

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS DE ELEMENTOS
MENORES Cu, Fe, Zn, Mn EN SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR DE
GUATEMALA, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

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

ERWIN LEONEL PALENCA BOCALETTI

En el acto de investidura como
INGENIERO AGRÓNOMO

EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

Guatemala marzo 2003.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T(2019)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

- | | |
|------------|---|
| DECANO | Ing. Arg. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA |
| SECRETARIO | Ing. Agr. EDIL RENE RODRÍGUEZ QUEZADA |
| VOCAL I | Ing. Agr. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO |
| VOCAL II | Ing. Agr. MANUEL DE JESÚS MARTÍNEZ OVALLE |
| VOCAL III | Ing. Agr. ERBERTO RAUL ALFARO ORTIZ |
| VOCAL IV | Br. WENER ARMANDO OCHOA OROZCO |
| VOCAL V | Br. JUAN MANUEL COREA OCHOA |

Guatemala, marzo 2003.

Señores:

Honorable Junta Directiva

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables Miembros:

De acuerdo con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a consideración de ustedes el trabajo de tesis titulado:

"EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS DE ELEMENTOS MENORES Cu, Fe, Zn, Mn EN SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR DE GUATEMALA, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO".

Como requisito, previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo; en el grado académico de Licenciado.

Respetuosamente,



Erwin Leonel Palencia Bocaletti

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Fuente de sabiduría

MIS PADRES

Carlos Palencia
Gilda Bocaletti de Palencia

MIS HERMANOS

Carlos Arturo y Marlon Palencia Bocaletti

MI ESPOSA

Yuma Elizabeth Villatoro de Palencia

MIS HIJOS

Hugo Leonel, Luis Francisco y Javier Alejandro

MIS ABUELOS

Carlos Atilio Bocaletti Grameño (Q.E.P.D.)
Laura Montúfar de Bocaletti (Q.E.P.D.)
Maria Luisa Palencia Morales (Q.E.P.D.)
Josefa Palencia Morales

MIS SUEGROS

Heberto Villatoro Palacios
Elena Alvarado de Villatoro

MIS SOBRINOS

Karla, Waleska, Natali, Marlon y José Carlos

MIS TIOS Y PRIMAS

Martha, Antonieta y Hugo Palencia
Martha Haidee e iris Mariel Gonzales

MIS CUÑADOS

Heberto, Carlos, Jeannette, Patricia, Cecilia

MI FAMILIA EN GENERAL

MIS AMIGOS EN ESPECIAL A

Humberto Corado, Armando Díaz, Axel Arana,
Elmer Orellana, Francisco Alonzo, Luis García,
Carlos Olmos, Daniel Santos, Marco T. Duarte,
Juan Corado, Thania Hernández, Victor Colo,
Osmán Hernández, Rony Suchini, Hector
Flores, Ana Silvia Flores, Oscar Mayorga,
Amilcar Calderón, Oscar Puente, Ramiro Guerra

MIS COMPAÑEROS AGRONOMOS

Efrain Morales, Fernando Gonzales, Fredy
Calderón, Hugo Jordan, Julio Sincal, Marlon
Rodriguez.

TESIS QUE DEDICO

A:

A mi País Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Agronomía

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores Ingenieros Anibal Sacbajá, Hugo Jordán Portillo por su orientación profesional y asesoramiento durante la realización del presente trabajo de tesis y al Ing. Jesus J. Chonay por sus consejos y apoyo.

Personal de Laboratorio de Suelo Agua y Planta de la Facultad de Agronomía de la USAC, por su apoyo y colaboración en la ejecución de las pruebas de laboratorio en especial a Ranferi Ampudia.

Ingeniero Byron González Ramírez mi más profundo agradecimiento por su colaboración para realizar los análisis estadísticos.

Centro de Investigación de la caña (CENGICAÑA) en especial al Ing. Ovidio Pérez

A mis padrinos de graduación Ingenieros. Marco Tulio Duarte, Juan José Corado, Jesús Adolfo Alvarado, Oscar Ponce

Todas aquellas personas, que de una u otra forma, colaboraron en la realización de las diferentes fases de este trabajo de tesis.



INDICE

CONTENIDO	PAGINA
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1 MARCO CONCEPTUAL	3
3.1.1 Características generales de los micronutrientes	3
3.1.2 Geoquímica del Cu, Zn, Fe, Y Mn	3
3.1.3 Adsorción de Cu, Zn, Fe, y Mn	5
3.1.4 Funciones del Cu, Zn, Fe y Mn en las plantas	6
3.1.5 Concentración de Cu, Zn Fe y Mn en el suelo y las plantas	7
3.1.6 Factores que influyen en la disponibilidad de Cu, Zn, Fe, y Mn	8
A. El pH	8
B. Materia orgánica	8
C. Textura del suelo	9
D. Antagonismo de iones	9
3.1.7 Diagnostico químico de la fertilidad del suelo	9
A. Selección de la solución extractora	9
B. Determinación de los niveles críticos	10
3.1.8 Soluciones extractoras utilizadas en otros países	10
3.2 MARCO REFERENCIAL	12
3.2.1 Descripción del área experimental	12
A. Localización del experimento	12
B. Características generales del área de estudio	12
C. Condiciones climáticas	12
D. Condiciones edáficas	13
4. OBJETIVOS	14
5. HIPÓTESIS	15
6. METODOLOGÍA	16
6.1 Fase de campo	16
6.1.1 Muestreo	16
6.2 Fase de laboratorio	16
6.2.1 Secado, tamizado, homegeneizado	16
6.2.2 Soluciones extractoras evaluadas	16
A. Carolina Del Norte	16
B. Olsen Modificado	17
C. Acido Clorhídrico	17
6.2.3 Estudio de sorción	17
A. Determinación de las cantidades de elementos a ser usados en el tratamiento óptimo	18
6.3 Planta indicadora	18
6.4 Diseño experimental	19
6.5 Unidad experimental	19
6.6 Variable evaluada	19
6.6.1 Rendimiento de materia seca	19

6.7 Manejo de la investigación	20
6.7.1 Siembra	20
6.7.2 Riego	20
6.7.3 Raleo	20
6.7.4 Fertilización	20
6.7.5 Cosecha	20
6.8 Análisis de la información	21
6.8.1 Rendimiento relativo	21
6.8.2 Nivel crítico	21
7. RESULTADOS y DISCUSION DE RESULTADOS	22
8. CONCLUSIONES	36
9. RECOMENDACIONES	37
10. BIBLIOGRAFÍA	38
11. ANEXOS	40

INDICE DE CUADROS

	PAGINA
1 Soluciones extractoras utilizadas en otros países	11
2 Climatología de las principales estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio	12
3 Características de los suelos en estudio	13
4 Concentración de elementos en las soluciones de tratamiento de sorción, diluidas a 100 mL.	18
5 Tratamientos evaluados	19
6 Materia orgánica, potencial de hidrógeno (pH) y fracción química extraída con Carolina del Norte de los suelos en estudio	22
7 Índice de cobre extraído con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de sorgo de los suelos estudiados	24
8 Índice de zinc extraído con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de sorgo de los suelos estudiados	27
9 Índice de hierro extraído con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de sorgo de los suelos estudiados	30
10 Índice de manganeso extraído con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de sorgo de los suelos estudiados	33
11.A Cantidad de nutriente agregado al suelo en base al estudio de sorción	41
12.A Cantidad de nutriente agregado en cada unidad experimental	42

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
1 Nivel crítico de cobre con la solución extractora Olsen Modificado	26
2 Nivel crítico de cobre con la solución extractora Acido Clorhídrico	26
3 Nivel crítico de zinc con la solución extractora Carolina del Norte	29
4 Nivel crítico de zinc con la solución extractora Acido Clorhídrico	29
5 Nivel crítico de hierro con la solución extractora Olsen Modificado	32
6 Nivel crítico de hierro con la solución extractora Acido Clorhídrico	32
7 Nivel crítico de manganeso con la solución extractora Carolina del Norte	35
8 Nivel crítico de manganeso con la solución extractora Acido Clorhídrico	35
9.A Curva de sorción de Fósforo (P)	43

v

EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS DE ELEMENTOS MENORES Cu, Fe, Zn, Mn EN SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR DE GUATEMALA, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

EVALUATION OF THREE EXTRACTION SOLUTIONS OF THE MINOR ELEMENTS Cu, Fe, Zn, Mn IN THE SOILS OF THE SUGAR CANE ZONE UNDER GREENHOUSE CONDITION SOUTHERN GUATEMALAN.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en dos fases; 1. Análisis químico a nivel de laboratorio y 2. bajo condiciones de invernadero, la fase de análisis químico se efectuó en el laboratorio de Suelo Agua y Planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y la fase de invernadero se llevó a cabo las instalaciones ubicadas en el Campus de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala localizado en la ciudad de Guatemala. El área de estudio está ubicada en la región sur del país específicamente en la zona cañera del departamento de Escuintla, y comprende de los 20 a 800 metros de altitud sobre el nivel del mar.

En este trabajo de investigación se evaluaron tres soluciones extractoras de elementos menores y se determinó el nivel crítico de la fracción disponible de cobre, zinc, hierro y manganeso de las soluciones extractoras que dieron los mejores resultados, de 17 suelos de la zona cañera del sur de Guatemala, la unidad experimental consistió en un vaso plástico con capacidad de 300 gramos de suelo.

En los resultados se determinaron los niveles críticos con las soluciones extractoras evaluadas que mostraron los mejores índices de extracción con los elementos menores estudiados; Cu, Zn, Fe y Mn, los cuales se describen a continuación, el nivel crítico para cobre con Olsen Modificado fue menor de 1.4 ppm, y con Acido Clorhídrico fue menor de 0.5 ppm, para Zinc con Carolina del Norte fue de 1.6 ppm, y con Acido Clorhídrico fue de 3.1 ppm, el nivel crítico para hierro con Olsen Modificado fue menor de 4.0 ppm, y con Acido Clorhídrico fue menor de 4.0 ppm y el nivel crítico para Manganeso con Carolina del norte fue menor de 5.0 ppm y con Acido Clorhídrico fue menor de 4.0 ppm.

1. INTRODUCCION

Los micronutrientes cumplen funciones muy importantes dentro de las plantas, Katyal y Randhawa (13), opinan que aunque la cantidad encontrada en las plantas es pequeña, todos ellos tienen que hallarse presentes en cantidades adecuadas para que la planta tenga un crecimiento y rendimiento adecuado, la disponibilidad de estos elementos está relacionada con múltiples factores del suelo del medio ambiente y de la planta misma.

Se han desarrollado metodologías para la extracción de micronutrientes del suelo, Sánchez y Guerrero (16,12), concuerdan en que la escogencia de una solución extractora se basa en la mayor o menor asociación o relación entre la cantidad del elemento extraído por la solución del suelo y la que realmente extrae la planta.

Romeu (7) menciona; que en un programa de evaluación y mejoramiento de la fertilidad de los suelos, el diagnóstico químico nos permite conocer el nivel nutricional disponible el cual enfoca su atención en el análisis de correlación entre los resultados analíticos de laboratorio y los obtenidos con ensayos en macetas.

En esta investigación se evaluaron tres soluciones extractoras, Carolina del Norte, Olsen Modificado y Acido Clorhídrico 0.1 N, Con el objeto de determinar los niveles críticos para cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) en 17 suelos ubicados en la zona cañera del sur de Guatemala, los niveles críticos se determinaron para las soluciones extractoras que dieron los mejores resultados en cuanto a índices de extracción de micronutrientes.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo básico del diagnóstico químico de suelos, es el de evaluar la capacidad de los suelos para suministrar nutrimentos a la planta. Las investigaciones realizadas en el país respecto a la evaluación de soluciones extractoras para micronutrientes Cu, Zn, Fe, Mn, actualmente es nula, el uso de las mismas por los diferentes laboratorios de análisis químico de suelos es variable, ya que cada laboratorio utiliza diferente solución extractora como por ejemplo; SOLUCIONES ANALÍTICAS utiliza Melich III, ANACAFE al igual que el ICTA utilizan Ácido Clorhídrico 0.1 N y la Facultad de Agronomía USAC utiliza Carolina Del Norte, el uso de esta metodología se basa en experiencias de otros países, tal como es confirmado por Aguilar et al (1), el análisis químico se emplea con éxito en los países económicamente desarrollados desde hace 60 años en contraste con los países en vías de desarrollo en los cuales no se han hecho investigaciones al respecto.

Esta situación motivó a realizar la presente investigación debido a que es necesario apoyarse en estudios científicos que nos permitan desarrollar conocimientos más amplios en cuanto al uso de las soluciones extractoras y su relación con la fracción disponible de los micronutrientes.

3. MARCO TEORICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Características generales de los micronutrientes

Fassbender (8), argumenta que los micronutrientes son requeridos en cantidades definidas y sus límites son bastante estrechos, sobre los cuales resultan tóxicos. Estos niveles tóxicos parecen ser independientes de las condiciones ecológicas en que crecen las plantas. El Cu, Zn, Fe, y Mn, se presentan en la solución del suelo, como cationes y en complejos quelatados, pudiendo ser absorbidos en ambas formas por las plantas. Muchos de estos cationes forman parte de los procesos enzimáticos en las plantas y animales.

Aunque la cantidad de micronutrientes encontrados en las plantas de cultivo es pequeña, todos ellos tienen que hallarse presentes en cantidades adecuadas para que la planta tenga un crecimiento óptimo y un rendimiento máximo (14).

3.1.2 Geoquímica del Cu,Zn,Fe,Y Mn

Entre las rocas madres, el basalto se conoce como una buena fuente de cobre (Cu), mientras que las calizas son, en general, bajas en el contenido del elemento (7). En rocas ígneas el cobre muestra diferencias conspicuas entre basalto y granito, confirmando que el más abundante de los minerales de cobre es la calcopirita (CuFeS_2) (13).

Fassbender (8), menciona que el hierro es un componente importante tanto de silicatos primarios como de minerales de arcilla. La mayoría de estos minerales de arcilla están compuestos principalmente con óxidos e hidróxidos frecuentemente hidratados y, por lo común, finamente divididos en los suelos donde tienen un papel decisivo en la coloración de los mismos. El óxido de hierro más corriente es la goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$), la hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), haciendo mención también a la lepidocrocita, la maghemita y la ferrihidrita (14).

Mortvedt et al. (14), mencionan que el hierro en rocas sedimentarias se encuentra en forma de hidrurosilicatos (glaucosita y camosita) y como un constituyente menor de minerales arcillosos tales como la montmorillonita y vermiculita, también sugieren que la relación férrico/ferrosa es más elevada en granitos que en basaltos.

Una proporción apreciable del zinc en el suelo, se encuentra en la fracción arcilla, así es poco sorprendente que los suelos arcillosos tengan frecuentemente contenidos más altos de este elemento (8).

En rocas sedimentarias, las concentraciones mayores de zinc son encontradas en los esquistos, así también como escasos gránulos diseminados de afalerita a menudo acompañados por la galena, a menudo en rocas de carbonato, pero también localmente en esquistos y arenas (14).

El zinc se mueve en las rocas sedimentarias, en parte como Zn^{2+} adsorbido en materiales de granulación fina y en la estructura de minerales de arcilla, probablemente sustituyendo al Mg^{2+} .

La cantidad de zinc en el suelo puede ser correlacionada aproximadamente con la cantidad presente en rocas de niveles inferiores, a pesar del hecho de que el elemento es suficientemente móvil para transportarse grandes distancias en aguas subterráneas y superficiales.

El contenido de las diferentes fracciones de manganeso en los suelos es muy variable, se encuentra en forma de distintos óxidos y óxidos hidratados, como parte de silicatos y carbonatos. Los tres minerales más comunes del Mn son, la biernesita, la litioforita y la hollandita (8).

El manganeso en su presencia geológica es notablemente similar al hierro, es de naturaleza electropositiva, mayor solubilidad de sus sulfuros, en rocas ígneas se presenta en minerales de silicato, en rocas sedimentarias es más abundante en calizas y dolomitas que en esquistos debido a su facilidad para reducirse a Mn^{2+} y a la similitud de solubilidad entre $MnCO_3$ y $CaCO_3$ (14).

3.1. 3 Adsorción de Cu, Zn, Fe, y Mn

Mortvedt, et al. (14) Han mostrado que el Cu tiene una constante de hidrólisis de $10^{-7.6}$ consecuentemente, a niveles de pH superiores a 7.0 la especie hidrolizada CuOH^+ estará presente en cantidades suficientes para ser importantes en reacciones de adsorción en comparación con el Cu^{2+} .

Estos mismos autores mostraron que más del 98 % del Cu en solución estaba en forma de complejos orgánicos, sugiriendo que en suelos neutros muy pequeñas cantidades de Cu^{2+} libre o acuoso están disponibles para reacciones de adsorción, además reportaron que la montmorillonita es capaz de adsorber Zn o Cu más allá de su capacidad de intercambio catiónico, particularmente a niveles de pH de casi neutros o alcalinos. El $\text{Cu}(\text{OH})^{2+}$ era la forma adsorbida por los minerales de arcilla, excepto en solución ácida de Cu diluida, considerando que una retención excesiva de Cu y Zn era principalmente el resultado de la precipitación de los hidróxidos respectivos (14).

Morvedt, et al. (14) reportan que en promedio, cerca del 60% del Zn en solución esta en forma de complejos, además relacionaron la adsorción del Zn por la montmorillonita con niveles de aumento de sílice ácido en solución, así también evidencian que en un amplio rango de niveles de pH y concentración de Zn, existía interacción entre el Zn y el sílice soluble que probablemente estaría restringida a una capa adsorbida de más que a una fase separada de Zn-silicato, encontrando que cerca del 75 % del Zn adicionado y retenido por los suelos durante periodos de reacción de un minuto, estaba en la forma hasta 2/3 de Zn intercambiable revertía a la forma no intercambiable extractable con ácido después de permanecer en reposo, de 5 a 1 % del Zn adicionado no era recuperado por extracción ya fuese con $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 1N o con HCl 0.1N.

La adsorción del Fe^{3+} por la kaolinita bajo condiciones que excluyan la precipitación era afectada por el contenido original presente en la arcilla. la cantidad de Fe adsorbido fue dependiente del pH. En niveles de pH de 2.0 a 2.7, la cantidad de Fe adsorbido estaba relacionado con la concentración de FeOH^{2+} en solución y en niveles de pH de 2.7 a 3.6 la cantidad correlacionaba con la concentración de $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, bajo condiciones reductoras tanto el Fe^{2+} como el Mn^{2+} , incrementaban su solubilidad hasta el punto en que se adsorben como iones intercambiables (14).

En suelos bien aireados los óxidos, hidróxidos y fosfatos de Fe y Mn podrían ser de primordial importancia en el control del nivel de estos micronutrientes en solución y en su disponibilidad para las plantas. Podría esperarse que las reacciones de adsorción que involucran al Fe y al Mn juegan un papel menor y quizá resientan únicamente un intermediario entre la fase de solución y precipitación de compuestos insolubles. También han mostrado que la adsorción del Fe por arcillas afecta la capacidad de intercambio catiónico (14).

Morvedt, et al. (14) evidencian que la adsorción de Mn por la materia orgánica del suelo se podría extraer de la mayor forma por el uso de varias sales minerales incluyendo CuSO_4 , CuCl_2 y ZnCl_2 , además utilizaron métodos espectrofotométricos y polarográficos para determinar que hasta el 93 % del Mn en solución del suelo existía en una forma en la cual estaban presentes diversos enlaces orgánicos (

3.1.4 Funciones del Cu, Zn, Fe y Mn en las plantas.

Morvedt, et al. (14) mencionan que hasta un 70 % del contenido de Cu de una planta se concentra en la clorofila. El hecho de que el citocromo oxidasa contenga Cu (así como Fe), establece un papel metabólico esencial para Cu.

El papel metabólico del Cu es evidente por su presencia en la oxidasa citocromica (3), también encontraron su presencia en cierto número de letaproteínas (13).

Morvedt, et al. (14) mostraron que cierto número de deshidrogenasas muestran sensibilidad a la deficiencia de Zn, en forma tal que el metabolismo puede ser afectado en forma fuerte y específica, así también estudiaron los papeles del Zn como componente esencial de una variedad de deshidrogenasas, proteínas y peptidasas.

Katyal y Randhawa (13) opinan que el Fe desempeña un papel capital en varios sistemas enzimáticos en los cuales el hemo o la hemita funciona como prostético, entre los que figuran las catalasas, las peroxidasas y varios citocromos.

Los citocromos hacen funcionar el mecanismo respiratorio de las células, el Fe forma parte de la clorofila y es indispensable para la biosíntesis de enzimas (3)

Morvedt, *et al.* (14) argumentan que el Fe es necesario para el mantenimiento de la clorofila en la plantas y es claramente esencial como componente de muchas enzimas y transportadores heme y no heme. Además mencionan que la reacción de Hill es específicamente inactivada por deficiencia de Mn y el contenido de Mn en los cloroplastos es disminuido dramáticamente, además, analizaron el Mn de cloroplastos y detectar 1/3 firmemente ligado a las membranas y 2/3 ligados en forma débil.

Katyal y Randhawa (13) opinan que el Mn activa cierto número de enzimas, pero no se sabe bien el papel específico con ninguno de ellos, se sabe que induce un ciclo de reacciones dentro de la planta actuando como auto catalizador activando la reacción Hill en la fotosíntesis, así también desempeña un papel importante en la asimilación de CO₂ y el metabolismo del nitrógeno.

3.1.5 Concentración de Cu, Zn, Fe y Mn en el suelo y las plantas.

Fassbender (8) encontró que en los suelos el Cu se presenta en su estado divalente y entre límites de 2 a 100 mg kg⁻¹, cuando estos no están contaminados. Existe un complejo bien estable entre Cu y ácidos húmicos. La cantidad real de Cu soluble en OH no debe sobrepasar el 1 % del suelo (6).

El rango normal de Cu en tejido vegetal es de 5 a 20 ppm, cuando la concentración de Cu es menor de 4 ppm en la materia seca ocurren deficiencias, y consideran que la concentración de Cu disminuye a medida que la planta madura (13,14).

La mayor parte del Zn presente en el suelo existe en forma de estructura mineral primaria. Desde el punto de vista de la nutrición de las plantas, el Zn soluble en agua; cuyo nivel es muy bajo de 0.002 a 0.2 ppm, una proporción apreciable se encuentra en la fracción arcilla; así es poco sorprendente que los suelos arcillosos contengan mayor concentración de Zn (13).

Mortvedt, et al. (14) encontraron concentraciones de Fe en tejido vegetal de 50 a 250 ppm, considerando que a valores menores de 50 ppm hay deficiencia y a mayores de 250 ppm existe toxicidad.

Se observa una fijación muy superior por parte de las arcillas 2:1, en comparación con la ejercida por la caolinita (8). El rango de concentración de Zn en las plantas es de 25 a 150 ppm, además se mencionan concentraciones de Zn con rangos entre 20 y 100 ppm. (13,14)

Fassbender (8) Opina que la concentración de Manganeseo en el suelo es baja, con frecuencia inferior a 5 mg Kg^{-1} la unión entre Mn y compuestos orgánicos en el suelo pueden presentar una considerable variación, dependiendo fuertemente del pH del suelo y del tipo de sustancia orgánica

Gran parte del Mn del suelo está inmovilizada en forma de compuestos insolubles, en estos casos no es absorbido por la planta (6). Bressani R. (3), reporta que las concentraciones de Mn oscilan entre 20 a 500 ppm en la materia seca.

3.1.6 Factores que influyen en la disponibilidad de Cu, Zn, Fe y Mn

A. El pH

Katyal y Randhawa (13), concuerdan que a medida que aumenta el pH, disminuye notablemente la disponibilidad de Cu, Fe, Mn Y Zn para las plantas, esto se denota en suelos alcalinos formados sobre materiales de origen calcáreo. Un rango óptimo de pH es de 4.5 a 6.0 en el cual se acelera la actividad de estos elementos.

B. Materia Orgánica

La descomposición de la materia orgánica da origen a ciertos agentes de quelación que contribuyen a la disponibilidad de algunos micronutrientes. Los suelos con un bajo o un alto contenido de materia orgánica suelen causar deficiencias de Cu, Fe, Mn Y Zn (13).

C. Textura del suelo

Por lo general los suelos de textura muy gruesa o arenosos tienen un bajo contenido Cu, Fe, Mn y Zn, disponible para las plantas, seguramente por la cantidad de minerales de arcilla y sin lugar a duda por la baja capacidad de adsorción (13).

D. Antagonismo de iones.

Regularmente un alto contenido de nitrógeno y fósforo obstaculizan la actividad de estos micronutrientes. Se debe tener en cuenta las relaciones de Zn/Cu, Fe/Mn. Así como la interacción con otros iones aniónicos y elementos mayores (14).

3.1.7 Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo

Según Aguilar, *et al.* (1) el objetivo básico del diagnóstico químico es el de evaluar la capacidad de los suelos para suministrar nutrimentos a la planta, mediante el uso de medidas químicas que permitan conocer el nivel nutricional disponible a la misma, para luego dar una adecuada interpretación; diagnostica deficiencias y/o toxicidades y formula las prácticas de manejo tendientes a su corrección o al mantenimiento mismo del nivel de fertilidad.

El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo, para ser adecuado y confiable, debe apoyarse en dos aspectos esenciales: a. El uso de soluciones extractoras adecuadas de la fracción disponible de los nutrimentos. b. Utilización de niveles críticos confiables.

A. Selección de la solución extractora

Varios autores coinciden en que la escogencia de una u otra solución extractora se basa en la mayor o menor asociación o relación entre la cantidad de elemento extraído por la solución y la que realmente extrae la planta.

Una solución extractora será eficiente o adecuada cuando a valores altos de extracción correspondan también valores altos de absorción por la planta. La solución extractora para un elemento dado se basa en el uso de parámetros estadísticos que permitan cuantificar el grado de asociación o relación entre el nutrimento extraído por la solución y el que realmente es asimilado por la planta, con base en datos experimentales obtenidos en invernadero y/o campo. Estos parámetros son los coeficientes estadísticos de correlación r y asociación R cuadrado, en donde r será tanto mejor o eficiente cuanto más cercano esté a la unidad y R cuadrado cuanto más cercano esté su valor de 100 (1,12).

B. Determinación de los niveles críticos

La última etapa del proceso de calibración del análisis es la pertinente a la obtención de niveles críticos de los diferentes elementos, niveles que van a constituir los criterios básicos del diagnóstico de la fertilidad del suelo. Obviamente, la determinación de los niveles críticos se realiza para la metodología de extracción que haya dado los mejores resultados, es decir; que haya mostrado la mejor correlación con la absorción del nutrimento por la planta o con los rendimientos relativos. Estos autores mencionan que a través del método gráfico propuesto por Kate y Nelson, el nivel crítico sea determinado mediante la gráfica de dos líneas perpendiculares, una paralela con el eje de las X y la otra con el eje de las Y, de forma tal que haya un número mínimo de observaciones en la parte superior del lado izquierdo y en la parte inferior del lado derecho. La interpretación con el eje de las X es el nivel crítico. En efecto, esta prueba separa generalmente los suelos que dan una buena respuesta de aquellos que dan una pequeña o no dan ninguna (1,12).

3.1.8 Soluciones extractoras de micronutrientes utilizadas en otros países

Los métodos para determinar la disponibilidad de micronutrientes en los suelos han sido muy numerosos. Diversos extractantes se han empleado para estimar las formas de microelementos solubles en agua, intercambiables, fácilmente reducibles, solubles en ácidos y acomplejables, sin embargo, el uso de agentes sucestrantes como el EDTA (Ácido Etilendiamino Tetracético) y DTPA, (Ácido Dietilendiamino Pentacético) en la última década ha llegado a ser más populares (14).

El cuadro 1 muestra algunas soluciones extractoras que son utilizadas en otros países.

CUADRO 1 Soluciones extractoras utilizadas en otros países

ELEMENTO	EXTRACTANTE	CULTIVO	DISPONIBILIDAD ppm			REFERENCIA
			Bajo	Medio	Alto	
Zn			< 0.5	0.5 - 1.0	> 1.0	Viets y Linsay, 1973
Fe			< 2.5	2.5 - 4.5	> 4.5	"
Mn	DTPA	sensibles	< 1.0	-	> 1.0	"
Cu			< 0.2	-	> 0.2	"
Zn	DTPA	sensibles	< 0.5	-	> 0.5	Brown, et, al 1971
Zn	DTRA	Maiz	< 0.3	0.3 - 0.6	> 0.6	Mortvedt. 1977
Fe	DTPA	Maiz	< 0.2	-	> 2.1	"
Fe	DTPA	Sorgo	< 4.5	-	> 4.5	"
Mn	Doble-ácido	Avena	< 10.0	-	-	Mortvedt. 1978
Zn	EDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃	Maiz	< 1.4	-	-	"
Zn	DTPA	Maiz	< 0.5	-	0.5	"
Mn	HCl 0.1N	---	< 5.0	-	> 20.0	"
Cu	NH ₄ OAc 1N		< 0.2	-	-	Cox y Kamprath, 72
Zn	HCl 0.1N	Maiz	< 1.0	-	-	"
Zn	WDTA-(NH ₄) ₂ CO ₃	Arroz	< 1.5	-	-	Flor y Hower, 1975
	NH ₄ OAc 1N		< 0.4	-	-	"
Zn	DTPA-(NH ₄) ₂ CO ₃	Arroz	< 1.6	-	-	Gangwar y Chandra, 1975
	Doble-ácido		< 2.0	-	-	"

Fuente: Guerrero R. (12)

* 0.05 HCl+0.025N H₂SO₄

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 Descripción del área experimental

A. Localización del experimento

El experimento se realizó bajo condiciones de laboratorio e invernadero, en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, su localización geográfica es de 14° 35' 11" latitud norte y 90° 32' 58" longitud oeste a 1,502 msnm (11).

B. Características generales del área de estudio

El área de estudio está ubicada en la región sur del país, su localización está comprendida de 20 a 800 metros de altitud y sus coordenadas geográficas son 14°10' longitud oeste y 14°25' latitud norte. La zona de estudio comprende el departamento de Escuintla (9).

C. Condiciones Climáticas.

El cuadro 2 presenta las condiciones climatológicas de las principales estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio

CUADRO 2 Climatología de las principales estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio

ESTACION	ZONA DE VIDA	PRECIPIT mm	TEMPER °c	HUMEDAD RELAT..%
San José	Bs-s	1,256.95	26.64	78.29
Sábana Grande	Bmh-s(c)	3,205.43	24.13	74.07
Chupadero	BmH-s(c)	2,897.460	25.98	75.08
Comantulul	BmH-s(c)	3,577.57	24.84	80.50
Los Esclavos	BmH-s(c)	1,569.51	24.82	76.20

Fuente: Estudio semidetallado de suelos (9).

Bs-s: bosque seco subtropical (5)

BmH: bosque muy humedo subtropical cálido (5)

En el cuadro 3 pueden observarse las características de los suelos en estudio

D. Condiciones Edáficas

CUADRO 3 Características de los suelos en estudio

DESCRIPCION	ORDEN	ALTITUD msnm	POSICION FISIOGRAFICA	USO ACTUAL	MATERIAL PARENTAL
1 Fca. El Baúl Ing. El Baúl Sta. Lucia Cotz.	Andisol	540	Planicie fluvio-volcánica, pie de monte ápice de abanico	Caña	Cenizas volcánicas
2 Fca. Concepción Ing. Concepción, Escuintla	Andisol	425	Planicie fluvio-volcánica, pie de monte ápice de abanico	Caña	Cenizas volcánicas
3 Fca. Cañaverales Ing. Madre Tierra, Sta. Lucia Cotz.	Andisol	310	Planicie fluvio-volcánica, pie ápice de abanico	Caña	Cenizas volcánicas
4 L.20 Fca. La Pinta(1108) Ing. Sta. Ana, Mazagua, Escuintla	Andisol	100	Planicie fluvio-volcánica cuerpo de abanico	Caña	Arena de origen volcánico
5 L.25 Fca. La Pinta(1108) Ing. Sta. Ana, Mazagua, Escuintla	Andisol	110	Planicie fluvio-volcánica cuerpo de abanico	Caña	Arena de origen volcánico
6 Fca. El Bálsamo Ing. Pantaleón, Siquinalá	Andisol	245	Planicie fluvio-volcánica cuerpo de abanico	Caña	Cenizas volcánicas fluvio aluviales pomes
7 Fca. Cañaverales Ing. Madre Tierra, Sta. Lucía Cotz.	Alfisol	250	Planicie fluvio-volcánica ápice de abanico	Caña	Arcillas de origen volcánico
8 Fca. Pangola Ing. Madre Tierra, Sta. Lucía Cotz.	Entisol	20	Planicie fluvio-volcánica pie de abanico	Caña	Aluviones con arenas
9 Fca. El Mirador Ing. Magdalena, Sta. Lucía Cotz.	Entisol	35	Planicie fluvio-volcánica valle aluvial terraza	Caña	Aluviones con arenas
10 Fca. Velasquez Ing. Magdalena, Sta. Lucía Cotz.	Inceptisol	240	Planicie fluvio-volcánica cuerpo de abanico	Caña	Aluviones de origen volcánico
11 L.9 Iguazo, Fca. Bolivia Ing. Sta. Ana, Escuintla	Mollisol	35	Planicie fluvio-volcánica distal de abanico	Caña	Aluviones de origen volcánico
12 L.009 Fca. Bolivia(1104) Ing. Sta. Ana, Escuintla	Mollisol	35	Planicie fluvio-volcánica distal de abanico	Caña	Aluviones de origen volcánico
13 L.003 Fca. El tesoro(1257) Ing. Guadalupe, LaGomera Escuintla	Mollisol	35	Planicie fluvio-volcánica distal de abanico	Caña	Aluviones de origen volcánico
14 L. 4 Fca. El Tesoro Ing. Guadalupe, LaGomera Escuintla	Mollisol	30	Planicie fluvio-volcánica distal de abanico	Caña	Aluviones de origen volcánico
15 Fca. San Antonio Ing. Magdalena, Sta. Lucía Cotz.	Mollisol	20	Planicie fluvio-volcánica pie de abanico	Caña	Aluvial arcilloso
16 Fca. Irlanda Ing. Tierra Buena, Tiquizate	Mollisol	23	Planicie fluvio-volcánica distal de abanico	Caña	Hidrocineritas arenas gruesas
17 Fca. Puyumate Ing. Tierra Buena, Nva. Concepción	Mollisol	90	Planicie fluvio-volcánica distal de abanico	Caña	Aluviones y Cenizas volcánicas pomes

4. OBJETIVOS

General

Evaluar tres soluciones extractoras para cuantificar la fracción disponible de elementos menores Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn), en suelos de la zona cañera del sur de Guatemala, a nivel de invernadero.

Específico

Determinar el nivel crítico de las fracciones disponibles Cobre, Zinc, Hierro y Manganeseo en cada solución extractora evaluada.

5. HIPÓTESIS

El nivel crítico para cada elemento, Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn) será igual para las tres soluciones extractoras a nivel de invernadero.

6. METODOLOGIA

6.1 FASE DE CAMPO

6.1.1 Muestreo

Tomando como base el mapa de Clasificación Taxonómica de Suelos de la Zona Cañera (9), se seleccionaron 17 sitios de muestro, se recolectó una muestra compuesta, tomando 5 kilogramos de suelo a una profundidad de 0-20 centímetros, los cuales fueron analizados en el laboratorio de suelo, planta y agua "Salvador Castillo Orellana" de la sub área Manejo de Suelo y Agua de la Facultad de Agronomía.

6.2 FASE DE LABORATORIO

6.2.1 Secado, Tamizado y Homogeneizado

El secado del suelo se hizo al aire esparciéndolo en una capa delgada sobre plástico, se trituró los terrones de suelo con un mazo de madera y luego se pasó por un tamiz de 2 milímetros, finalmente se pasó cada muestra por un homogeneizador metálico con el objeto de obtener una mezcla de suelo completamente homogénea, por último se guardó en un lugar seco.

6.2.2 Soluciones Extractoras Evaluadas

A. Carolina del Norte

Fundamento: Mehlich citado por J. Benton (2), introdujo a los Estados Unidos esta metodología para la determinación de fósforo, potasio, Calcio, magnesio, sodio, manganeso y zinc para suelos ácidos con textura arenosa. Southern Cooperative Series citado por T.R. Rupa et al. (15), propusieron la metodología Carolina del norte (Mehlich I) para la determinación de cobre y zinc en el año de 1,965.

Reactivos: H_2SO_4 0.025N + HCL 0.05N. Metodología: 5 ml de suelo + 25 ml de solución extractora, se agita durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto (rpm) y se filtra. La determinación de los elementos se hizo por espectrofotometría de absorción atómica en forma directa del filtrado (7).

B. Olsen Modificado

Fundamento: El programa de mejoramiento de la fertilidad del suelo (ISFEIP) citado por A:D:C: Chilimba et al (4), propusieron la utilización de esta solución extractora para la determinación de fósforo, potasio, cobre, zinc hierro y manganeso

Reactivos: NaHCO_3 0.5N + EDTA (Ácido Etilendiamino Tetracético) 0.01M + 0.5 gr. Superfloc 127 Metodología: 5 ml de suelo + 25 ml de solución extractora, se agita durante 5 minutos a 400 rpm y se filtra. La determinación de los elementos se hizo por espectrofotometría de absorción atómica en forma directa del filtrado (7).

C. Acido Clorhídrico 0.1 N

Fundamento: Haynes y Swift citados por T.R. Rupa et al. (15) propusieron en 1,984 la solución extractora HCl para la determinación de cobre y zinc en suelos arenosos de Nueva Zelanda. M. Gatti et al. (10) Utilizaron el extractante HCl 6N para la determinación de elementos menores , Italia 1,991

Reactivos: HCL 0.1 N. Metodología: se toman 5 ml de suelo + 25 ml de solución extractora se agita durante 5 minutos a 400 rpm y se filtra. La determinación de los elementos se hizo por espectrofotometría de absorción atómica en forma directa del filtrado (7).

6.2.3 Estudio de Sorción

Estos se realizan para conocer la capacidad de fijación que tiene el suelo sobre Fósforo (P), Potasio (K), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn) y así se aplica la cantidad necesaria de estos elementos al suelo para que no sean limitantes sobre el rendimiento del cultivo.

Estos estudios se llevan a cabo añadiendo al suelo, una solución con distintas concentraciones de elementos. La cantidad de solución agregada es suficiente para saturar completamente la muestra de suelo. Esto producirá una condición anaeróbica en la muestra durante algunas horas. El recipiente que contiene la muestra se deja destapado hasta que se seque.

Se hicieron cinco tratamientos con dos repeticiones y un testigo, este procedimiento se hizo para las 17 muestras de suelo (cuadro 4).

El cuadro 4 muestra la concentración de los elementos en las soluciones de tratamiento de sorción, diluidas a 100 ml

CUADRO 4 Concentración de elementos en las soluciones de tratamiento de sorción, diluidas a 100 ml

Tratamiento De sorción	mL. de sol. diluidos a 100 ml	mg/mL				
		P	Cu	Mn	Zn	K
1	5	35	2	5	4	43
2	10	70	4	10	8	86
3	20	140	8	20	16	175
4	40	280	16	40	32	351
5	80	560	32	80	64	702

Fuente: Díaz Romeu (6)

A. Determinación de las cantidades de elementos a ser usados en el tratamiento de referencia

El tratamiento de referencia deberá estar basado en los datos obtenidos del laboratorio, y los resultados de las curvas de sorción para P; K; Cu, Mn y Zn. Si la cantidad de elemento extraído del suelo original está debajo de tres veces el nivel crítico para cada elemento, entonces debe agregársele la cantidad de ese elemento necesario para obtener tres veces el nivel crítico (7).

6.3 PLANTA INDICADORA

Se utilizó el sorgo *Sorghum vulgare*, var. oro Barón como planta indicadora a nivel de invernadero, por ser una planta sensible la mayoría de elementos esenciales.

6.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se uso el diseño experimental bloques completamente al azar, para obtener la media aritmética del rendimiento relativo de la biomasa.

6.5 UNIDAD EXPERIMENTAL

Consistió en una maceta de plástico con capacidad para 300 gramos de suelo cinco tratamientos y tres repeticiones para cada uno de los 17 suelos estudiados, haciendo un total de 255 macetas (unidades experimentales).

El cuadro 5 muestra los tratamientos evaluados en esta investigación.

CUADRO 5 Tratamientos evaluados

TRATAMIENTOS	DESCRIPCION
1	Testigo (N,P,K,Ca,Mg,Cu,Zn,Fe,Mn,Mo,B)
2	Todo menos Cu
3	Todo menos Zn
4	Todo menos Fe
5	Todo menos Mn

6.6 VARIABLE EVALUADA

6.6.1 Rendimiento de Materia Seca

Se secó el tejido vegetal de cada unidad experimental a 60-65 °C, en un horno de convección forzada hasta alcanzar peso constante, seguidamente se pesó el material seco en una balanza, obteniendo la biomasa expresada en materia seca en gramos por planta.

6.7 MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN

6.7.1 Siembra

Se distribuyeron 10 semillas de sorgo en la superficie del suelo de cada unidad experimental y luego con una varilla se enterraron las semillas a un 1 centímetro de profundidad

6.7.2 Riego

Se regó con agua destilada al suelo a capacidad de campo con una frecuencia de riego de 48 horas a partir de la siembra, hasta que las semillas germinaron; luego se siguió regando agua destilada, tratando de mantener a capacidad de campo el suelo.

6.7.3 Raleo

Cinco días después que las plantas germinaron, se procedió a seleccionar las plantas y dejando a tres de las más vigorosas en cada maceta (unidad experimental).

6.7.4 Fertilización

Se realizaron 2 aplicaciones de Nitrógeno utilizando como fuente Nitrato de Amonio, estas aplicaciones se hicieron con intervalo de 11 días agregando 50 ppm, equivalente a 3 mililitros de una solución madre a 5,000 ppm en cada unidad experimental. La primera aplicación se realizó a los 11 días de haber germinado las semillas, aplicando el 50 % de Nitrogeno, y la segunda a los 11 días después de la primera, la aplicación de nitrógeno fue de 100 kg/ha.

6.7.5 Cosecha

A los 49 días de haber germinado la semilla se procedió a cortar las plantas a 1 centímetro por encima de la superficie del suelo, luego fueron llevadas al horno del laboratorio de suelo, planta y agua.

6.8 ANALISIS DE LA INFORMACION

6.8.1 Rendimiento Relativo (RR)

Este se obtuvo a través de la siguiente fórmula

$$\% \text{ RR} = \frac{\text{Mat.seca}(\text{gr}) \text{ sin elemento}}{\text{Mat.seca}(\text{g}) \text{ trat.completo}} \times 100$$

Entre mayor y más cercano a 100 sea RR, menor será la respuesta a la aplicación del elemento, o lo que es lo mismo, mayor será la disponibilidad del mismo en el suelo (12). Por lo tanto, se deben separar los rendimientos que indiquen que hubo respuesta positiva de aquellos en donde no hubo (7).

6.8.2 NIVEL CRITICO

La determinación de los niveles críticos se realizan para cada elemento de cada solución extractora. Estos se determinan por medio de la gráfica de Cate y Nelson, colocando en el eje de las Y el rendimiento relativo y en el eje de las X la concentración de cada uno de los elementos expresado en partes por millón. Un material plástico transparente (acetato), se mueve de un sentido a otro hasta conseguir que el mayor número de puntos del gráfico queden ubicados en los cuadrantes positivos. La línea perpendicular horizontal coincidirá con un valor del eje de las ordenadas (RR), bajo el cual las respuestas serán altas o medias. Simultáneamente la perpendicular vertical coincidirá sobre el eje de las abscisas X con la concentración del elemento en el suelo sobre el cual estará el grupo de suelos que mostró respuestas altas o medias. Por debajo del nivel crítico y por encima del nivel crítico, la respuesta esperada será pequeña o simplemente nula. El nivel crítico obtenido dependerá, por supuesto del extractante utilizado, del tipo de suelo y de la clase de cultivo (1,12).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 6 se presentan los resultados de los diferentes análisis químicos realizados a los suelos evaluados

CUADRO 6 Materia orgánica, potencial de hidrogeno y fraccion quimica extraida con carolina del norte de los suelos estudiados

Suelo	DESCRIPCION	M.O	pH	P	K	Ca	Mg
		%		ppm	Meq/100 gr		
1	L.09 Iguazo Fca.Bolivia	2.22	7.6	44.50	175	9.05	6.74
2	L.009 Fca. Bolivia (1104)	2.41	7.9	51.15	203	14.98	9.66
3	L.003 Fca. El Tesoro(1257)	2.22	7.8	10.32	150	6.24	1.59
4	L.04 Fca. El Tesoro	3.78	7.1	45.50	360	16.22	7.40
5	El Baúl	9.17	6.3	3.08	123	5.30	1.18
6	Concepción	6.19	6.7	8.90	183	5.61	1.54
7	El Mirador	1.17	6.7	81.60	165	4.99	1.23
8	San Antonio	4.09	7.2	95.40	800	20.28	5.85
9	Velasquez	10.56	6.2	0.00	35	7.80	1.03
10	Pangola	1.56	7.1	121	625	12.48	2.62
11	Cañaverales	9.29	6.4	0.74	232	7.80	1.18
12	Cañaverales	4.3	6.6	0.00	150	8.42	2.26
13	Irlanda	0.85	7.7	28.19	230	11.54	6.89
14	Puyumate	8.91	7.1	0.11	182	14.66	3.19
15	L.20 Fca. La Pinta(1108)	11.23	6.6	0.95	80	15.91	3.44
16	L.25 Fca. La Pinta(1108)	4.3	6.6	3.71	38	15.29	5.40
17	El Bálsamo	12.26	6.7	3.50	473	14.04	2.36

Fuente: Laboratorio de suelo, agua y planta FAUSAC

M.O Materia Orgánica

pH (Potencial de hidrógeno)

P (fósforo)

K (potasio)

ppm (partes por millón)

Ca (calcio)

Mg (magnesio)

Meq/100 gr (Miliequivalentes en 100 gramos de suelo)

El contenido de materia orgánica se encuentra en un rango de 0.85 a 12.26 %, es decir; de bajo a muy alto, el 41% de los suelos posee niveles muy altos, el 45% adecuado y el 12% bajo, con

limitaciones de materia orgánica, los valores más altos tienen relación con el origen de los suelos, los cuales provienen de cenizas volcánicas con dominancia de arcillas amorfas (Andisoles).

Los valores determinados de pH se encuentran entre 6.3 - 7.9 es decir van de ligeramente ácidos a medianamente alcalinos.

El contenido de fósforo se encuentra en el rango de 0 a 121 ppm, extraído con la solución extractora Carolina del Norte, del cual el 45% de los suelos se encuentra alto y el 59% deficiente, los contenidos altos se deben posiblemente al manejo de esos suelos (aplicaciones altas de fertilizante a base de fósforo). El porcentaje de fijación de esos suelos es alto como se puede apreciar en el cuadro 12 en donde el contenido de fósforo aplicado, específicamente en los suelos deficientes alcanzan los 2,800 kg de P_2O_5 /ha, esto con el fin de alcanzar un valor de 21 ppm de fósforo en solución extraído con Carolina del Norte (figura 9).

En cuanto al contenido de potasio, los valores encontrados oscilan entre 35 – 800 ppm es decir de deficientes a muy altos, los valores bajos corresponden a suelos de textura arenosa, asumiendo que debido a la baja capacidad de intercambio catiónico y por ser el potasio un catión monovalente es fácil de lixiviarce contrario a lo que sucede en suelos de textura arcillosa.

En cuanto al calcio los valores encontrados se encuentran entre 4.99 – 20.28 meq/100 mL, lo que indica que en estos suelos el calcio no es limitante, los valores bajos corresponden a suelos de textura arenosa.

El magnesio al igual que el calcio se considera de adecuado a muy alto por lo que también no son limitantes para estos suelos.

El cuadro 7 presenta el índice de cobre extraído con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de materia seca

CUADRO 7 Índice de cobre extraído con tres soluciones extractoras y rendimiento relativo de material seca

DESCRIPCION	C.N ppm	Olsen ppm	HCl 0.1N ppm	M.S RR
L.09 Iguazo Fca.Bolivia	1.0	7.0	3.5	80.22
L.009 Fca. Bolivia	0.5	5.0	4.0	68.69
L.003 Fca. El Tesoro(1257)	0.5	5.0	4.5	100.56
L.04 Fca. El Tesoro	0.5	3.0	4.0	86.26
El Baúl	1.0	2.0	1.0	105.34
Concepción	0.5	1.5	0.5	107.20
El Mirador	1.5	3.0	3.5	67.00
San Antonio	0.5	4.0	2.5	90.00
Velasquez	0.5	4.0	3.0	100.05
Pangola	1.0	3.0	2.5	101.63
Cañaverales	0.5	3.0	3.0	87.07
Cañaverales	1.5	3.0	2.0	104.62
Irlanda	1.5	3.0	4.0	88.12
Puyumate	0.0	5.0	3.5	83.49
L.20 Fca. La Pinta(1108)	0.0	2.0	2.5	111.01
L.25 Fca. La Pinta(1108)	1.0	2.0	1.0	114.95
El Bálsamo	0.0	2.0	1.5	69.58

Fuente: Laboratorio de Suelo Agua y Planta FAUSAC

C.N (Carolina del Norte)

Olsen Modificado

HCl 0.1N (Acido Clorhídrico 0.1 Normal)

RR % (Rendimiento Relativo en porcentaje)

M.S (Materia Seca)

Los índices de cobre extraídos con la solución extractora Carolina Norte son muy similares en cuanto al rango de extracción, los valores oscilan entre 0 – 1.5 ppm, los cuales son bajos comparados con los valores obtenidos con las otras soluciones evaluadas, esto es debido en gran medida por la relación existente entre el cobre y la materia orgánica lo cual tiene un efecto de fijación tal como lo confirman Mortvedett et al. y también por las concentraciones bajas en los ácidos H_2SO_4 y HCl. Los índices extraídos con Olsen Modificado son los mayores y van de 1.5 a 7 ppm, esto puede deberse a que la solución extractora está constituida por el quelato EDTA (Ácido Dietildiaminotetracético) el cual reacciona con los metales Cu^{++} haciéndolo más móvil y disponible. Los índices de extracción con HCl 0.1N van de 1.0 – 4.5 ppm, estos son superiores a los extraídos con Carolina del Norte y menores a los extraídos con Olsen modificado, esto puede deberse a que la

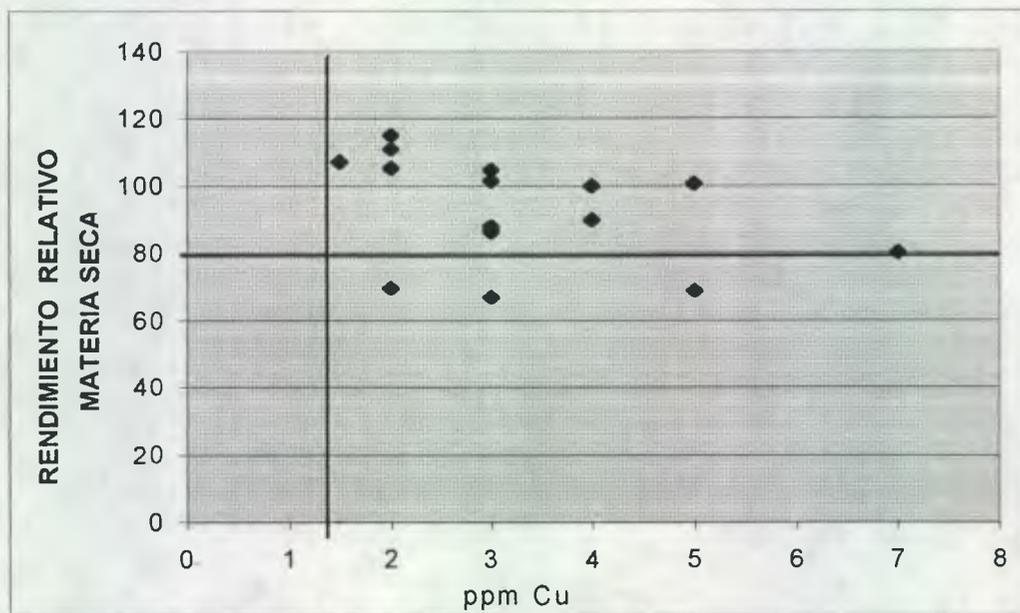
concentración de HCl 0.1N es el doble en comparación al utilizado por Carolina del Norte con lo cual, los micronutrientes tienen mayor solubilidad.

La determinación del nivel crítico de Cobre se realizó para las soluciones extractoras en donde el rango de los índices de extracción fue mas amplio, según al método gráfico de Cate y Nelson con la metodología de extracción Olsen Modificado el nivel crítico fue de 1.4 ppm y con Acido Clorhídrico el nivel crítico fue de 0.5 ppm (figura 1, 2). Con la solución extractora Carolina del Norte no fue posible determinar el nivel crítico debido al rango estrecho de los valores de los índices de extracción.

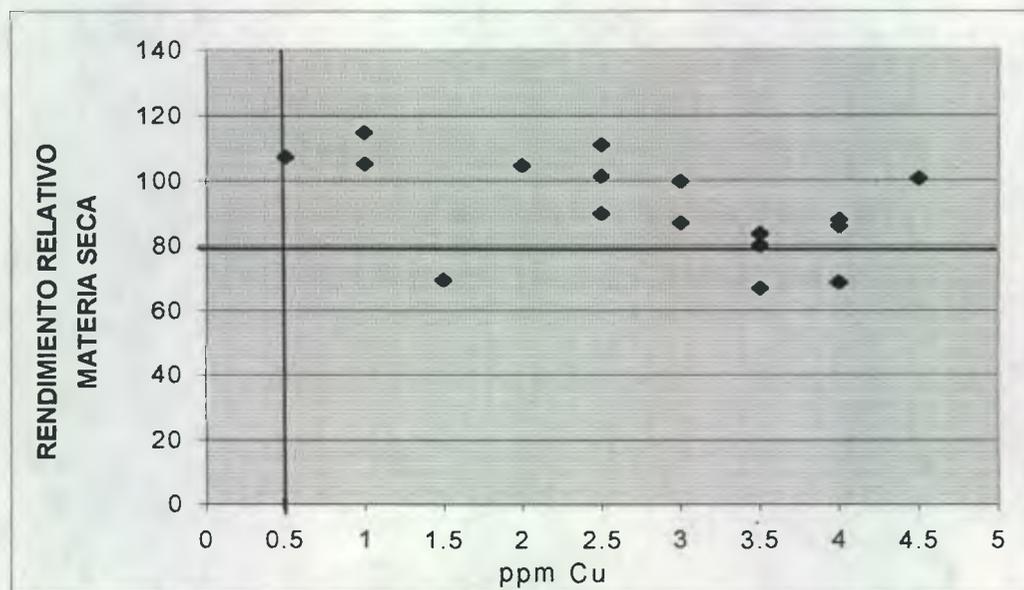
Viets y Linsay, 1973, citados por Guerrero (12), utilizando el extractante DTPA, reportaron que el índice de disponibilidad para cobre en el nivel bajo fue menor a 0.2 ppm y a nivel alto fue mayor a 0.2 ppm. Además Cox y Kamprath, 1972 citados por Guerrero (12), reportan que el índice de disponibilidad con el extractante NH_4OAc 1N pH 4.8 en el nivel bajo fue menor a 0.2 ppm, no encontraron niveles altos.

En conclusión los niveles críticos reportados por estos autores son inferiores a los niveles críticos determinados en esta investigación; con la solución extractora Olsen modificado fue menor de 1.4 ppm y con ácido Clorhídrico 0.1N fue menor de 0.5 ppm.

En el cuadro 8 se puede observar el índice de cobre con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de materia seca



GRAFICA 1 Nivel crítico de cobre con la solución extractora Olsen Modificado



GRAFICA 2 Nivel crítico de cobre con la solución extractora Ácido Clorhídrico 0.1 N

CUADRO 8 Índice de Zinc extraído con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de materia seca

DESCRIPCION	C.N ppm	Olsen Ppm	HCl 0.1N ppm	M.S RR
L.09 Iguazo Fca.Bolivia	2.0	3.0	4.5	76.53
L.009 Fca. Bolivai	1.5	2.0	4.5	60.08
L.003 Fca. El Tesoro(1257)	1.5	2.0	3.0	50.26
L.04 Fca. El Tesoro	3.5	1.0	2.0	81.05
El Baúl	7.0	3.0	6.5	98.98
Concepción	5.0	2.0	5.0	145.78
El Mirador	2.5	2.0	4.0	96.64
San Antonio	1.5	2.0	3.5	96.64
Velasquez	5.0	2.0	2.0	95.02
´Pangola	3.5	1.0	3.0	65.00
´Cañaverales	3.0	2.0	2.5	70.68
´Cañaverales	3.0	3.0	6.5	140.98
´Irlanda	1.5	4.0	8.5	93.27
´Puyumate	3.5	4.0	7.5	101.36
´L.20 Fca. La Pinta(1108)	2.5	2.0	3.5	106.12
´L.25 Fca. La Pinta(1108)	2.5	2.0	4.0	113.26
´El Bálsamo	2.0	3.0	8.0	91.53

Fuente: Laboratorio de suelo agua y planta FAUSAC

C:N (Carolina del Norte)

Olsen Modificado

HCl 0.1N (Acido Clorhídrico 0.1 Normal)

RR (Rendimiento Relativo)

Zn (Zinc), ppm (partes por millón)

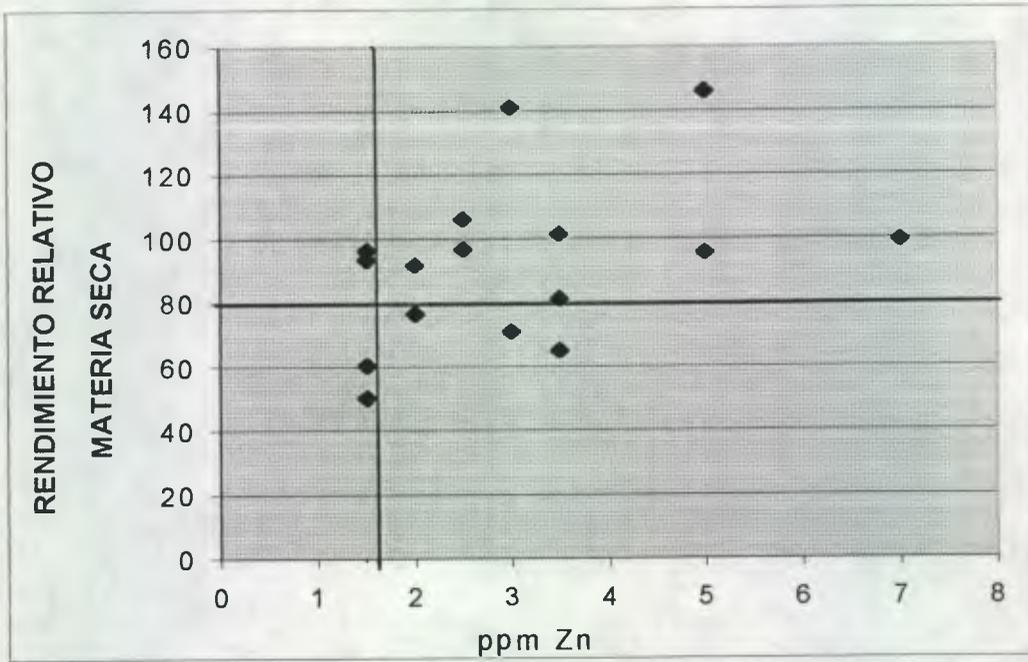
Los índices de zinc determinados con la solución extractora Olsen Modificado van de 1.0 a 4.0 ppm, con la solución extractora Carolina del Norte el rango de los índices de extracción van de 1.5 a 7.0 ppm y con Acido Clorhídrico 0.1N los índices van de 2.0 a 8.5 ppm.

La determinación de los niveles críticos de zinc se realizó para las soluciones de extracción en donde el el rango de los índices de extracción fue mas amplio, según el método de Cate y Nelson con la solución extractora Carolina del Norte el nivel crítico fue 1.6 ppm y con Acido Clorhídrico fue de 3.1 ppm. (figuras 3, 4). Con la metodología Olsen Modificado no fue posible determinar el nivel crítico debido al rango tan estrecho de los valores de los índices de extracción

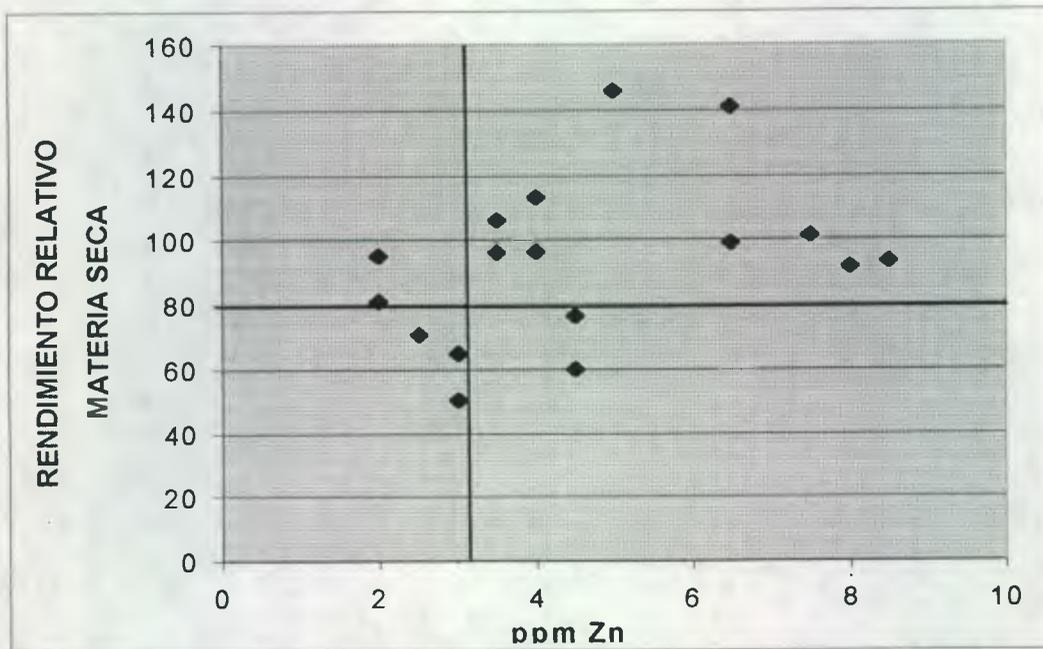
Mortvedt, 1977, citado por Guerrero (12), En el año 1978 utilizando el extractante EDTA- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ reporta que el índice de disponibilidad de zinc en el nivel bajo fue menor a 1.4 ppm. además utilizó el extractante DTRA, reportó que el índice de disponibilidad para zinc en el nivel bajo fue menor a 0.4 ppm y en el nivel alto fue mayor a 0.7 ppm. En otra investigación el mismo autor También utilizando el extractante DTPA reporta valores en el nivel bajo menor a 0.5 ppm y en el nivel alto mayor a 0.5 ppm. Brown, et, al, 1971 utilizó el extractante DTPA, reporta que el índice de disponibilidad de zinc en el nivel bajo fue menor a 0.5 ppm y en el nivel alto mayor a 0.5 ppm. Los siguientes autores, citados por Guerrero (12), reportan lo siguiente: Cox y Kamprath, 1972 utilizando el extractante HCl 1N reportan valores en el nivel bajo menor a 1.0 ppm. Flor y Howeler, 1975 con el extractante WDTA- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, reportan valores en el nivel bajo menor a 1.5 ppm. Gangwar y Chandra, 1975 utilizando el extractante $\text{NH}_4 \text{OAc} 1\text{N}$ reportan en el nivel bajo menor a 0.4 ppm, estos mismos autores utilizando el extrante DTPA- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ reportan en el nivel bajo menor a 1.6 ppm, Estos mismos autores utilizando el extractante doble ácido 0.05 CHI + 0.025N H_2SO_4 (Carolina del Norte) reportan valores en el nivel bajo menor a 2.0 ppm.

En conclusión los niveles críticos reportados por Gangwar y Chandra en 1975 coinciden con los niveles críticos de zinc determinados en esta investigación, utilizando el extractante Carolina del Norte fue de 1.6 ppm y con ácido Clorhídrico 0.1N fue de 3.1 ppm

El cuadro .9 muestra el índice de hierro con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de materia seca



GRAFICA 3 Nivel crítico de zinc con la solución extractora Carolina del Norte



GRAFICA 4 Nivel crítico de zinc con la solución extractora Ácido Clorhídrico 0.1N

CUADRO 9 Índices de hierro extraído con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de materia seca

DESCRIPCION	C.N Ppm	Olsen ppm	HCl 0.1N ppm	M.S RR
L.09 Iguazo Fca.Bolivia	5.5	47.0	47.5	59.83
L.009 Fca. Bolivia	1.5	30.0	28.0	62.00
L.003 Fca. El Tesoro(1257)	3.5	67.0	48.0	110.06
L.04 Fca. El Tesoro	4.5	7.0	15.0	76.34
El Baúl	5.0	38.0	11.5	80.59
Concepción	2.0	29.0	10.5	82.28
El Mirador	29.0	17.0	15.0	86.74
San Antonio	1.5	39.0	10.0	125.26
Velasquez	3.0	12.0	17.5	112.39
Pangola	13.0	5.0	5.0	73.35
Cañaverales	3.5	22.0	32.5	90.79
Cañaverales	18.5	17.0	23.5	115.53
Irlanda	4.0	43.0	42.5	98.40
Puyumate	2.0	48.0	23.5	96.34
L.20 Fca. La Pinta(1108)	1.5	36.0	64.0	132.48
L.25 Fca. La Pinta(1108)	4.0	6.0	5.0	117.71
El Bálsamo	1.5	29.0	28.0	91.65

Fuente: Laboratorio de Suelo Agua y Planta FAUSAC

C.N (Carolina del Norte)

Olsen Modificado

HCl 0.1N (Acido Clorhídrico 0.1 Normal)

RR % (Rendimiento Relativo en porcentaje)

Fe (Hierro)

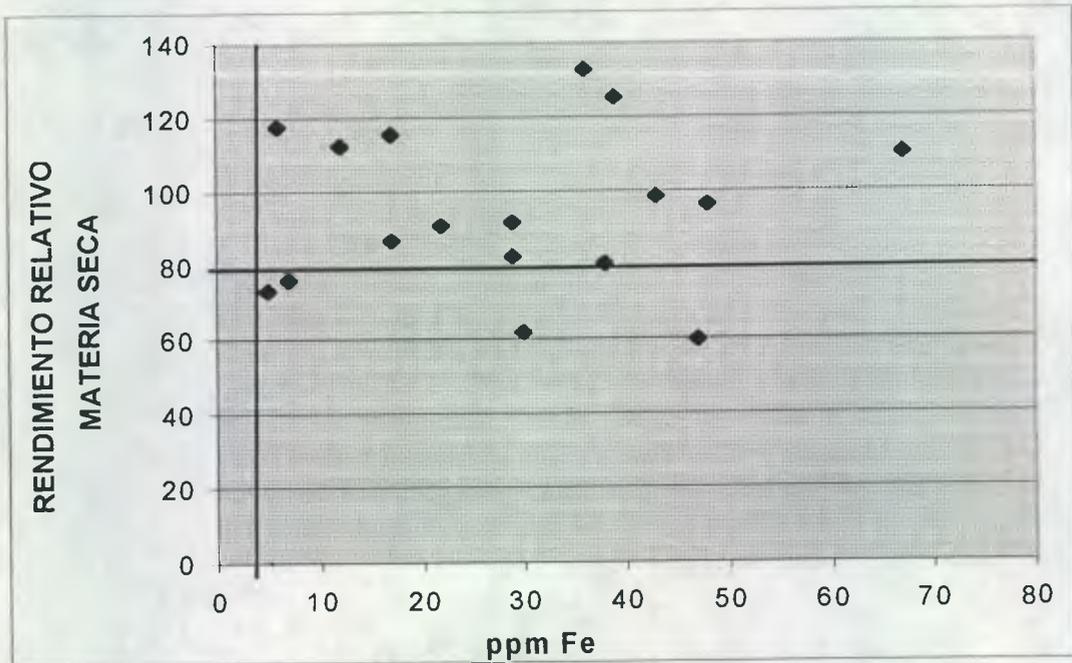
Los índices determinados para Fe con la solución extractora Carolina del Norte van de 1.5 a 29.0 ppm, es decir; siendo tres los suelos con valores muy altos, con la solución extractora Olsen modificado los índices de extracción van de 5.0 a 67.0 ppm, con Acido Clorhídrico 0.1N los índices van de 5.0 a 64.0 ppm, con un comportamiento similar a los valores obtenidos con Olsen modificado.

La determinación de los niveles críticos de hierro se realizó para las soluciones extractoras en donde el rango de los índices de extracción fue más amplio, según al método de Cate y Nelson el nivel crítico con Olsen modificado fue menor de 8.0 ppm y con ácido clorhídrico fue menor de 6.0 ppm (figuras 5, 6). Con Carolina del Norte no fue posible determinar el nivel crítico debido a la alta dispersión de puntos.

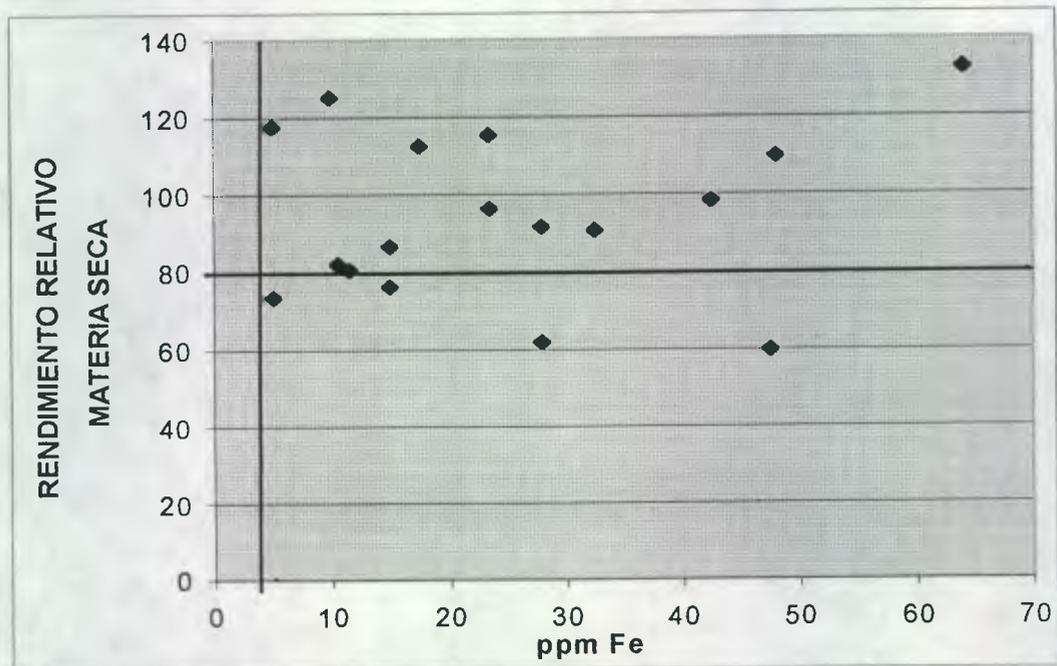
Los siguientes autores citados por Guerrero (12), reportan lo siguiente: Viets y Linsay, 1973 utilizando el extractante DTPA reportan que los índices de disponibilidad para hierro en el nivel bajo fue menor a 2.5 ppm y en el nivel alto fue mayor de 4.5 ppm. Mortvedt, 1978 utilizando el extractante DTPA reporta valores de disponibilidad de hierro en el nivel bajo menor de 4.5 y en el nivel alto mayor a 4.5 ppm, este mismo, autor en otra investigación utilizando el extractante DTPA reportó valores en el nivel bajo menor a 2.0 ppm y en el nivel alto mayor a 2.1 ppm.

En conclusión los valores reportados por estos autores, se encuentran abajo de los niveles críticos de hierro determinados en esta investigación, utilizando el extractante Olsen Modificado fue menor de 4.0 ppm y con Acido clorhídrico 0.1N fue menor de 4.0 ppm

El cuadro 10 presenta el índice de manganeso con tres soluciones extractoras y el rendimiento relativo de materia seca.



GRAFICA 5 Nivel crítico de hierro con la solución extractora Olsen Modificado



GRAFICA 6 Nivel crítico de hierro con la solución extractora Ácido Clorhídrico 0.1N

CUADRO 10 Índice de manganeso extraído con tres soluciones extractorias y el rendimiento relativo de materia seca

DESCRIPCION	C.N Ppm	Olsen ppm	HCl 0.1N ppm	M.S RR
L.09 Iguazo Fca.Bolivia	14.5	3.0	22.5	69.95
L.009 Fca. Bolivia	12.0	1.5	5.0	92.30
L.003 Fca. El Tesoro(1257)	15.0	3.0	10.5	77.21
L.04 Fca. El Tesoro	18.0	0.0	10.5	84.45
El Baúl	7.0	1.0	5.5	119.01
Concepción	20.0	1.0	5.5	156.56
El Mirador	8.0	1.0	13.5	95.27
San Antonio	11.0	2.0	7.0	135.42
Velasquez	5.0	1.0	13.5	111.37
Pangola	24.5	0.0	23.0	69.01
Cañaverales	8.5	0.0	11.0	85.56
Cañaverales	22.5	0.0	29.0	127.93
Irlanda	7.5	2.0	4.0	93.37
Puyumate	6.0	4.0	15.0	90.73
L.20 Fca. La Pinta(1108)	8.5	1.0	8.5	163.08
L.25 Fca. La Pinta(1108)	25.5	1.0	15.5	113.34
El Bálsamo	7.5	2.0	5.0	93.20

Fuente: Laboratorio de Suelo Agua y Planta FAUSAC

C.N (Carolina del Norte)

Olsen Modificado

HCl 0.1N (Acido Clorhídrico 0.1 Normal)

RR % (Rendimiento Relativo en porcentaje)

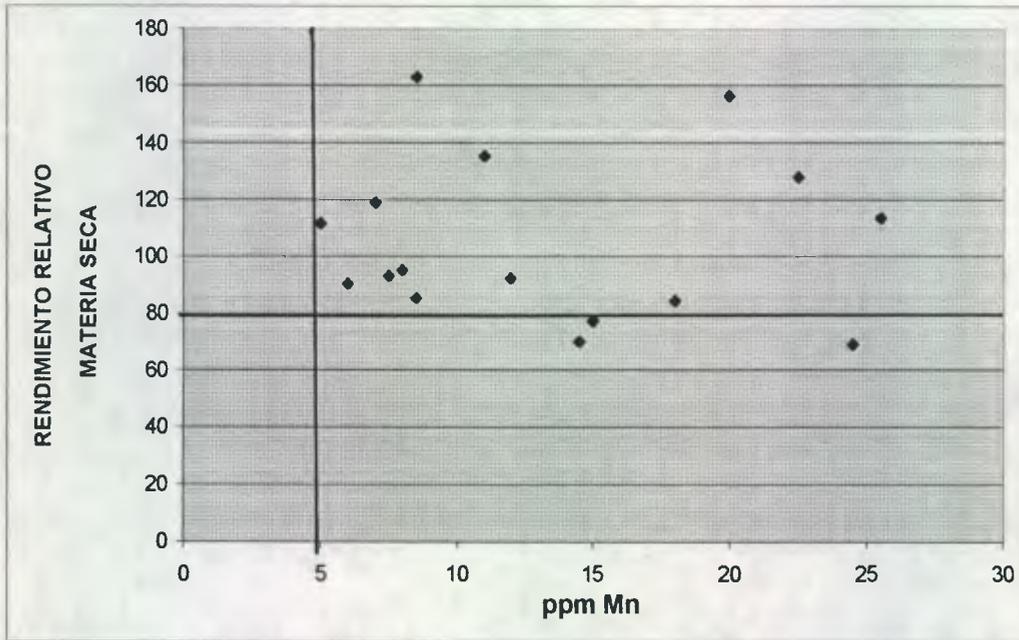
M.S (Materia Seca)

Los índices determinados para Manganeso con la solución extractora Olsen Modificado, son bastante similares en cuanto a rangos de extracción, con valores que van de 0.0 a 4.0 ppm; con la solución Carolina del Norte los valores van de 5.0 a 25.5 ppm, y con Acido Clorhídrico los valores van de 4.0 a 29.0 ppm.

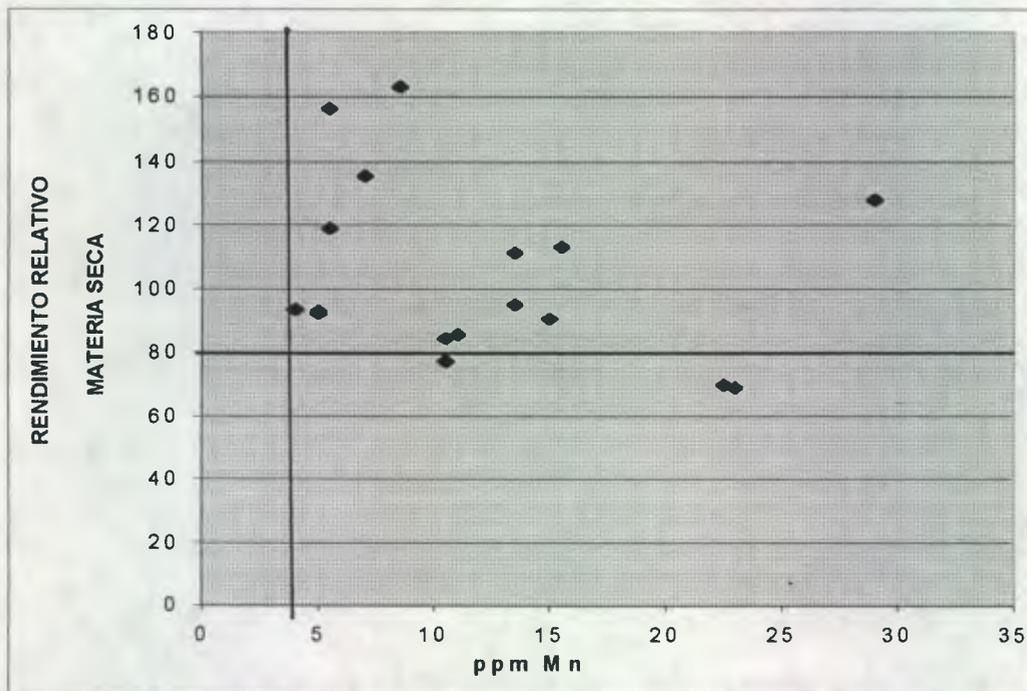
La determinación de los niveles críticos de Manganeso se realizó para la solución extractora en donde el rango de los índices de extracción fue más amplio en este caso, según al método de Cate y Nelson el nivel crítico con Carolina del Norte fue menor de 5.0 y con Acido clorhídrico fue menor de 4.0 ppm (figuras 7, 8). Con la soluciones extractora Olsen modificado no fue posible determinar el nivel crítico debido al rango estrecho entre los índices de extracción.

Los siguientes autores citados por Guerrero (11), reportan lo siguiente: Viets y Lindsay, 1973 utilizaron el extractante DTPA reportan valores en el nivel bajo menor a 1.0 ppm y en el nivel alto mayor a 1.0 ppm. Mortvedt, 1978 utilizando el extractante $0.05\text{HCl}+0.025\text{N H}_2\text{SO}_4$ (doble ácido) reporta valores en el nivel bajo menor a 10 ppm. Este mismo autor utilizando el extractante con Acido Clorhídrico 0.1N (HCl 0.1N) reporta valores en el nivel bajo menor a 5.0 ppm y en el nivel alto mayor a 20 ppm.

En conclusión los índices determinados del nivel crítico para Manganeso, reportado por los autores mencionados, coinciden con los niveles críticos determinados en esta investigación utilizando la solución extractora Carolina del Norte el nivel crítico fue menor de 5.0 ppm y con Acido Clorhídrico 0.1N fue menor de 4.0 ppm



GRAFICA 7 Nivel critico de manganeso con la solución extractora Carolina del Norte



GRAFICA 8 Nivel critico de manganeso con la solución extractora Ácido Clorhídrico 0.1N

8. CONCLUSIONES

- 8.1 Para cobre con la solución extractora Olsen modificado el nivel crítico fue menor de 1.4 ppm y con Acido Clorhídrico fue menor de 0.5 ppm.
- 8.2 Para Zinc con la solución extractora Carolina del Norte fue de 1.6 ppm y con Acido Clorhídrico fue menor de 3.1 ppm.
- 8.3 Para Hierro con la solución extractora Olsen Modificado fue menor de 4.0 ppm y con Acido Clorhídrico fue menor de 4.0 ppm
- 8.4 Para Manganeso con la solución extractora Carolina del Norte el nivel crítico fue menor de 5.0 ppm Y con Acido Clorhídrico el nivel crítico fue menor de 4.0 ppm.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Realizar nuevas investigaciones en otras regiones del país con otro grupo de suelos.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Aguilar, A.; Etchevers, J.; Castellanos, R. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. México, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. p. 1-118.
2. Beneton, J. JR. 1990. Universal soil extractants, their composition an use. Commun in Soil SCI Plant Anal. 21(15-16):1091-1101.
3. Bidwell, RGS. 1990. Fisiología vegetal. Trad. por Guadalupe Gerónimo Cano. México, AGT. 784 p.
4. Cruz, JR. de la 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
5. Chilimba, ADC.; Mughogho, SK.; Wendt, J. 1999. Melhlich 3 or modified Olsen for soil testing in Malawi. Commun Soil SCI Plant Anal. 30(7-8):1231-1250.
6. Devlin, R. 1980. Fisiología vegetal. Trad. por Xavier Llimona Pages. Barcelona, España, Omega. p. 280-304.
7. Díaz Romeu, R.; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos; análisis químico de suelos y tejido vegetal de investigación e invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p.
8. Fassbender, HW. 1982. Química de suelos. San José, Costa Rica, IICA. p. 381-387.
9. García, A.; Martínez, F.; Ruiz, E.; Rodríguez, I.; Varela, J. 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA. 242 p.
10. Gatti, M.; Anguissola, I.; Scotti, M.; Silva, S. 1991. Evaluation of soil extractants to estimate available microcronutrients under wheat-field conditions. Commun Soil SCI Plant Anal. 22(17-18):1883-1893.
11. Guerrero, RR. 1980. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. In Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 141-199.
12. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1970. Diccionario geográfico nacional. Guatemala. tomo 3, 348 p.

REPUBLICA DE GUATEMALA
Biblioteca Central

13. Jackson, ML. 1976. Análisis químico de suelos. Trad. José Beltrán M. 3 ed. Barcelona, España, Omega. 661 p.
14. Katyal, JC.; Randhawa, NS. 1986. Micronutrientes. Roma, Italia, FAO. 93 p. (Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal no. 7).
15. Mortvedt, JJ.; Giordano, PM.; Lindsay, WL. 1983. Micronutrientes en la agricultura. México, AGT. 742 p.
16. Rupa, TR.; Chukla, LM. 1999. Comparison of four extractants and chemical fructions for assessing avaible zinc and copper in soils of india. Commun Soil SCI Plant Anal. 30(19-20):2579-2591.
17. Sánchez, PA. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.

11. ANEXO

PROPIEDAD DE LA JUNTA
BIBLIOTECA CENTRAL
SAN CARLOS DE GUATEMALA

CUADRO 11A Cantidad de Nutriente agregado por unidad experimental

SUELO	DESCRIPCION	N	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn	S	B	Mo
1	L. 9 Iguazo Fca. Bolivia	3.00		6.08	1.54	4.46	3.20		3.60	0.90	0.90
2	L. 009 Fca. 1104	3.00		9.68	9.73	6.07	3.20		3.60	0.90	0.90
3	L. 003 Fca. 1257	3.00	4.85	0.64	3.90	5.36	3.20		3.60	0.90	0.90
4	L.4 El Tesoro Fca. Bolivia	3.00			5.68	3.57	3.20		3.60	0.90	0.90
5	El Baúl	3.00	9.80	3.74	1.54	0.54	3.20	0.64	3.60	0.90	0.90
6	Concepción	3.00	8.25		4.70	2.86	3.20		3.60	0.90	0.90
7	El Mirador	3.00		3.04	0.93	3.21	3.20	1.35	3.60	0.90	0.90
8	San Antonio	3.00			14.92	7.32	3.20	9.87	3.60	0.90	0.90
9	Velásquez	3.00	19.3	5.27	9.73	2.50	3.20	5.64	3.60	0.90	0.90
10	Pangola	3.00			2.43	3.04	3.20		3.60	0.90	0.90
11	Cañaverales Andisol	3.00	21.4	1.52	4.70	4.64	3.20	1.98	3.60	0.90	0.90
12	Cañavervales Alfisol	3.00	7.25	4.91	1.78	5.90	3.20		3.60	0.90	0.90
13	Irlanda	3.00		4.45	1.42	5.36	3.20	0.51	3.60	0.90	0.90
14	Puyumate	3.00	18.5	5.38	15.08	4.11	3.20	2.37	3.60	0.90	0.90
15	L.20 Fca. 1108	3.00	27.5	8.66	32.43	4.64	3.20	1.92	3.60	0.90	0.90
16	L.25 Fca. 1108	3.00	5.95	16.38	3.00	5.71	3.20		3.60	0.90	0.90
17	El Bálsamo	3.00	21.6	34.75	10.22	7.14	3.20	1.92	3.60	0.90	0.90

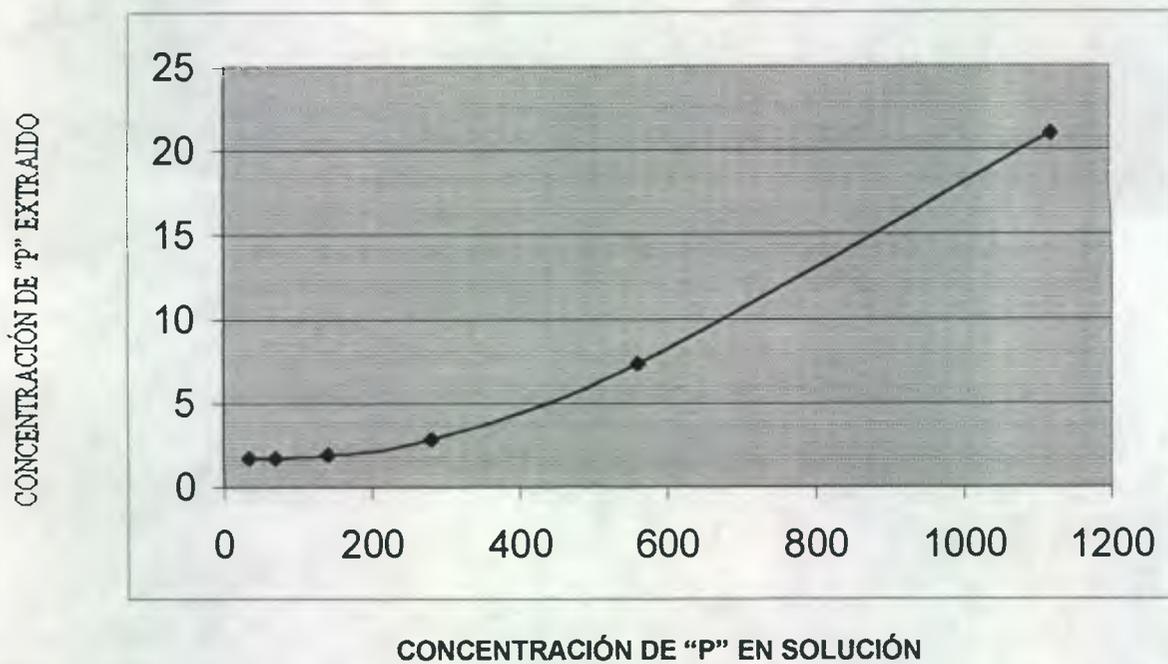
Fuente: Cálculos de laboratorio FAUSAC

CUADRO 12A Cantidad de Nutriente Agregado al suelo en base al estudio de sorción

SUELO	DESCRIPCION	P	K	CU	zn	Mn
partes por millón (ppm)						
1	L. 9 Iguazo Fca. Bolivia		0.52	19	13	
2	L. 009 Fca. 1104		0.40	120	17	
3	L. 003 Fca. 1257	315	0.055	48	15	
4	L.4 El Tesoro Fca. Bolivia			70	10	
5	El Baúl	635	0.32	19	2	5
6	Concepción	535		58	8	
7	El Mirador		0.26	12	9	10.5
8	San Antonio			184	21	77
9	Velásquez	1,250	0.45	120	7	44
10	Pangola			30	9	
11	Cañaverales Andisol	1,385	0.13	58	13	15.5
12	Cañavervales Alfisol	470	0.42	22	17	
13	Irlanda		0.38	18	15	4
14	Puyumate	1,200	0.46	186	12	18.5
15	L.20 Fca. 1108	1,785	0.74	400	13	15
16	L.25 Fca. 1108	385	1.40	37	16	
17	El Bálsamo	1,400	2.97	126	20	15

Fuente: Curvas de Sorción

GRAFICA 9A Curva de sorción de fósforo,
finca el bálsamo, ing. pantaleón.





FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA:

" EVALUACION DE TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS
DE ELEMENTOS MENORES Cu, Fe, Zn, Mn, CON SEIS
ORDENES DE SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR
DE GUATEMALA, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO "

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

ERWIN LEONEL PALENCIA BOCALETTI

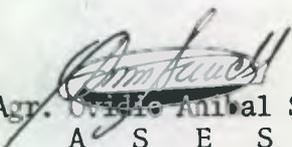
CARNET:

8114213

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Efraín Medina Guerra
Ing. Agr. Marcó Tulio Aceituno Juárez
Ing. Agr. José Jesús Chonay Pantzay

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

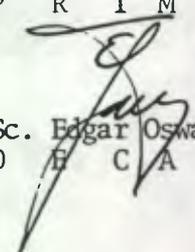
Ing. Agr.  Ovidio Anibal Sacbajá Galindo
A S E S O R

Ing. Agr.  Hugo Rolando Jordán Portillo
A S E S O R


Dr. Ariel Abderraman Ortiz Lopez
DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M A

Ing. Agr. M. Sc.  Edgar Oswaldo Franco Rivera
D E C A N O



AOL/nm
c.c. ARchivo
IIA
Control Académico