una (1) hora,

luego se filtra. Del filtrado se toman 24.5 mls y se agregan 0.5 ml de solución de Oxido de Lantano al 5% P/V. Se leen los cationes por Absorción atómica directamente.

3.2.3.13 Determinación de elementos disponibles

Este método fue desarrollado por Mehlich en 1953 y las estimaciones de la biodisponibilidad relativa de orto-fosfato (PO 4-P) en suelos ácidos con pH neutro y con una solución diluida de ácido doble, 0,05 N HCl - 0.025 NH₂ SO₄. Este método es principalmente para la determinación de fósforo en los suelos arenosos del este de Estados Unidos que tienen una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de menos de 10 cmol / kg y tienen un pH inferior a 6,5. El método es aplicable a la determinación simultánea de: potasio extraíble, calcio, magnesio, sodio y zinc. El contenido de P se determina espectrofotométricamente a 882 nanómetros a una acidez de 0,20 MH₂SO₄ al reaccionar con molibdato de amonio con ácido ascórbico como agente reductor en presencia de antimonio.

3.2.3 Resultados

3.2.3.1 Numero de muestras recibidas

Durante la duración del Ejercicio Profesional Supervisado se recibió la cantidad de 400 muestras provenientes de diferentes fincas, instituciones y proyectos de diferentes localidades de la República de Guatemala.

3.2.3.2 Extendido y secado de las muestras

Las muestras que ingresaban mensualmente se ingresaban los viernes y se dejaban secando el fin de semana, para tamizarlas los primeros días de la semana siguiente, y luego empezar a trabajarlas, con los respectivos análisis requeridos.

3.2.3.4 Análisis físicos y químicos

Las muestras tamizadas y embolsadas se procedía al ordenamiento de las muestras, provenientes de las diferentes fincas, para someterlas a los diferentes análisis

químicos y físicos que requerían como: M.O, pH, determinación de Nitrógeno total siendo estos los análisis donde más se colaboró en este proyecto.

3.2.4 Evaluación

Se logró cubrir el objetivo siendo satisfactoria debido a que del total de muestras ingresadas durante la duración del proyecto que fue de 400 muestras aproximadamente, se les logro realizar todos los análisis requeridos, en el tiempo establecido por el encargado del laboratorio en función Ing. Agr. Aníbal Sacbajá Galindo

3.3 Apoyo al proyecto FODECYT 055-2009 Evaluación y caracterización de la sucesión vegetal secundaria y propuestas para la restauración ecológica alrededor de áreas con pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) en San Marcos

3.3.1 Definición del Problema

Universidad de San Carlos de Guatemala ubicado en la facultad de Agronomía, cuenta con los aparatos de mayor tecnología para los respectivos análisis de suelos plantas y agua para el servicio de la comunidad Guatemalteca. El laboratorio es visitado por diferentes instituciones en el apoyo de investigaciones por su alta credibilidad en los resultados, y la asesoría técnica en la interpretación de los resultados, por lo cual el proyecto de FODECYT solicitó el análisis físico y químico de 60 muestras provenientes de los bosques de pinabete del departamento de San Marcos, es por ello que se procedió a realizar el servicio de realizar la recepción, análisis y elaboración de un informe final del proyecto mencionado.

3.3.2 Objetivo

- Apoyar con los respectivos análisis físicos y químicos requeridos por el proyecto FODECYT 055-2009, de las muestras provenientes de las áreas boscosas de San Marcos que ingresaban al laboratorio de suelos, durante la duración del proyecto.

3.3.3 Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto se siguió la siguiente metodología:

3.3.3.1 Ingreso de las muestras al libro de recibimiento

Se recibían las muestras al encargado del proyecto, verificando que coincidieran con la hoja de ingreso. Realizándose cada vez que ingresaban muestras al laboratorio.

3.3.3.2 Extendido y secado de la muestra

Se procedía al secado de la muestra a temperatura ambiente, extendiéndose en hojas de papel periódico con su respectiva identificación.

3.3.3.3 Tamizado de la muestra

Después del secado de la muestra a temperatura ambiente, se procedía a tamizar la muestra haciéndose pasar por un tamiz de 2mm de diámetro, guardándola en una bolsa de nylon para homogeneizarla e identificarla, para los respectivos análisis requeridos.

3.3.3.4 Análisis físicos

Dentro de los análisis físicos apoyaron fueron textura, densidad aparente, pH y conductividad eléctrica.

3.3.3.5 Análisis químicos

Esta actividad consistió en la determinación de materia orgánica, Bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, determinación de nitrógeno total y acidez intercambiable.

3.3.4 Resultados

3.3.4.1 Numero de muestras recibidas

Durante la duración del proyecto 60 muestras provenientes del departamento de San Marcos

3.3.4.2 Extendido y secado de las muestras

Las muestras que ingresaban mensualmente se ingresaban los viernes y se dejaban secando el fin de semana, para tamizarlas los primeros días de la semana siguiente, y luego empezar a trabajarlas, con los respectivos análisis requeridos.

3.3.4.3 Análisis físicos y químicos

Las muestras tamizadas y embolsadas se procedía al ordenamiento de las muestras, provenientes de las diferentes fincas, para someterlas a los diferentes análisis químicos y físicos que requerían como: M.O, pH, determinación de nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y preparación de muestras para bases intercambiables, siendo estos los análisis donde más se colaboró en este proyecto.

3.3.5 Evaluación

Se logró cubrir el objetivo de analizar las 60 muestras provenientes del área boscosa de San Marcos, realizándose todos los análisis requeridos en el tiempo establecido por el encargado del laboratorio. Además se realizó un informe final en la cual se ve el resumen del mismo en el anexo 2

3.4 Capacitación a estudiantes de centros regionales universitarios.

3.4.1 Definición del problema

El crecimiento poblacional en el aspecto educacional ha producido que la Universidad de San Carlos este abriendo Centros Universitarios cada vez mas cerca del lugar de origen de los estudiantes abriendo carreras los cuales no tiene la infraestructura, equipo o los insumos necesarios para cumplir con los requerimientos mínimos para impartir una cátedra. Ese es el caso de los Centros Universitarios recientemente creados en Chimaltenango, Quiché y Jutiapa, que existe la carrera de Ingeniero Agrónomo, en las cuales se imparte el curso de Edafología. Por medio de convenios con la (FAUSAC), se plantearon una serie de visitas al Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo Orellana”, con el fin de que los estudiantes conozcan el diferente equipo y las metodologías utilizadas para el análisis de suelo, planta y agua, para realizar la interpretación de los resultados de la manera indicada, por lo cual el servicio realizado fue una serie de pláticas con el fin de capacitar a los estudiantes de Agronomía de los Centros Universitarios Regionales.

3.4.2 Objetivo

- Realizar la capacitación de estudiantes de centros universitarios sobre el uso y manejo del diferente equipo y aparatos utilizados en el laboratorio.

3.4.3 Metodología

Como complemento al convenio realizado entre la Facultad de Agronomía y los Centros Regionales, se impartió una serie de capacitaciones para explicar a los estudiantes el uso y manejo de los diferentes aparatos utilizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo Orellana”. La capacitación se llevó a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio, con la participación de los diferentes trabajadores que realizan actividades dentro del laboratorio. Se utilizó pizarrón y marcadores para la

explicación de las diferentes metodologías empleadas en el laboratorio y una clase magistral en la explicación del equipo utilizados en el laboratorio.

3.4.4 Resultados

3.4.4.1 Capacitación en preparación de la muestra de suelo

Para la capacitación a grupos de cinco estudiantes se les asigno cinco muestras de suelo, con diferentes procesos en la preparación de la muestra. (Secado, Reducción de agregados, Tamizado, Almacenamiento e Identificación.) Se les indicó que el proceso de preparación de la muestra es el mismo tanto para los análisis físicos como para los análisis químicos .

- Secado que consiste en colocar las muestras sobre papel periódico, en mesas dentro del laboratorio en un lugar ventilado y a la sombra. Se le explicó que el horno no es utilizado para secar las muestras ya que al someter la muestra a una alta temperatura, ésta puede sufrir modificaciones químicas. Es importante mencionar que en el papel en el cual se coloca la muestra se escriben las especificaciones de identificación de la muestra para mantener el control de cada una de las muestras ingresadas.
- Reducción del tamaño de los agregados Ésta se realiza en los casos que es necesario, cuando las muestras vienen en agregados muy grandes, es necesario reducirlas para que las partículas puedan pasar por el tamiz de 2 mm y obtener una muestra homogénea, dicha práctica, se realiza golpeando los agregados con un mazo sobre una superficie sólida y plana cubierta con periódico.
- Tamizado esta actividad, es realizada utilizando un tamiz de acero inoxidable (para no alterar las condiciones químicas del suelo), el cual posee un diámetro de malla de 2 mm, diámetro de partículas utilizado para la mayoría de análisis en el laboratorio.

- Almacenamiento e identificación, las muestras tamizadas a 2 mm, son almacenadas en bolsas de plástico, las cuales están debidamente identificadas con la información de la muestra, de ésta manera se lleva el control de los distintos análisis, antes de ingresarlos al banco principal de datos con que cuenta el laboratorio. Las muestras tamizadas e identificadas se colocan en un lugar fresco y limpio, alejadas de los lugares donde puedan ser contaminadas, esto para garantizar la veracidad de los resultados.

3.4.4.2 Capacitación en la metodología para la determinación de textura

Durante la capacitación se les explico que es una técnica rápida, ya que la muestra no presenta pre tratamientos. Se le explicó el uso del hidrómetro. A cada grupo de trabajo se les asigno un suelo, el cual procedieron a pesar 50 g, y los colocaron dentro de la vasos de la licuadora.

Luego agregaron un dispersante químico calgón y una dispersión física violenta por medio de la licuadora. Una vez realizada la dispersión, y obtenida la individualización de partículas. Se procedió a colocar la muestra en un recipiente estandarizado colocando un densímetro o hidrómetro a tiempos preestablecidos. Se les enseñó a tener la lectura a los 40 segundos, y a las 2 horas. Luego se le explico cómo determinar la clase textura por medio de la siguiente metodología, el total de arenas se saca por diferencia. Para determinar las distintas fracciones de arena se debe realiza, un tamizado. Se debe registrar la temperatura del agua, ya que el método se estandarizó a 19.5 °C. Si difiere, se debe corregir según tabla. Con los datos obtenidos se construye un gráfico o se realiza una tabla de resultados

3.4.4.3 Metodología para la determinación de pH:

A cada grupo se le dio 5 muestras para la determinación de pH, el cual se realizó con una relación suelo-agua para la determinación del pH bien sea en peso o en volumen. En laboratorios se suele utilizar una relación suelo agua 1: 2.5 volumen/volumen. El método de lectura, generalmente es el potenciométrico. Además se les instruyo en la calibración del potenciómetro.

3.4.5 Evaluación

Se logró capacitar a los estudiantes provenientes de los Centros Regionales de Quiché y Jutiapa, los cuales adquirieron los conocimientos necesarios en el manejo del equipo de laboratorio de suelos, los temas impartidos fueron el manejo y preparación de suelo para el análisis, determinación de textura por el método de Bouyucus y la determinación de pH, además de explicarles magistralmente como interpretar los datos obtenidos.

3.5 Bibliografía

1. Díaz Romero, R. 1978. Metodologías de muestras de suelo, análisis químico de suelos, agua, tejido vegetal, e investigaciones en Invernadero. Costa Rica, CATIE. 61 p.
2. Chapman, H; Pratt, P. 1981. Métodos de análisis para suelos, plantas y agua. Trad. Contín Agustín. México. Trillas. 196 p.
3. Gómez Guzmán, ID. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 6 ed. Colombia, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 640 p.
4. Sacbajá, AO. 2011. Metodologías para el análisis en laboratorio de suelo (entrevista). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Laboratorio de análisis de suelos planta y agua. Facultad de Agronomía.
5. Schweizer, L; Coward, L; Vásquez, M. 1986. Metodología para análisis de suelo y planta. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 32 p.

3.6. Anexos

Cuadro 23A: Metodología utilizada en el análisis físico y químico de muestras de suelo analizadas

| Característica Determinadas | Metodología |
|--|--|
| pH | Relación 2.5 Agua – 1 Suelo Potenciómetro |
| Materia Orgánica | Combustion Húmeda de Warkley y Black |
| Textura | Método de Bouyoucus |
| Determinación de elementos disponibles | Mehlich I |
| Nitrógeno total | Método Kjeldahl estándar |
| Capacidad de Intercambio Catiónico | Método de lavado de bases con Acetato de Amonio y Cloruro de Sodio |
| Acidez Intercambiable | Metodologia de Kamprath |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 25A: Resumen del informe final de proyecto FODECYT 055-2009

Suelos potencialmente fértiles, con rangos adecuados y altos de materia orgánica, responsables de esa fertilidad. Suelos considerados entre fuertemente ácidos a ligeramente ácidos, influenciados por los contenidos de materia orgánica. Entre los índices nutrimentales considerados como deficientes se encuentra el p y el K en la mayoría de parcelas muestreadas. En relación a la propiedad física Textura, la fracción dominante lo constituye las arenas.

A continuación se discuten los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de suelo por localidad.

San José Ocotenango, San Marcos: Suelos que poseen una fertilidad potencial muy alta debido en gran manera por los contenidos de materia orgánica que se encuentran en los rangos de alto a muy alto. En cuanto al valor de pH son suelos considerados entre fuertemente ácidos a medianamente ácidos. Los índices de disponibilidad de nutrientes se

encuentra entre el rango de deficientes el P, Cu, Fe, en el rango de adecuados: Ca, Mg, K, y altos Ca, K, Mg, Zn. En cuanto a su clase textural la fracción dominante es la arena. Tacaná San Marcos: Suelos que poseen una fertilidad potencial mediana a alta, como lo demuestran los valores de CIC, debido en gran manera a los contenidos adecuados y altos de materia orgánica. El rango de pH se considera como medianamente ácido. Los índices de disponibilidad de los nutrientes analizados indican que se encuentran deficientes en Ca, Mg, P, K, Cu, Zn, y Fe. En el rango de adecuados: P, K, Ca, Mg. Y en el rango de altos. P y Mn. En cuanto a clase textural la fracción dominante la constituye la arena.

San Marcos: Se muestrearon varias localidades, el comportamiento de las propiedades físicas y químicas así como los índices de disponibilidad de nutrientes son similares a los grupos anteriores discutidos, en donde la fertilidad potencial de los suelos de las diferentes áreas muestreadas va de adecuada a alta como lo demuestran los valores de CIC (19 meq/100gr a 52 meq/100 gr), influenciada por los contenidos de la materia orgánica. Dentro de los índices de nutrientes limitante se encuentra el fósforo en un 90% de las parcelas muestreadas. La arena es la fracción dominante en los suelos.