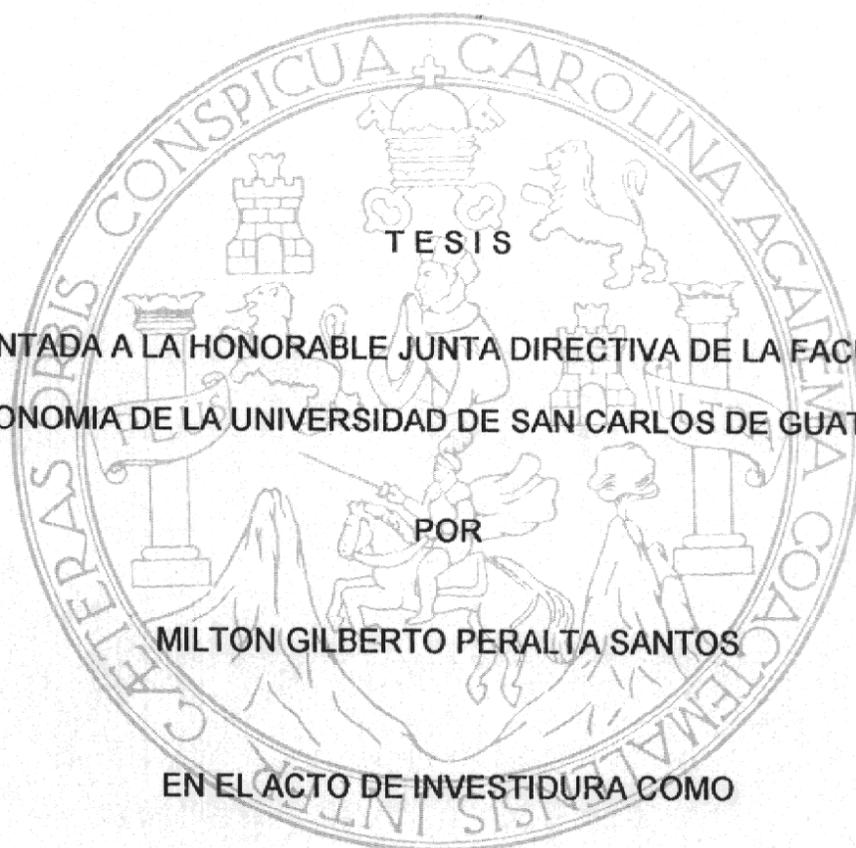


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO, AZUFRE Y ZINC EN
ANDISOLES Y ULTISOLES DE LA REGION CAFETALERA SUR DE GUATEMALA



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

POR

MILTON GILBERTO PERALTA SANTOS

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

GUATEMALA, FEBRERO DEL 2,000

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

ING. AGR. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO ING. AGR. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA
VOCAL PRIMERO ING. AGR. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO
VOCAL SEGUNDO ING. AGR. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ
VOCAL TERCERO ING. AGR. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ FIGUEROA
VOCAL CUARTO PROFESOR JACOBO BOLVITO RAMOS
VOCAL QUINTO BACHILLER JOSE DANIEL MENDOZA CIPRIANO
SECRETARIO ING. AGR. EDIL RENE RODRIGUEZ QUEZADA

Guatemala, 14 de Febrero del 2,000

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De conformidad, con lo que establece la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado

**DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO, AZUFRE Y ZINC EN
ANDISOLES Y ULTISOLES DE LA REGION CAFETALERA SUR DE GUATEMALA**

Presentándolo, como requisito previo, a optar al Título de Ingeniero Agrónomo, en el Grado Académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

En espera de su aprobación, me suscribo de Uds., atentamente,


Milton Gilberto Peralta Santos

ACTO QUE DEDICO**A:****DIOS, POR SU INFINITA AYUDA**

MIS PADRES	JOSE GILBERTO PERALTA ALFARO ESPERANZA SANTOS HERRERA DE PERALTA
MI HERMANO	MARIO ENRIQUE PERALTA SANTOS
MI ESPOSA	NORMA AMALIA ABASCAL HERNANDEZ DE PERALTA
MIS HIJOS	ALEJANDRO Y MARIA JIMENA

TODA MI FAMILIA, QUE SERIA LARGO ENUMERAR, PERO FACIL DE RECORDAR**MIS AMIGOS Y FAMILIAS AMIGAS, QUE ME AYUDARON A LLEGAR A ESTA META**

TESIS QUE DEDICO

A:

ESCUELA DE PARVULOS "ESPERANZA DEL CARMEN RAMIREZ"

ESCUELA PRIMARIA PARA VARONES "20 DE OCTUBRE"

INSTITUTO MIXTO DE EDUCACION BASICA SUBVENCIONADO
"ABRAHAM LINCOLN"

ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA "ENCA"

FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

TODOS Y CADA UNO DE LOS CATEDRATICOS Y CATEDRATICAS,
QUE TUVE DURANTE LOS AÑOS DE ESTUDIOS, A LO LARGO DE
MI VIDA

TODOS MIS COMPAÑEROS Y COMPAÑERAS DE ESTUDIO,
EN ESPECIAL "AL GRUPO DE LOS SEIS"

TODOS LOS AGRICULTORES DE GUATEMALA

SINCEROS AGRADECIMIENTOS

A:

ING. AGR. JOSE JESUS CHONAY
ING. AGR. RICARDO DEL VALLE BARRERA
ING. AGR. RUDY SIERRA SANTOS

Por su valiosa ayuda, orientación y asesoría en el desarrollo del presente trabajo de Tesis.

LA ASOCIACION NACIONAL DEL CAFE Y SU PERSONAL

Por todo el apoyo brindado, para sacar adelante la carrera universitaria y en el desarrollo de la Tesis

CONTENIDO GENERAL

Resumen	xii
1. Introducción	1
2. El problema	2
3. Marco teórico	4
3.1. Marco conceptual	4
3.1.1. Evaluación de la fertilidad del suelo	4
3.1.2. Análisis químico de suelo	4
3.1.3. Niveles críticos de concentración de nutrientes en los suelos	5
3.1.4. Determinación del nivel y rango críticos de concentración de nutrientes por medio del método gráfico de Cate y Nelson	6
3.1.5. Estudios adicionales en la determinación de niveles y rangos críticos de concentración de nutrientes	9
3.1.6. Factores que afectan los estudios de niveles críticos	11
3.2. Marco referencial	13
3.2.1. Metodología de sorción para estudios de niveles críticos	13
3.2.2. Investigaciones sobre Fósforo	13
3.2.3. Investigaciones sobre Azufre	14
3.2.4. Investigaciones sobre Zinc	15
3.2.5. Descripción de las soluciones extractoras evaluadas	16
3.2.5.A. Solución Olsen Modificado	16
3.2.5.B. Solución Bray-Kurtz I	17
3.2.5.C. Solución Mehlich I	17
3.2.5.D. Solución Mehlich III	18
3.2.5.E. Solución Fosfato Monobásico de Calcio	18
3.2.6. Región Cafetalera de Guatemala	19
3.2.6.A. Descripción de la Región Cafetalera Sur de Guatemala	19
3.2.6.B. Características de los Andisoles	21
3.2.6.C. Características de los Ultisoles	22
3.2.7. Ubicación del área experimental	23
3.2.7.A. Muestreo de Suelos	23
3.2.7.B. Fase de Invernadero	23
3.2.7.C. Fase de Laboratorio	23
4. Objetivos	27
5. Hipótesis	28
6. Metodología	29
6.1. Determinación del nivel y rango crítico de fósforo, azufre y zinc	29
6.1.1. Muestreo de suelos	29
6.1.2. Estudio de sorción	29
6.1.3. Fase de invernadero	31
6.1.4. Determinación de los niveles y rangos críticos	34
6.1.5. Correlaciones lineales complementarias	34

6.2. Metodología experimental	34
6.2.1. Modelo estadístico	34
6.2.2. Variables respuesta	35
7. Resultados	36
7.1. Nivel y rango críticos de fósforo	36
7.2. Nivel y rango críticos de azufre y zinc	43
7.3. Análisis de varianza	44
8. Conclusiones	45
9. Recomendaciones	46
10. Bibliografía	47
11. Apéndice	50

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Nivel crítico de fósforo, con la solución extractora Mehlich I en la serie de suelos Tempisque, calculado con el método gráfico de Cate y Nelson. Espinoza Navarro (11)	8
2 Ubicación de los sitios de muestreo en la Región Cafetalera Sur de Guatemala, definida por Sumner, <u>et al</u> (31)	26
3 Curva de sorción para fósforo en el sitio de muestreo S1, Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala	30
4 Nivel Crítico de Fósforo, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Olsen Modificado.	37
5 Nivel Crítico de Fósforo, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Bray-Kurtz I	37
6 Nivel Crítico de Fósforo, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Mehlich I	37
7 Nivel Crítico de Fósforo, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Mehlich III	37
8 Nivel Crítico de Fósforo, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Olsen Modificado	38
9 Nivel Crítico de Fósforo, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Bray-Kurtz I	38
10 Nivel Crítico de Fósforo, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Mehlich I	38
11 Nivel Crítico de Fósforo, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Mehlich III	38
12"A" Nivel Crítico de Azufre, Solución Fosfato Monobásico de Calcio, Andisoles	52
13"A" Nivel Crítico de Azufre, Solución Fosfato Monobásico de Calcio, Ultisoles	52
14"A" Nivel Crítico de Zinc, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Olsen Modificado	55
15"A" Nivel Crítico de Zinc, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Bray-Kurtz I	55
16"A" Nivel Crítico de Zinc, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Mehlich I	55
17"A" Nivel Crítico de Zinc, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Mehlich III	55
18"A" Nivel Crítico de Zinc, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Olsen Modificado	56
19"A" Nivel Crítico de Zinc, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Bray-Kurtz I	56
20"A" Nivel Crítico de Zinc, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Mehlich I	56
21"A" Nivel Crítico de Zinc, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Mehlich III	56

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Soluciones extractoras para análisis de suelo y su composición	5
2	Niveles y rangos críticos de fósforo evaluados 1,982-1,987	14
3	Soluciones extractoras evaluadas y su composición química	16
4	Sitios de muestreo para los Andisoles y su clasificación según el estudio de Sumner, <u>et al</u> (31)	24
5	Sitios de muestreo para los Ultisoles y su clasificación según el estudio de Sumner, <u>et al</u> (31)	25
6	Niveles de fósforo, azufre y zinc adicionados a cada submuestra de los sitios de muestreo para el estudio de sorción	30
7	Niveles de fósforo, azufre y zinc determinados para la fase de invernadero, en la determinación del nivel y rango críticos	31
8	Tratamientos de fósforo, azufre y zinc en la fase de invernadero	31
9	Niveles de nutrientes complementarios aplicados en la fase de invernadero, para la determinación del nivel y rango críticos	32
10	Análisis de nutrientes en el agua de riego en la fase de invernadero	33
11	Temperatura y humedad relativa de abril a octubre de 1,992 en el invernadero del Laboratorio de Entomología, Finca Buena Vista, Asociación Nacional del Café de Guatemala	33
12	Rendimiento de biomasa y fósforo en tejido vegetal de plántulas de café (<u>Coffea arabica</u> L.), cultivadas sobre muestras de los suelos con tratamiento de fósforo	36
13	Niveles y rangos críticos de fósforo en Andisoles y Ultisoles de la Región Cafetalera Sur de Guatemala	39
14	Correlación entre extracción química de fósforo y rendimiento relativo de biomasa, y fósforo en tejido vegetal de plántulas de café (<u>Coffea arabica</u> L.) y fósforo aplicado como tratamiento	41
15	Materia orgánica y pH del suelo, de los sitios de muestreo	42
16	Correlaciones entre extracción química de fósforo y la materia orgánica del suelo	43
17	Resumen del análisis de varianza para rendimientos relativos de biomasa de plántulas de café (<u>Coffea arabica</u> L.), cultivadas con tratamientos de fósforo, azufre y zinc	44

Cuadro	Página
18"A" Concentración de fósforo (P) nativo, expresada en mg/Kg	50
19"A" Concentración de azufre (S) nativo, expresada en mg/Kg	51
20"A" Rendimiento de biomasa y azufre en tejido vegetal de plántulas de café (<u>Coffea arabica</u> L.), cultivadas sobre muestras de los suelos con tratamiento de azufre	53
21"A" Correlación entre extracción química de azufre y rendimiento relativo de biomasa y azufre en tejido vegetal de plántulas de café (<u>Coffea arabica</u> L.); y materia orgánica del suelo	53
22"A" Concentración de zinc (Zn) nativo, expresada en mg/Kg	54
23"A" Rendimiento de biomasa y zinc en tejido vegetal de plántulas de café (<u>Coffea arabica</u> L.), cultivadas sobre muestras de los suelos con tratamiento de zinc	57
24"A" Correlación entre extracción química de zinc y rendimiento relativo de biomasa, y zinc en tejido vegetal de plántulas de café (<u>Coffea arabica</u> L.); y zinc aplicado como tratamiento	58
25"A" Correlación entre la extracción química de zinc y la materia orgánica del suelo	58

DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO, AZUFRE Y ZINC EN
ANDISOLES Y ULTISOLES DE LA REGION CAFETALERA SUR DE GUATEMALA

DETERMINATION OF CRITICAL LEVEL FOR PHOSPHORUS, SULPHUR AN ZINC
ON ANDISOILS AND ULTISOILS OF THE GUATEMALA'S SOUTH COFFE REGION.

RESUMEN

Para ampliar la información, sobre la fertilidad del suelo, y debido a la importancia económica del cultivo de café (Coffea arabica L.) en Guatemala. En el presente estudio, se determinaron los niveles y rangos críticos de concentración de fósforo en el suelo. Usándose Andisoles y Ultisoles de la Región Cafetalera Sur de Guatemala, a nivel de invernadero y con plántulas de café (Coffea arabica L.), como plantas indicadoras. Teniéndose la colaboración del Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral, de la Asociación Nacional del Café de Guatemala.

Los niveles y rangos críticos de fósforo, para Andisoles son: Olsen Modificado: 2.4 y 1.5-3.5 mg/Kg; Bray-Kurtz I: 3.8 y 3.2-6.0 mg/Kg; Mehlich I: 3.2 y 2.5-6.2 mg/Kg y Mehlich III: 3.1 y 2.0-8.2 mg/Kg. En los Ultisoles son: Olsen Modificado: 9.9 y 6.5-13.5 mg/Kg; Bray-Kurtz I: 8.9 y 5.5-10.0 mg/Kg; Mehlich I: 9.3 y 8.0-13.2 mg/Kg y Mehlich III: 8.3 y 6.2-12.5 mg/Kg. En forma complementaria, se encontraron correlaciones lineales significativas entre la extracción química de fósforo y el rendimiento relativo de biomasa de plántulas de café (Coffea arabica L.), el fósforo aplicado como tratamiento; y la materia orgánica del suelo. El estudio también se desarrolló para azufre y zinc, sin embargo la distribución de puntos en el método gráfico de Cate y Nelson; asociada a los rendimientos relativos de biomasa de las plántulas de café (Coffea arabica L.) y a las concentraciones de los mismos en el suelo; impidió determinar los niveles y rangos críticos. Además las correlaciones no muestran relaciones importantes, por lo que los resultados sobre los mismos no son concluyentes.

1. INTRODUCCION

El uso del análisis de suelos, con fines de diagnóstico y pronóstico, en la aplicación de nutrientes; está basado en la determinación de los niveles críticos de concentración de los nutrientes en la solución del suelo. Para la obtención de los niveles y rangos críticos, es importante evaluar las soluciones extractoras a utilizar. Lo que permite formular prácticas de manejo en la corrección y mantenimiento del nivel de fertilidad de los suelos.

Para ampliar la información, en las recomendaciones para el cultivo de café (Coffea arabica L.), basados en los análisis químicos de suelos; para Andisoles y Ultisoles de la Región Cafetalera Sur de Guatemala, definida por el estudio de Sumner, et al (31). Se decidió determinar los niveles y rangos críticos de concentración de fósforo, azufre y zinc en el suelo. A nivel de invernadero, siendo usadas plántulas de café (Coffea arabica L.), como plantas indicadoras.

En la extracción de fósforo y zinc, se consideraron las soluciones de: Olsen Modificado, Bray-Kurtz I, Mehlich I, y la solución de Mehlich III, de reciente desarrollo, y actualmente en evaluación en algunos países de América.

La determinación se efectuó por espectrofotometría de absorción atómica. Para la extracción del azufre, se usó la solución de Fosfato Monobásico de Calcio, con el método turbidimétrico en la determinación.

En la definición de los niveles críticos, se utilizó el método gráfico de Cate y Nelson, en tanto que para el rango se usó el método discontinuo de medias.

Además se presentan los parámetros de asociación entre extracción química y la extracción que efectuaron las plántulas de café (Coffea arabica L.), por medio de los coeficientes de correlación lineal.

2. EL PROBLEMA

En Guatemala, gran parte de la información actual, sobre niveles y rangos críticos de concentración de nutrientes en el suelo, ha sido obtenida con la solución de Mehlich I. Manteniendo un enfoque general, y colocando al fósforo y potasio, como los nutrientes más investigados. Como lo muestran los estudios de ICTA (14), Barrillas Flores (4), Díaz Moscoso (9), Espinoza Navarro (10), González Spillari (13), Márquez Hernández (21), Meneses Ojeda (22) y Yoc Gómez (35), entre otros.

Dichos estudios, se han llevado a cabo, sin considerar directamente la Región Cafetalera Sur de Guatemala, definida por Sumner, *et al* (31); con una extensión aproximada bajo cultivo: 160,000 hectáreas; que la hacen de impacto socioeconómico para el país.

Aunque para dicha región, este único estudio sólo es de caracterización, y no define un Mapa de Suelos; Sumner, *et al* (31) considera que existen dos Ordenes de Suelos predominantes y que abarcan grandes extensiones. Coincidiendo con la descripción de Simmons, *et al* (29), que definen dos Series de Suelos importantes para dicha Región (aunque sin describir extensiones exactas) y que originalmente sirvieron de base al presente estudio. Siendo Andisoles en la Zona Cafetalera Suroeste y Ultisoles en la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala.

Por lo que el presente estudio, se desarrolló para determinar los niveles y rangos críticos de concentración de fósforo, azufre y zinc en el suelo. Sometiendo a evaluación las soluciones de Olsen Modificado, Bray-Kurtz I, Mehlich I y Mehlich III para el fósforo y zinc; y la solución Fosfato Monobásico de Calcio para el azufre.

Debido a que la disponibilidad de nutrientes para la planta, está relacionada con múltiples factores del suelo, clima y de la planta misma; y que como lo menciona Sánchez (26): "el nivel crítico es específico para ciertas situaciones de suelo-planta, aún con las mismas soluciones extractoras". Se decidió considerar el uso de plántulas de café (Coffea arabica L.),

como indicadoras, en la fase de invernadero. Porque muestran: "un acelerado crecimiento en dicha etapa de su desarrollo, son poco voluminosas, de fácil manejo y pueden demostrar el estado fisiológico de nutrición", como lo requieren Díaz y Hunter (8) y Norero (24) en el uso de plantas indicadoras.

Tomándose además, la referencia de Valencia Aristizábal y Franco Alvarez (33); que efectuaron estudios en CENICAFE, Colombia (1,985), considerando a la plántula de café (Coffea arabica L.), como una buena indicadora para los estudios de calibración de soluciones extractoras y niveles críticos, que ellos desarrollaron, para suelos bajo el cultivo; obteniendo resultados para Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc.

Incluye este estudio, además la comparación entre la asociación de la extracción química y la respuesta de la planta; misma que se puede representar por el rendimiento relativo de biomasa y el contenido de nutrientes en el tejido vegetal de las plantas. Por medio de los "coeficientes de correlación lineal simple", que Sánchez (26) y Tiesdale y Nelson (32) recomiendan.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. EVALUACION DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Tiesdale y Nelson (32) citan, que Sir Humphrey Davy afirmó en 1,813 que: "si un suelo es improductivo, la causa de su esterilidad puede ser determinada mediante análisis químicos". La evaluación de la fertilidad del suelo, Sánchez (26) la define como el proceso mediante el cual se hace un diagnóstico del estado nutricional del suelo, para realizar recomendaciones de fertilización, en la predicción de respuesta para los nutrientes extraídos por las plantas.

Fassbender (11), menciona que en el trópico se usan varios métodos para la evaluación de la fertilidad del suelo, y los más usados se basan en: análisis químico de suelo, análisis de planta, la técnica del nutriente faltante, ensayos biológicos con la evaluación de fuentes simples y complejas de nutrientes, y combinaciones. Uno de los procedimientos, que Sánchez (26) menciona, para la realización de la evaluación de la fertilidad del suelo; que fuera desarrollado por el ISFEIP, define el estudio de los niveles de disponibilidad y equilibrio de los nutrientes en el suelo. Para la recomendación de la adición de fertilizantes, abonos orgánicos y enmiendas al suelo incluyendo: condiciones, épocas y métodos de aplicación; para proporcionar el ambiente nutricional adecuado para la producción de las plantas.

3.1.2. ANALISIS QUIMICO DE SUELO

Fassbender y Bornemisza (12); y Norero (24) definen al análisis químico, como un método para determinar la cantidad de nutrientes del suelo disponibles para la planta y la cuantificación del nivel mínimo para el desarrollo y crecimiento vegetal; que se relaciona con la Ley del Mínimo de Liebig. Dicho análisis comprende, según Díaz y Hunter (8) la extracción química parcial o total, del nutriente que se analiza y que a veces es proporcional a la extracción fisiológica que hacen las plantas.

Seguendo los postulados de Bray, citados por Sánchez (26); en la selección de las soluciones extractoras, se deben satisfacer las condiciones siguientes: extraerse todas las formas disponibles de los nutrientes o una parte proporcional en suelos con propiedades ampliamente divergentes; el procedimiento debe ser rápido y preciso; y las cantidades extraídas deben correlacionar con el crecimiento de las plantas. El Cuadro 1, muestra algunas soluciones extractoras usadas en el análisis químico, para la determinación de la fertilidad del suelo.

CUADRO 1. Soluciones extractoras para análisis de suelo y su composición

SOLUCION EXTRACTORA	REACTIVOS Y CONCENTRACION	pH
+++TRIERWIELER Y NORVELL	EDTA 0.01M + (NH ₄) ₂ CO ₃ 1M	8.6
+*TROUG	H ₂ SO ₄ 0.002N	3.0
+++EDTA-ACETATO DE AMONIO	EDTA 0.01M + NH ₄ CH ₂ COOH 1N	7.0
#BRAY-KURTZ I	NH ₄ F 0.03N + HCl 0.025N	3.2
#BRAY-KURTZ II	NH ₄ F 0.30N + HCl 0.025N	—
*OLSEN	NaHCO ₃ 0.5M	8.5
*OLSEN MODIFICADO	NaHCO ₃ 0.5M + EDTA 0.01M + SUPERFLOCULANTE 127 0.01% (P/V)	8.5
+*MEHLICH I	H ₂ SO ₄ 0.025N + HCl 0.05N	1.3
**MEHLICH III	CH ₃ COOH 0.2N + NH ₄ NO ₃ 0.25N + NH ₄ F 0.015N + HNO ₃ 0.013N + EDTA 0.01M	2.5

FUENTES: * Dewis y Freitas (7) +* Sánchez (26) ** Sierra Santos (27)
López Ritas y López Mérida (20) *** Valencia y Franco (33)

Díaz y Hunter (8); y Fassbender y Bornemisza (12) mencionan, las actividades para el análisis químico de suelo: obtención de muestras de suelo, preparación de muestras, análisis químico, interpretación de resultados y recomendación de nutrientes en base económica.

El Instituto Americano de la Potasa (1) admite que una solución extractora no puede aplicarse para todos los suelos, por las diferencias físico-químicas de los mismos, que afectan la capacidad extractiva de las soluciones en ellos y la disponibilidad de los nutrientes.

3.1.3. NIVELES CRITICOS DE CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN LOS SUELOS

Justus von Liebig (1,803-1873), citado por Tiesdale y Nelson (32), desarrolló la Ley del

Mínimo, al deducir que: "el crecimiento de las plantas está limitado por el nutriente presente en más pequeña cantidad, si todos los otros estaban presentes en cantidades adecuadas".

En tanto Díaz y Hunter (8) mencionan que si dicho factor primario es corregido hasta un nivel adecuado, entonces, el siguiente factor limitante pasa a ser el primero, etc. Si se hace una detección y corrección de cada factor limitante, se establece una condición tal, que en último caso sólo el potencial genético de la planta sería limitante.

El uso del análisis de suelo, Díaz y Hunter (8) lo señalan como un medio para determinar el estado de fertilidad, en términos de disponibilidad adecuada o excesiva de los nutrientes presentes en el suelo para las plantas, está basado en la obtención de niveles críticos de concentración de nutrientes; en relación con la solución extractora usada. "El nivel crítico es el punto de concentración del nutriente en el cual el crecimiento de la planta está restringido por el grado en que éste se encuentre"; en este caso, los niveles críticos se conocen como "D" deficiencia o "T" toxicidad; siendo que el nivel crítico "D", en la mayoría de los casos está mejor definido que el nivel crítico "T".

Sánchez (26) menciona que el nivel crítico de concentración de un nutriente es específico para ciertas situaciones de suelo-planta, aún con las mismas soluciones extractoras.

3.1.4. DETERMINACION DEL NIVEL Y RANGO CRITICOS DE CONCENTRACION DE NUTRIENTES POR MEDIO DEL METODO GRAFICO DE CATE Y NELSON

Díaz y Hunter (8) y Sánchez (26) mencionan que el método gráfico de Cate y Nelson consiste en efectuar un diagrama de dispersión, ubicando en un sistema de coordenadas cartesianas, en el eje de las abscisas los valores del análisis de suelo extraídos con la solución extractora en estudio para el nutriente a evaluar, y en el eje de las ordenadas los valores de rendimiento relativo; como se ilustra en la Figura 1. Se usa una hoja transparente de superposición con cuadrantes; ploteándose los datos, de manera tal que el mayor número de

puntos se encuentre en los cuadrantes inferior izquierdo y superior derecho; y el menor número de puntos en los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho.

Como se observa en la Figura 1, el punto en que la línea vertical corta al eje de las abscisas, es el nivel crítico del nutriente para la solución extractora; y el punto en que la línea horizontal corta al eje de las ordenadas, separa los suelos de respuesta alta de los de respuesta baja a la aplicación del nutriente.

Sánchez (26) describe que al comparar el método gráfico de Cate y Nelson con los métodos convencionales de correlación, éste tiene ventajas porque: separa los datos en dos poblaciones: sigue la Ley del Mínimo de Liebig, por cuanto el nivel crítico es el punto más allá del cual el nutriente de que se trata, deja de ser limitante; en contraposición, los modelos de regresión continuos no presentan puntos de inflexión y obligan a que los agrupamientos sean arbitrarios.

Y reconoce la limitación básica de los análisis de suelo: éstos sólo son capaces de separar los suelos con probabilidad de responder al fertilizante, de los que probablemente no respondan. El método identifica los suelos en que la solución extractora no trabaja bien: o sea los puntos en los cuadrantes negativos.

Cate y Nelson, citados por Yoc Gómez (35), mencionan que el nivel crítico es un punto difícil de establecer, para las condiciones suelo-planta, por lo tanto es conveniente hablar de un rango de concentración del nutriente. Calculándose a partir del nivel crítico obtenido por el método gráfico, usando un modelo discontinuo de medias.

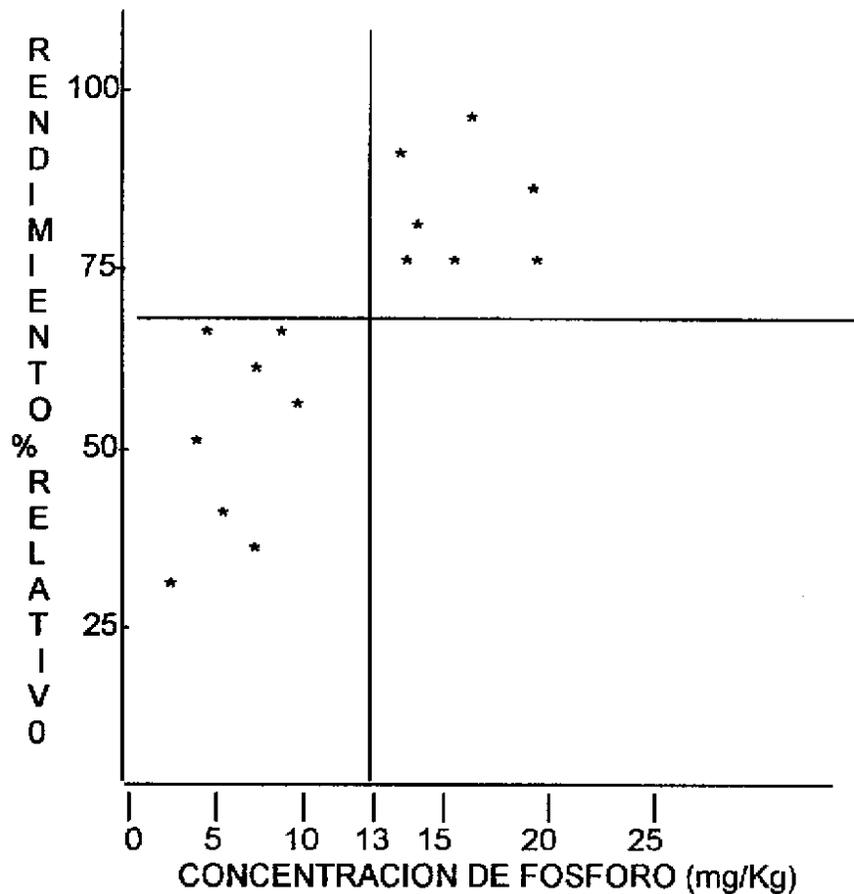


FIGURA 1. Nivel crítico de fósforo, con la solución extractora Mehlich I en la serie de suelos Tempisque, calculado con el método gráfico de Cate y Nelson Espinoza Navarro (10)

Sánchez (26) menciona que el crecimiento y rendimiento de las plantas son función de muchas variables, más allá del simple nutriente en consideración. Fitts, citado por Sánchez (26), define que el rendimiento es una función de más de 100 variables, que pueden agruparse en las diferentes categorías: suelo, planta, clima y manejo; por lo tanto Sánchez (26) agrega que cuando el rendimiento se relaciona con una variable, tal como fósforo disponible (ejemplificado en la Figura 1), ello significaría que el fósforo es el factor limitante.

Generalmente en los estudios de invernadero se obtienen altos coeficientes de correlación, pues las variables no controladas son más uniformes; sin embargo cuando el rendimiento de las plantas se grafica en función de los valores analíticos del suelo, ocurre dispersión de puntos.

Wauht et al, citados por Sánchez (26) definen que cuando se usa rendimiento relativo en lugar de rendimiento absoluto de las plantas, la variabilidad se reduce considerablemente. El rendimiento relativo se puede entonces calcular de dos formas:

Respuesta en porcentaje del rendimiento: donde el rendimiento máximo se divide entre rendimiento a nivel cero del nutriente evaluado.

Grado de rendimiento: el valor se obtiene cuando el rendimiento a cierto nivel de fertilidad se divide entre el rendimiento máximo estable.

En ambos casos, los valores de rendimiento relativo de las plantas, reducen la variabilidad, y mejoran la dispersión de los puntos para la determinación del nivel crítico de concentración del nutriente en estudio. Y la predicción de la situación suelo-planta donde hay probabilidad de respuesta a la fertilización con dicho nutriente. Aunque la Asociación Americana de Agronomía (2) menciona que algunas plantas no logran crecer y desarrollarse en el invernadero, como lo hacen en el campo, haciendo variar los rendimientos tanto absolutos como relativos.

3.1.5. ESTUDIOS ADICIONALES EN LA DETERMINACION DE NIVELES Y RANGOS

CRITICOS DE CONCENTRACION DE NUTRIENTES

Sánchez (26); y Tiesdale y Nelson (32) proponen que junto a la determinación de los niveles críticos, se deben efectuar estudios sobre la asociación entre la extracción de los nutrientes por el análisis de suelo, y la respuesta de la planta a la disponibilidad del mismo; estos se pueden desarrollar a través del coeficiente de correlación lineal.

El concepto de "correlación de soluciones extractoras" utilizado en la evaluación de la fertilidad de suelos, define la relación entre la extracción química y la extracción fisiológica que efectúan las plantas; y que Sánchez (26), Tiesdale y Nelson (32), exponen, se puede evaluar a través del "coeficiente de correlación lineal", que refleja la asociación entre la extracción de un nutriente en el análisis de suelo, con la respuesta de la planta a la disponibilidad del mismo.

Coincidiendo con Walsh y Beaton (34), en cuanto a que dichas correlaciones lineales son elementos básicos, en la determinación de los niveles y rangos críticos de concentración de nutrientes.

Para determinar tales correlaciones lineales, Sánchez (26) menciona que se debe explorar a dos niveles: el primero en invernadero con un gran número de suelos ampliamente divergentes en su manejo y fertilidad, con el fin de comparar las diferentes soluciones extractoras con el desarrollo de planta indicadoras; y determinar los niveles y rangos críticos. Sin embargo las correlaciones lineales a nivel de invernadero no son tan exactas por la limitante del volumen del suelo y el manejo usados en las submuestras del mismo.

Mientras el segundo nivel de exploración se efectúa en el campo, con un número menor de suelos, previamente seleccionados en el invernadero, que permite redefinir los niveles y rangos críticos obtenidos en el invernadero.

Raij (25); y Walsh y Beaton (34) describen que el estudio para correlacionar soluciones extractoras con el crecimiento vegetal, consiste en hacer crecer plantas sobre submuestras representativas de suelos en invernadero, y en otras submuestras se analiza la concentración de nutrientes por medio de las soluciones extractoras en estudio.

La asociación se define por la correlación lineal entre los niveles de nutrientes en los suelos y la absorción de los nutrientes por las plantas, cuantificada según Norero (24), por dos formas de análisis:

Análisis Directo: consiste en correlacionar cantidades extraídas para diversos suelos, para un nutriente; y la cantidad del nutriente obtenida por las plantas en esos suelos, que puede medirse en varias formas:

Extracción total del nutriente: el valor se obtiene durante el desarrollo de la planta, incluyendo tallos, hojas y raíces.

Extracción parcial del nutriente: el valor se obtiene cuando se analiza una fracción del desarrollo o una sección parcial de la planta.

Concentración del nutriente en la biomasa total de la planta: evaluando el porcentaje del nutriente basándose en materia seca vegetal.

Concentración del nutriente en hojas y pecíolos.

Análisis Indirecto: consiste en correlacionar las cantidades extraídas del nutriente con alguno(s) de los índices siguientes:

Producción de biomasa de las plantas indicadoras: cuando éstas sólo dependen del nutriente investigado, para asegurar ésta condición se aplican los otros nutrientes complementarios.

Grado de respuesta de la planta a la aplicación de fertilizante: aplicando distintos niveles del nutriente investigado y para lo cual se fertilizan los suelos con los nutrientes complementarios.

Valores analíticos obtenidos en la correlación de otras soluciones extractoras para el nutriente investigado, usando los métodos anteriores

3.1.6. FACTORES QUE AFECTAN LOS ESTUDIOS DE NIVELES CRITICOS

La Asociación Americana de Agronomía (2), cita los siguientes factores que afectan los estudios de determinación de niveles críticos:

Producción de las plantas: los experimentos de campo o invernadero, dependen del crecimiento o producción, como un criterio para diferenciar entre niveles de nutrientes del suelo, siendo esto inexacto, debido a la relación que guardan las cosechas y los niveles de nutrientes. Este tipo de error debe ser reconocido, puesto que, esas diferencias de niveles de nutrientes del suelo, pueden ser medidas químicamente y no ser reflejo exacto de la realidad del suelo.

Disponibilidad adecuada de nutrientes: el crecimiento de las plantas debe ser representativo de las tasas de crecimiento, durante todo el período del mismo; esto puede ocurrir solamente cuando la adición de nutrientes móviles es adecuada, para permitir cada tasa de crecimiento.

Movilidad de nutrientes: para muchos suelos, con contenidos de algunos coloides inorgánicos y orgánicos, y la capacidad de intercambio catiónico mayor de 3 meq/100g de suelo, probablemente el nitrato, el boro y el agua, puedan considerarse nutrientes móviles. De cualquier modo, conforme disminuye la cantidad de coloides y la capacidad de intercambio catiónico; disminuye también la movilidad de nutrientes como fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Algunas restricciones, que la Asociación Americana de Agronomía (2) menciona, para los estudios a nivel de invernadero, son:

La restricción del volumen de raíces en el invernadero, que puede afectar la respuesta de las plantas, a la aplicación de los nutrientes; una reducción de la cantidad y calidad de los nutrientes en el suelo, debido al manejo de las submuestras, que no puede omitirse para desarrollar el estudio, y que influencia la respuesta de las plantas y la producción de las mismas; los efectos del subsuelo y el clima no son medidos y/o agregados en el estudio de invernadero. Y algunas plantas no logran crecer y desarrollarse en el invernadero, como lo harían en el campo, haciendo variar la respuesta de producción.

Sierra Santos (27), describe algunos factores que pueden afectar los valores del análisis de plantas, en las correlaciones complementarias, que se desarrolla para los niveles críticos en algunas oportunidades: Muestras inapropiadas de las plantas; muestras con daños provocados por aspersiones de pesticidas u otros productos, plagas y/o enfermedades; muestras que provienen de partes de las plantas, recientemente nutridas y que no son representativas de la distribución de los nutrientes en las plantas; baja humedad y temperatura del suelo, en un período previo considerable al muestreo; drenaje deficiente del suelo y daños al sistema radicular.

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. METODOLOGIA DE SORCION PARA ESTUDIOS DE NIVELES CRITICOS

Para efectuar estudios a nivel de invernadero, donde se aplican niveles crecientes de nutrientes; para la definición de niveles críticos. Díaz y Hunter (8) mencionan, que a causa de las características dinámicas del suelo, cuando se le agrega algún material o nutriente, éste puede estar sujeto a cambios físicos, químicos y biológicos; por el desarrollo de las reacciones que se llevan a cabo en el suelo.

La disponibilidad varía, debido no sólo al nutriente agregado, sino también a los nutrientes presentes en el suelo; por conveniencia de expresión, este cambio de los nutrientes, es llamado en "sorción". Ya que la sorción, afecta la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, es necesario determinar la capacidad de sorción de los suelos.

Esta metodología (que se efectúa por separado para P, K, Mn, Cu y Zn; y para Bo y S), es propuesta por Díaz y Hunter (8) e incluye: Preparación de las soluciones de sorción; preparación de las soluciones para los tratamientos de sorción; establecimiento del estudio de sorción; análisis y estudio de sorción; y cómputo de los resultados.

3.2.2. INVESTIGACIONES SOBRE FOSFORO

En Guatemala, 1,973-1,974 ICTA (14) realizó las primeras pruebas para determinar el nivel crítico de fósforo; estableciendo en condiciones de invernadero 19 mg/Kg de fósforo como nivel crítico; y luego en calibración de campo en 44 sitios se redefinió a 5.7 mg/Kg de fósforo, utilizando la solución Mehlich I.

Además, en otras instituciones se han efectuado estudios para determinar niveles y rangos críticos, siendo el fósforo uno de los más estudiados, por la importancia del mismo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. En el Cuadro 2, se detallan los valores para fósforo.

CUADRO 2. Niveles y rangos críticos de fósforo evaluados 1,982-1,987

SOLUCION EXTRACTORA	SERIE DE SUELOS°	NIVEL CRITICO	RANGO CRITICO	
**	MEHLICH I	ALOTENANGO	12.40 mg/Kg	----
*	MEHLICH I	CAUQUE	7.50 mg/Kg	6.62 - 8.14 mg/Kg
+	MEHLICH I	SINAQUEQUE	25.00 mg/Kg	23.00 - 28.00 mg/Kg
++	MEHLICH I	SUCHITEPEQUEZ	7.00 mg/Kg	6.00 - 10.00 mg/Kg
*	MEHLICH I	TECPAN	8.90 mg/Kg	8.14 - 9.66 mg/Kg
+	MEHLICH I	TEMPISQUE	13.00 mg/Kg	10.00 - 16.00 mg/Kg
**	OLSEN MOD.	ALOTENANGO	15.40 mg/Kg	----
*	OLSEN MOD.	CAUQUE	3.20 mg/Kg	3.00 - 3.40 mg/Kg
+	OLSEN MOD.	SINAQUEQUE	3.45 mg/Kg	3.00 - 3.50 mg/Kg
*	OLSEN MOD.	TECPAN	5.35 mg/Kg	4.70 - 6.00 mg/Kg
+	OLSEN MOD.	TEMPISQUE	3.40 mg/Kg	2.80 - 4.00 mg/Kg
++	BRAY-KURTZ II	SUCHITEPEQUEZ	15.00 mg/Kg	12.00 - 22.00 mg/Kg

FUENTES: + Espinoza Navarro (10) * Márquez Hernández (21) ++ Yoc Gómez (35)
 ** Meneses Ojeda (22) ° Simmons, Tarano y Pinto (29)

3.2.3. INVESTIGACIONES SOBRE AZUFRE

En Guatemala, ICTA (14) menciona que debido a la importancia del azufre en la nutrición mineral y por ser un factor limitante en el rendimiento de las plantas; se desarrolló un ensayo a nivel de invernadero, para determinar la metodología de análisis de azufre y el nivel crítico del mismo: encontrando que el mismo es de 14 mg/Kg, extraído con la solución Acetato de Amonio 0.5 N y Acido Acético 0.25 N.

Además Silva y Gómez (28), en la evaluación de 30 suelos del sur de Huila, Ecuador; indican que el nivel crítico de concentración de azufre encontrado fué de 4.1 mg/Kg, extraído con Cloruro de calcio 0.15 %, con un rango crítico que varía de 0.10 a 8.8 mg/Kg; mencionando que el nivel crítico y la relación nitrógeno/azufre en plantas, se manifestaron como los mejores indicadores de la disponibilidad de azufre en el suelo.

En el Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral, de la Asociación Nacional del Café (3), se utiliza en el análisis de azufre, la extracción con la solución de Fosfato Monobásico de Calcio; y la determinación por medio del método Turbidimétrico, con lectura en Colorímetro.

3.2.4. INVESTIGACIONES SOBRE ZINC

A pesar de la importancia, a la fecha existe poca información disponible sobre investigaciones con niveles críticos de zinc, que pueda discutirse en este estudio. Sin embargo, Katyal y Randhowa (19), mencionan que el contenido total de zinc en el suelo, puede variar entre 10 y 300 mg/Kg, aunque algunos tipos de suelos exhiben un contenido total muy bajo de zinc (menos de 30 mg/Kg), y puede haber deficiencia en estos tipos de suelos, debido a la disponibilidad del mismo.

Según Katyal y Randhowa (19) sólo una pequeña fracción, del contenido total de zinc, está disponible para las plantas, "apenas unas cuantas partes por millón y muy frecuentemente menos de una parte por millón". Tal caso se presenta, porque varios factores influyen en la disponibilidad: pH alcalinos ($\text{pH} > 6.0$ ya presentan deficiencias); bajo o excesivo contenido de materia orgánica, textura gruesa, alta disponibilidad de fosfatos en el suelo, entre otros.

Los niveles críticos de zinc en el suelo, varían con la sensibilidad de los cultivos; sin embargo se considera que existe deficiencia con menos de 0.6 mg/Kg y se recomienda la fertilización con zinc, en el caso de la mayoría de los cultivos en suelos diversos. No se ha encontrado respuesta al uso de fertilizantes cuando el suelo ofrece un contenido superior a 1.0 mg/Kg; para el rango 0.5-1.0 mg/Kg, no se sabe con seguridad si el tratamiento con zinc es útil.

Además Valencia Aristizábal y Franco Alvarez (33), mencionan que algunas prácticas comunes para el cultivo de café (Coffea arabica L.): como fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y en ocasiones el encalamiento de suelos ácidos, pueden afectar negativamente la disponibilidad del zinc. Además de mencionar, que la cantidad de Hierro en el suelo guarda una relación con la disponibilidad del Zinc.

Describiendo como normales, valores para zinc en Andisoles, de 2.0 a 4.0 mg/Kg, y encontrando correlaciones para la extracción química y el contenido en el tejido vegetal para la solución EDTA+ NH_4OAc ., Olsen Modificado, Mehlich I, Lindsay & Norvell y Trierwieler & Norvell.

filtración del carbono. El cual en las soluciones extractoras alcalinas ya se ha eliminado mediante el tratamiento de los suelos con "superfloculante 127", un floculante comercial.

Además agregándose una modificación posterior, adición de EDTA, mejoró la efectividad, siendo que el "Olsen Modificado" es un extractante efectivo no sólo para fósforo disponible, sino también para otros nutrientes.

Sin embargo, Dewis y Freitas (7), mencionan que la solución extractora tiene dos inconvenientes en la determinación de fósforo: Tendencia a disolver materia orgánica (produciendo extractos coloreados azules); y debe acidificarse antes de formarse el azul de molibdeno (que forma dióxido de carbono, que perturba la colorimetría, sino se tiene un tiempo adecuado de espera). Díaz y Hunter (8) por su parte mencionan que esta solución extractora es usada para suelos dentro de un amplio rango de pH.

3.2.5.B. SOLUCION BRAY-KURTZ I

López Ritas y López Mérida (20), indican que esta solución es adecuada para suelos con baja y mediana capacidad de intercambio catiónico, que se encuentren bajo climas húmedos o subhúmedos; aunque tolera, en la determinación de fósforo disponible, pequeñas cantidades de las formas P-Ca, no es recomendable para suelos arcillosos o con carbonato libre.

Dewis y Freitas (7), describen que la solución Bray-Kurtz I es conveniente en la determinación de fósforo, para la mayoría de suelos.

3.2.5.C. SOLUCION DE MEHLICH I

Díaz y Hunter (8) mencionan que la solución Mehlich I, es utilizada para suelos con pH menores de 6.5; mientras Sánchez (26) menciona que Mehlich I es la solución efectiva para determinar fósforo del suelo; en Brasil y Guatemala es utilizada para extraer potasio y fósforo.

El ISFEIP, cita Sánchez (26), recomienda la solución extractora de Mehlich I para determinar los contenidos de fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, hierro, cobre y zinc. El informe anual de ICTA (14), en 1,974 describe, la calibración en Guatemala para la solución desarrollada por Mehlich, Nelson y Winters (Mehlich I); usando 44 suelos de Guatemala y definiendo los niveles y rangos críticos para fósforo y potasio.

Los estudios efectuados por Barrillas Flores (4), Díaz Moscoso (9), González Spillari (13), Márquez Hernández (21), Meneses Ojeda (22), Valencia y Franco (33) y Yoc Gómez (35); en la determinación de niveles y rangos críticos de fósforo y potasio, encontraron significancia para la correlación con esta solución, en varios suelos de la planicie costera de Guatemala, con distintas plantas indicadoras, especialmente sorgo.

3.2.5.D. SOLUCION DE MEHLICH III

Sierra Santos (27) menciona que ésta es una solución extractora de reciente desarrollo, por la Universidad de Carolina del Norte; y aún no ha sido evaluada en Guatemala. En algunos países de América se encuentra en estudio, por lo que información más exhaustiva no está disponible aún.

3.2.5.E. SOLUCION DE FOSFATO MONOBASICO DE CALCIO

Según Sierra Santos (27), esta solución, que es utilizada por el Laboratorio de Suelos de la Asociación Nacional del Café de Guatemala; presenta buenos resultados en la extracción de las formas disponibles de azufre en el suelo. Dicha solución utiliza 500 mg/Kg de Fósforo, como fosfato, debido a la alta interacción que muestra el azufre para capturar el calcio presente en la solución; y formar sulfato de calcio, liberando una cantidad relativa de fosfatos que luego son determinado por turbidimetría, con lectura en Colorímetro.

3.2.6. REGION CAFETALERA DE GUATEMALA

Sumner, et al (31) mencionan que la Región Cafetalera de Guatemala abarca aproximadamente 245,000 hectáreas de cultivo, y está subdividida en: Región Sur y Región Norte, como se aprecian en la Figura 2.

3.2.6.A. DESCRIPCION DE LA REGION CAFETALERA SUR DE GUATEMALA

La Región Cafetalera Sur, ocupa alrededor de 160,000 hectáreas, y según Sumner, et al (31); por las diferencias fisiográficas, geológicas y de suelos, se divide en dos zonas: Suroeste y Sureste, siendo el punto de división en la longitud de la ciudad de Guatemala, mostradas en la Figura 2. Sumner, et al (31) describen, que la Región Sur comprende una cadena volcánica, que se extiende de oeste a este, surgiendo de las planicies costeras del océano Pacífico, perdiéndose en las montañas hacia el norte.

En la Zona Suroeste se alcanzan elevaciones de 500 msnm, en las faldas de los volcanes asociadas con las planicies costeras; y más de 4,000 msnm, en las cimas de los volcanes. Esta zona tiene topografía pronunciada y los suelos, como los depósitos volcánicos recientes son fácilmente erosionables; la red de drenaje no está desarrollada completamente y los ríos que nacen en esta zona desembocan en el océano Pacífico.

Las elevaciones máximas de la Zona Sureste, son de 2,000 msnm, los valles entre los volcanes son en general más anchos y con topografía más ondulada, sin embargo, las montañas que se encuentran en toda el área poseen laderas con inclinaciones pronunciadas. El drenaje se dirige al sur y es bien desarrollado por ser antiguo; los ríos principales y sus afluentes desembocan en el océano Pacífico.

El clima es templado húmedo, la temperatura promedio anual varía entre 19° - 24° C; el promedio mensual de las temperaturas es uniforme durante el año y la mayoría de los suelos tienen un régimen isotérmico, mientras los suelos de las partes bajas de las faldas de los volcanes tienen un régimen isohipertérmico. La precipitación pluvial media anual varía entre

1,200 mm - 4,000 mm; las mayores precipitaciones corresponden al oeste y al sur de Antigua Guatemala; y las menores precipitaciones al este de Antigua Guatemala y San Vicente Pacaya.

La estación lluviosa para la Zona Suroeste comprende de Marzo a Noviembre, el resto del año llueve ocasionalmente, pero lo suficiente para que la sección de control de humedad del suelo permanezca seca por menos de 90 días, definiendo así un régimen údico. En tanto para la Zona Sureste, llueve menos durante la época lluviosa y la época seca es más prolongada, las lluvias van de abril a noviembre y durante la época seca se registran precipitaciones esporádicas definiendo un régimen ústico. Los materiales que dieron origen a los suelos de la Región Sur fueron desarrollados por la actividad volcánica; el Instituto Geográfico Nacional, citado por Sumner, et al (31) concluye que la Región Sur está formada por dos materiales de origen volcánico: el predominante es de la época terciaria y menos frecuente es de la época cuaternaria.

Estos materiales fueron producidos por erupciones de los volcanes; Weyl, citado por Sumner, et al (31), define que los depósitos volcánicos terciarios han sido divididos en tres grupos:

El grupo más bajo se compone de lavas dacíticas y reolíticas, grava e ignimbrita, del período mioceno inferior.

El grupo medio está compuesto por lavas andesíticas y basálticas que datan del mioceno superior al plioceno.

El grupo superior consta de piedra pómez dacítica y lavas andesíticas a basálticas que fueron formadas en el plioceno.

Sumner, et al (31) mencionan que resulta imposible determinar cuál de estos grupos, está aflorando en determinado lugar, y cual material dió origen a determinados suelos.

La edad y composición silíceo de las rocas se refleja en la mayoría de los suelos; que tienen una relativa baja saturación de bases, mineralogía haloisítica o caolinítica y

horizontes argílicos. Los suelos sobre depósitos cuaternarios han conservado las características de los depósitos volcánicos.

En la Zona Suroeste los materiales predominantes tienen características ándicas, por lo que la mayoría de suelos corresponden al orden ANDISOLES, presentándose los Subórdenes UDANDS (suelos con ceniza de textura gruesa depositada en una capa menos de 0.50m o ausente completamente, con textura franca y contenido alto de materia orgánica) y VITRANDS (suelos que tienen deposiciones recientes de ceniza entre 0.50m-2.0m de profundidad, con textura arenosa gruesa o arena franca, y exhiben poca evidencia pedogénica, solamente el oscurecimiento de la superficie por influencia de materia orgánica).

Además se presentan algunas áreas con suelos, clasificados en los ordenes ALFISOLES, MOLISOLES e INCEPTISOLES.

En cuanto a la Zona Sureste, y aunque en menor proporción que en la Zona Suroeste, los suelos en su mayoría se clasifican en el orden ULTISOLES, presentándose los Subórdenes USTULTS Y UDULTS, siendo dominada la diferencia por el régimen de precipitaciones pluviales, que es determinante en la secuencia de formación de los suelos. Además pueden encontrarse áreas donde los suelos corresponden a los ordenes MOLISOLES, VERTISOLES, INCEPTISOLES y reducidas áreas de ANDISOLES.

3.2.6.B. CARACTERISTICAS DE LOS ANDISOLES

En la Zona Suroeste, los materiales que predominan son depósitos volcánicos recientes de cenizas de la época cuaternaria; la mayoría de los suelos son clasificados como ANDISOLES. Las diferencias de estos materiales madre; son la variación en el tamaño de las partículas, la química y la edad; éstas diferencias se reflejan en los niveles más bajos de la clasificación.

Estos son suelos derivados de erupciones volcánicas, se encuentran en estado de transformación y llevando el suficiente tiempo las propiedades ándicas tenderán a desaparecer,

entrando dentro de cualquier otro orden de suelos (dependiendo de las propiedades desarrolladas y la secuencia de transformación). Muchos tienen deposiciones de ceniza entre 0.5 m y 2.0 m de profundidad, con clase textural arenosa-gruesa o arena-franca; éstos depósitos de ceniza exhiben el oscurecimiento de la superficie por influencia de materia orgánica.

Pueden formarse en cualquier ambiente, siempre y cuando los factores sean propicios para la formación de minerales como alófano, imogolita, etc.

Siendo suelos desarrollados de material madre volcánico, presentan propiedades asociadas con el mismo; específicamente, baja densidad aparente, alta fijación de fósforo y predominancia de componentes amorfos (materiales ándicos del suelo). Pueden tener epipedones u horizontes de diagnóstico o no tenerlos, mientras exista la presencia de material ándico en 0.35m dentro de los primeros 0.60m superiores del suelo. Son considerados con alto potencial de producción; tienen alta capacidad de retención de nutrientes y normalmente tienen buenas propiedades físicas.

3.2.6.C. CARACTERISTICAS DE LOS ULTISOLES

En la Zona Sureste, una buena proporción de los suelos son clasificados en el orden Ultisoles. El material de origen que predomina es andesita o andesita basáltica, depositado por escorrentía de lava; en su mayoría son relativamente viejos y no exhiben características ándicas. Estos suelos tienen horizontes argílicos y údicos y baja saturación de bases en el límite inferior del subsuelo. En general, tienen horizontes argílicos profundos, oscuros, con alto contenido de materia orgánica. En la formación de dichos suelos, el material parental y el clima son los principales factores en la formación.

Presentan un horizonte superficial (epipedón ócrico o úmbrico), poco profundo de color claro, y con baja saturación de bases (-50%) en el subsuelo (un subsuelo con mayor contenido de arcillas que el horizonte superficial, como resultado del movimiento de arcilla).

La presencia del horizonte argílico, implica que se han formado los suelos en un clima con períodos de déficit hídrico. Con un adecuado manejo y fertilización pueden llegar a ser bastante productivos.

3.2.7. UBICACION DEL AREA EXPERIMENTAL

3.2.7.A. MUESTREO DE SUELOS

En base al dictamen para la tesis, se cambió el uso de las series de suelos de Simmons, *et al* (29); por el orden de suelos correspondiente a cada zona de muestreo. Usándose la clasificación efectuada por Sumner, *et al* (31) en cada una de las zonas de la Región Cafetalera Sur de Guatemala. En la Zona Suroeste se definieron los ANDISOLES, y en la Zona Sureste los ULTISOLES. En los Cuadros 4 y 5, se describen los sitios de muestreo y la clasificación correspondiente a cada uno de ellos.

3.2.7.B. FASE DE INVERNADERO

La prueba biológica, se desarrolló en el invernadero del Laboratorio de Entomología de la Asociación Nacional del Café de Guatemala, en la finca "Buena Vista", municipio de San Sebastián, departamento de Retalhuleu, Guatemala; con ubicación geográfica en los 14° 36' 50" Latitud Norte y los 91° 40' 30" Longitud Oeste (16).

3.2.7.C. FASE DE LABORATORIO

Los análisis químicos, se desarrollaron en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral, de la Asociación Nacional del Café de Guatemala, con dirección en la 5a. calle 00-50 Zona 14, Ciudad de Guatemala, Guatemala, al que corresponde una ubicación geográfica en los 14° 35' 30" Latitud Norte y los 90° 31' 20" Longitud Oeste (15).

CUADRO 4. Sitios de muestreo para los Andisoles y su clasificación según el estudio de Sumner, *et al* (31)

CODIGO SITIO	CLASIFICACION DEL SITIO DE MUESTREO NOMBRE DE LA FINCA, MUNICIPIO, DEPARTAMENTO
S01	VITRIC HAPLUDAND; CENIZA FRANCA, ISOTERMICO Mundo Nuevo, Malacatán, San Marcos
S02	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO, El Siglo, El Tumbador, San Marcos
S03	VITRIC HAPLUDAND; CENIZA FRANCA, ISOTERMICO Monte Limar, Malacatán, San Marcos
S04	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO San Luis, El Tumbador, San Marcos
S05	VITRIC HAPLUDAND; CENIZA FRANCA, ISOTERMICO San Francisco Miramar, Colomba, Quetzaltenango
S06	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO Santa Cecilia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez
S07	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO Las Panchas, Pueblo Nuevo, Suchitepéquez
S08	ALFIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO El Olimpo, Santo Tomás La Unión, Suchitepéquez
S09	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO Colombia, Pueblo Nuevo, Suchitepéquez
S10	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO La Perla, Chicacao, Suchitepéquez
S11	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO Bola de Oro, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez
S12	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO San Francisco La Cruz, Chicacao, Suchitepéquez
S13	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO Los Encuentros, Chicacao, Suchitepéquez
S14	TIPIC HAPLUDAND; FRANCA, ISOTERMICO Mixpillá, Chicacao, Suchitepéquez
S15	TIPIC UDIVITRAND; CENIZA, ISOTERMICO Filadelfia, San Felipe, Retalhuleu

CUADRO 5. Sitios de muestreo para los Ultisoles y su clasificación según el estudio de Sumner, et al (31)

CODIGO SITIO	CLASIFICACION DEL SITIO DE MUESTREO NOMBRE DE LA FINCA, MUNICIPIO, DEPARTAMENTO
B01	TIPIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO San Francisco, Barberena, Santa Rosa
B02	ANDIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO Margaritas, Barberena, Santa Rosa
B03	TIPIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO La Castellana, Barberena, Santa Rosa
B04	TIPIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO San Lorenzo, Barberena, Santa Rosa
B05	TIPIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO Las Flores, Barberena, Santa Rosa
B06	ANDIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO Santa Clara, Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa
B07	TIPIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO El Tempisque, Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa
B08	TIPIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO El Ciprés, Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa
B09	ANDIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO Filipinas, Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa
B10	TIPIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO El Carmen, Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa
B11	ANDIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO La Pastoría, Barberena, Santa Rosa
B12	ANDIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO Las Marinas, Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa
B13	TIPIC PALEUSTULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO Las Cerezas, Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa
B14	TIPIC HAPLUDULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO Los Angeles, Cuilapa, Santa Rosa
B15	TIPIC HAPLUDULT; ARCILLA, CAOLINITICA, ISOTERMICO Rogelia, Cuilapa, Santa Rosa

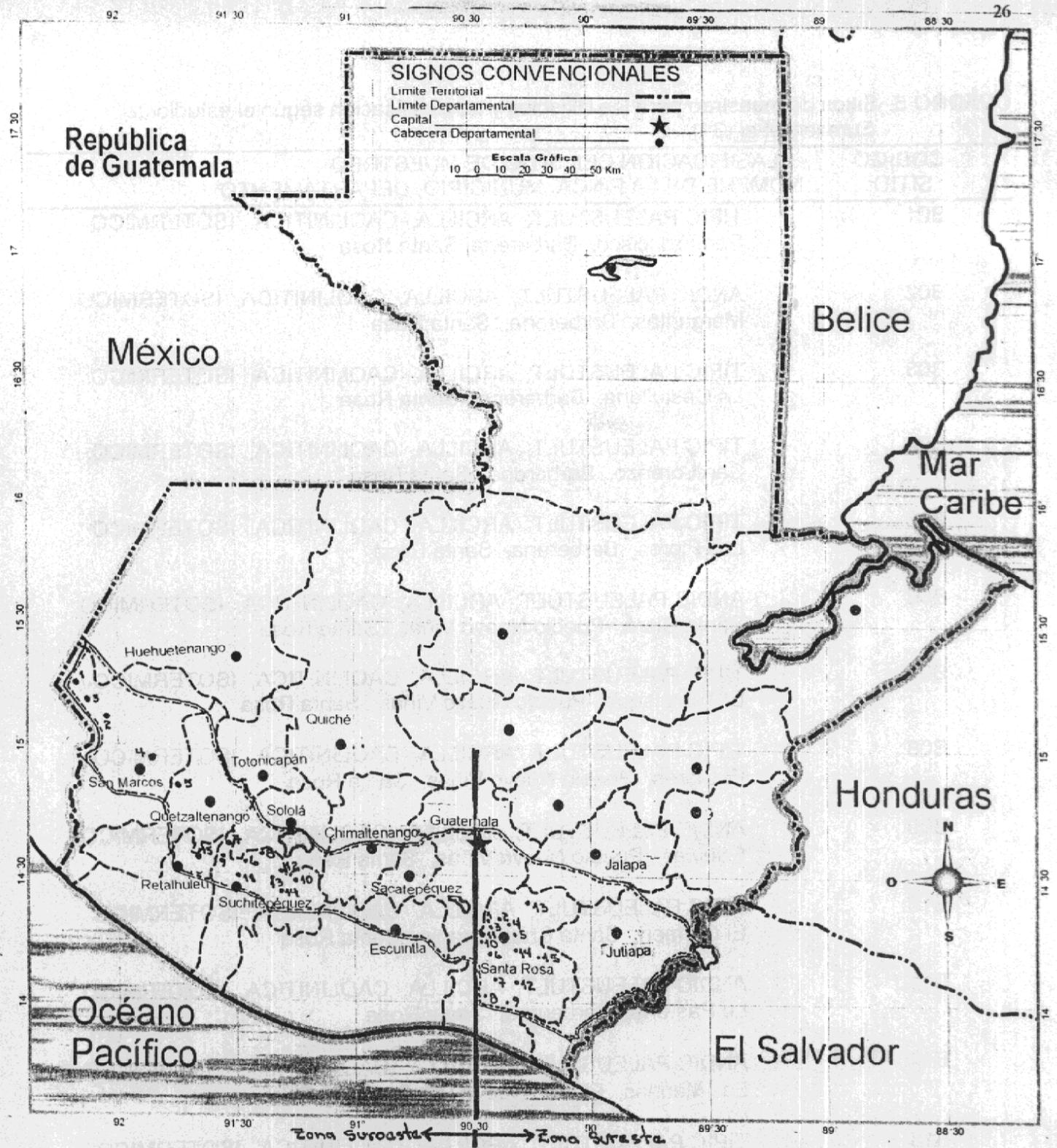


FIGURA 2. Ubicación de los sitios de muestreo en la Región Cafetalera Sur de Guatemala, definida por Sumner *et al* (31).

4. OBJETIVOS

4.1. Determinar el nivel y rango críticos de concentración de fósforo, azufre y zinc, en Andisoles y Ultisoles de la Región Cafetalera Sur de Guatemala, a nivel de invernadero y utilizando plántulas de café (Coffea arabica L.) como plantas indicadoras; extrayéndose con las soluciones Olsen Modificado, Bray-Kurtz I, Mehlich I y Mehlich III para fósforo y zinc del suelo; y la solución de Fosfato Monobásico de Calcio para azufre del suelo.

4.2. Determinar la correlación lineal, entre la extracción química, efectuada por las soluciones extractoras y el rendimiento relativo de biomasa, de plántulas de café (Coffea arabica L.); para fósforo, azufre y zinc.

4.3. Determinar la correlación lineal, entre la extracción química, efectuada por las soluciones extractoras y la concentración de nutrientes por medio del análisis químico de tejido vegetal, de plántulas de café (Coffea arabica L.); para fósforo, azufre y zinc.

5. HIPOTESIS

5.1. Los niveles y rangos críticos de concentración de fósforo, azufre y zinc en el suelo, no serán significativamente diferentes para cada solución extractora en Andisoles y Ultisoles de la Región Cafetalera Sur de Guatemala.

5.2. No se presentarán correlaciones lineales, al ser comparada la extracción química, efectuada por las soluciones extractoras y el rendimiento relativo de biomasa de plántulas de café (Coffea arabica L.); para fósforo, azufre y zinc.

5.3. No se presentarán correlaciones lineales, al ser comparada la extracción química, efectuada para las soluciones extractoras y la concentración de nutrientes, determinada por el análisis químico de tejido vegetal, de plántulas de café (Coffea arabica L.); para fósforo, azufre y zinc.

6. METODOLOGIA

6.1. DETERMINACION DEL NIVEL Y RANGO CRITICOS DE FOSFORO, AZUFRE Y ZINC

6.1.1. MUESTREO DE SUELOS

En la Región Cafetalera Sur de Guatemala, están definidas dos zonas, de acuerdo al orden de suelos predominante; en la Zona Suroeste: Andisoles y en la Zona Sureste: Ultisoles.

De acuerdo al criterio, propuesto por Waugh y Fitts, citado por Márquez Hernández (21), para el muestreo de suelos se seleccionaron 15 sitios por cada Orden de Suelos, como se observa en los cuadros 4 y 5.

En la distribución de los sitios de muestreo, se consideró la ubicación geográfica de la Zona Cafetalera y el estudio de Sumner, *et al* (31); en cada sitio de muestreo, se tomó una muestra siguiendo el procedimiento propuesto por Hernández Paz (17); para luego efectuar la preparación de la submuestras de suelo: que consistió en un secado a la sombra, homogeneizado y tamizado a 2 mm. para eliminar partículas gruesas, piedras y restos orgánicos.

Aunque Espinoza Navarro (10) menciona que "éstas operaciones previas al análisis químico de las submuestras de suelo y a las pruebas de invernadero, que son imprescindibles para los mismos, pueden provocar importantes alteraciones y afectar los resultados".

6.1.2. ESTUDIO DE SORCION

Para determinar los niveles de fósforo, azufre y zinc, a aplicar en la fase de invernadero, se siguió la metodología de sorción propuesta por Díaz y Hunter (8). A las submuestras de suelo, se les adicionaron los niveles de fósforo, azufre y zinc que se muestran en el Cuadro 6. Se usaron 11 recipientes, por sitio de muestreo, en los cuales se agregaron 5 ml de suelo y 5 ml de las soluciones progresivas; y para el azufre se agregaron 10 ml de suelo y 10 ml de las soluciones progresivas.

CUADRO 6. Niveles de fósforo, azufre y zinc adicionados a cada submuestra de los sitios de muestreo para el estudio de sorción

SOLUCION	FOSFORO (mg/Kg)	AZUFRE (mg/Kg)	ZINC (mg/Kg)
1	0.0	0.0	0.0
2	35.0	10.0	4.0
3	70.0	20.0	8.0
4	140.0	50.0	16.0
5	280.0	100.0	32.0
6	560.0	200.0	64.0

FUENTE: Díaz y Hunter (8)

Los recipientes se dejaron secar a la sombra durante 4 días. Para el análisis químico, la extracción de fósforo y zinc se efectuó con la solución Mehlich I y la determinación de fósforo por el método Colorimétrico y el zinc por Espectrofotometría de Absorción Atómica. El azufre fué extraído con la solución de Fosfato Monobásico de Calcio y la determinación hecha por el método Turbidimétrico. Con los datos se efectuaron las curvas de fijación (ejemplificada en la Figura 3), en cada sitio de muestreo, para determinar los niveles de fósforo, azufre y zinc a evaluar en el estudio de invernadero.

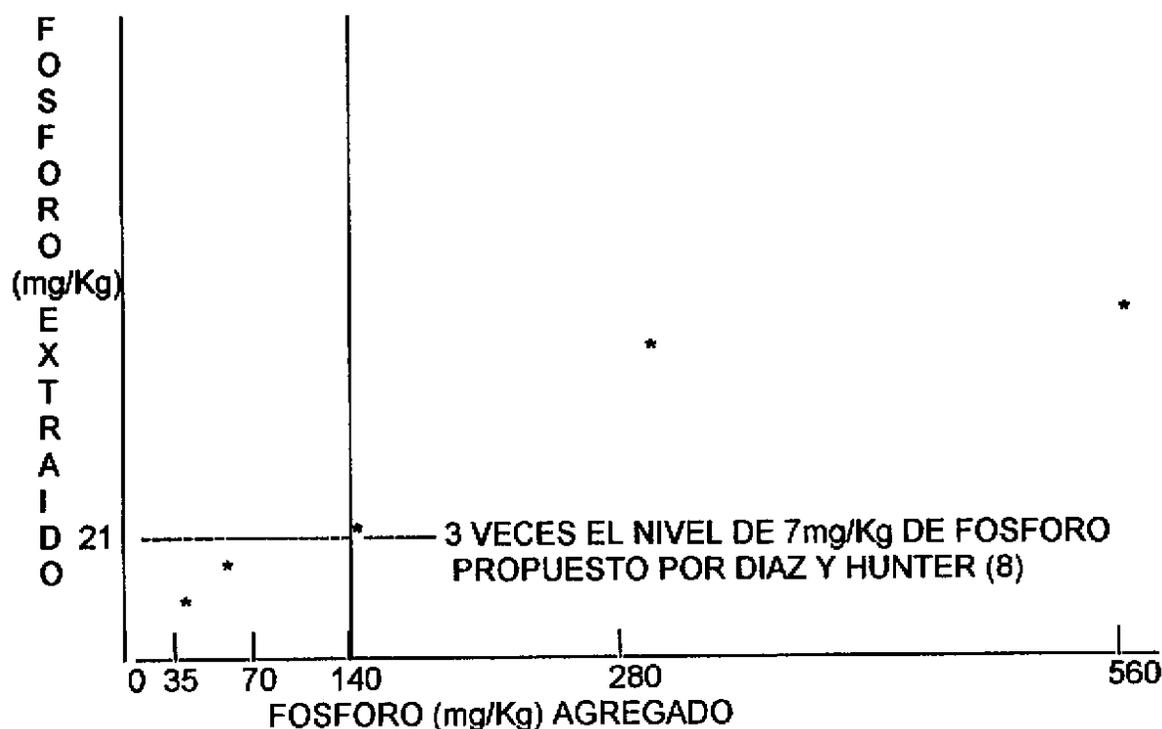


FIGURA 3. Curva de sorción para fósforo en el sitio de muestreo S1, de la Región Cafetalera Sur de Guatemala.

Se consideró tres veces el nivel crítico propuesto por Díaz y Hunter (8) en invernadero de 7 mg/Kg de fósforo, 12 mg/Kg de azufre y 3 mg/Kg de zinc. Mostrándose en el Cuadro 7 los niveles determinados y en el Cuadro 8 la distribución de los tratamientos de fósforo, azufre y zinc por unidad experimental; para obtener las variables respuesta en la determinación del nivel y rango críticos respectivos.

CUADRO 7. Niveles de fósforo, azufre y zinc determinados para la fase de invernadero, en la determinación del nivel y rango críticos.

SITIO	FOSFORO mg/Kg	AZUFRE mg/Kg	ZINC mg/Kg	SITIO	FOSFORO mg/Kg	AZUFRE mg/Kg	ZINC mg/Kg
S01	140.0	250.0	64.0	B01	86.0	250.0	57.0
S02	186.0	250.0	64.0	B02	100.0	250.0	59.5
S03	186.0	250.0	64.0	B03	46.0	250.0	58.7
S04	290.0	250.0	63.3	B04	91.0	250.0	49.2
S05	16.0	250.0	48.5	B05	163.0	250.0	59.0
S06	290.0	250.0	64.0	B06	0.0	250.0	57.7
S07	560.0	250.0	43.5	B07	266.0	250.0	64.0
S08	345.0	250.0	64.0	B08	106.0	250.0	41.2
S09	256.0	250.0	64.0	B09	140.0	250.0	56.5
S10	333.0	250.0	64.0	B10	173.0	250.0	59.8
S11	366.0	250.0	64.0	B11	93.0	250.0	52.2
S12	426.0	250.0	64.0	B12	163.0	250.0	56.3
S13	256.0	250.0	61.0	B13	70.0	250.0	45.5
S14	165.0	250.0	64.0	B14	154.0	250.0	64.0
S15	0.0	250.0	48.3	B15	114.0	250.0	57.0

CUADRO 8. Tratamientos de fósforo, azufre y zinc en la fase de invernadero

No. TRATAMIENTO	DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO
01	SIN ADICION DE FOSFORO Y CON NUTRIENTES COMPLEMENTARIOS
02	SIN ADICION DE AZUFRE Y CON NUTRIENTES COMPLEMENTARIOS
03	SIN ADICION DE ZINC Y CON NUTRIENTES COMPLEMENTARIOS
04	CON ADICION OPTIMA DE NUTRIENTES
05	SIN ADICION DE NUTRIENTES (FERTILIDAD NATIVA)

6.1.3. FASE DE INVERNADERO

Para la fase de invernadero, se utilizó una modificación de las metodologías de Dean y Neubauer, que Norero (24) describe; como planta indicadora se utilizaron plántulas de café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra, en fase de "soldadito"; dicha selección se definió porque

en dicha etapa, el café (*Coffea arabica* L.), se comporta como una plántula de rápido crecimiento, es poco voluminosa, de fácil manejo y podría demostrar el estado fisiológico de nutrición, como lo requieren Díaz y Hunter (8) y Norero (24) en el uso de plantas indicadoras. Aunque como Díaz y Hunter (8) mencionan que "plantas como sorgo, arroz, trigo, girasol, maíz o tomate, han sido usadas como plantas indicadoras; y quizás no haya una planta que sea la mejor indicadora para todos los elementos". El ensayo se ubicó en el invernadero del Laboratorio de Entomología, de la Asociación Nacional del Café de Guatemala; las unidades experimentales consistieron en recipientes plásticos previamente identificados y conteniendo 2,500 ml de suelo.

La distribución de los mismos fué completamente al azar y la aplicación de los niveles de fósforo, azufre y zinc para cada sitio de muestreo se realizó conforme lo descrito en el Cuadro 7. Se aplicaron además, cada uno de los niveles de nutrientes complementarios, como se muestra en el Cuadro 9; ocho días antes de la siembra por trasplante.

CUADRO 9. Niveles de nutrientes complementarios aplicados en la fase de invernadero para la determinación del nivel y rango críticos.

NUTRIENTE	NIVEL AGREGADO	FUENTE
NITROGENO	50.00 mg/Kg	NH ₄ (NO ₃)
POTASIO	145.00 mg/Kg	K ₂ O
CALCIO	4.50 meq/100g	CaCO ₃
MAGNESIO	1.50 meq/100g	MgO
MANGANESO	12.50 mg/Kg	Mn
HIERRO	15.00 mg/Kg	Fe
COBRE	1.75 mg/Kg	Cu

FUENTE: Laboratorio de Suelos, Asociación Nacional del Café de Guatemala

El semillero de café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra, se estableció en la finca Buena Vista, y cuando las plántulas alcanzaron la fase de "soldadito", a los 52 días de la siembra de la semilla se inicio el trasplante, a los recipientes. Se colocaron 7 plántulas por unidad experimental, siendo lavadas las raíces previamente; basándose en el criterio de Díaz y

Hunter (8), de que la población de plántulas debe ser lo suficientemente grande, como para poner al suelo en un estado de sobrecarga de suministro de los distintos nutrientes.

Para proporcionar la humedad necesaria, en el crecimiento de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.) durante el estudio, se utilizó agua cuya calidad se muestra en el Cuadro 10. El intervalo de aplicación fué de 3, 5 y 9 días de acuerdo al estado de desarrollo de dichas plántulas.

CUADRO 10. Análisis de nutrientes en el agua de riego en la fase de invernadero

NUTRIENTE	CONCENTRACION	NUTRIENTE	CONCENTRACION
FOSFORO	0.900 mg/Kg	HIERRO	3.800 mg/Kg
POTASIO	12.100 mg/Kg	COBRE	2.400 mg/Kg
CALCIO	0.004 meq/100g	ZINC	0.200 mg/Kg
MAGNESIO	0.001 meq/100g	AZUFRE	0.300 mg/Kg
MANGANESO	1.000 mg/Kg	pH	7.180

FUENTE: Laboratorio de Suelos, Asociación Nacional del Café de Guatemala

En el estudio se registró la temperatura y humedad relativa media mensuales en el invernadero, los mismos se presentan en el Cuadro 11.

CUADRO 11. Temperatura y humedad relativa de abril a octubre de 1,992 en el invernadero del Laboratorio de Entomología, Finca Buena Vista, Asociación Nacional del Café de Guatemala.

MES	DIAS POR MES DEL ESTUDIO	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA
		MAXIMA	MINIMA	MEDIA	MEDIA %
ABRIL	10	36.2	22.2	27.9	79.3
MAYO	31	35.2	21.3	26.8	82.4
JUNIO	30	35.5	21.6	26.5	83.1
JULIO	31	34.3	20.7	26.6	82.6
AGOSTO	31	35.3	21.8	27.6	81.9
SEPTIEMBRE	30	35.3	21.1	27.2	83.7
OCTUBRE	27	35.7	20.5	27.1	82.8
Total	190	\bar{X} POND.35.3	21.2	27.0	82.6

FTE: Laboratorio de Entomología, Asociación Nacional del Café de Guatemala

El control fitosanitario, se limitó al uso de Carbanolato 40% en las raíces previo al transplante; y luego aplicaciones foliares de Fentión 50% y Carbanolato 40% a los 60 y 120 días después del transplante.

El material se cosechó a los 190 días del trasplante; extrayéndose, con cuidado, de cada unidad experimental las plántulas de café (Coffea arabica L.); las raíces se lavaron con agua destilada. Se obtuvo el peso fresco por unidad experimental y luego se colocó a 65°C durante 36 horas, en un horno de convección Coleman modelo 780; para obtener el peso seco por unidad experimental. Posteriormente se trasladó el material seco al Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral de la Asociación Nacional del Café de Guatemala, para el análisis de nutrientes en el tejido vegetal.

6.1.4. DETERMINACION DE LOS NIVELES Y RANGOS CRITICOS

Con los de rendimiento relativo de biomasa de las plántulas indicadoras de café (Coffea arabica L.) y los valores analíticos de fósforo, azufre y zinc; extraídos con las soluciones respectivas, se trazaron las gráficas para aplicar el método gráfico de Cate y Nelson (26), y determinar el nivel crítico respectivo. Siendo luego determinados los rangos críticos, haciendo uso del modelo discontinuo de medias.

6.1.5. CORRELACIONES LINEALES COMPLEMENTARIAS

Se efectuaron correlaciones, entre el fósforo, azufre y zinc aplicados y nativos; y los parámetros: rendimiento relativo de biomasa y concentración de los nutrientes en el tejido vegetal, de las plántulas de café (Coffea arabica L.) y la materia orgánica del suelo.

6.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

6.2.1. MODELO ESTADISTICO

Para el estudio se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con arreglo de tratamientos en una estructura jerárquica 5 x 15. Con 75 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento; haciendo un total de 225 unidades experimentales, para cada Orden de Suelos de la Región Cafetalera Sur de Guatemala. Cada unidad experimental consistió en un recipiente plástico de 3.342 litros de capacidad, con 2,500 ml de suelo tamizado a 2 mm.

Como planta indicadora, se utilizaron plántulas de café (Coffea arabica L.) variedad Caturra, en fase de "soldadito". El modelo lineal seleccionado para el análisis estadístico, citado por John (18) y Neter et al (23), se representa de la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j(i) + E_{k(ij)}$$

de donde:

Y_{ijk} = variable respuesta observada en la k.ésima repetición del j.ésimo tratamiento aplicado dentro del i.ésimo sitio de muestreo del Orden de Suelos.

U = efecto de la media general.

A_i = efecto del i.ésimo sitio de muestreo del Orden de Suelos.

$B_j(i)$ = efecto del j.ésimo tratamiento aplicado dentro del i.ésimo sitio de muestreo del Orden de Suelos.

$E_{k(ij)}$ = efecto del error experimental asociado a la k.ésima repetición del j.ésimo tratamiento aplicado dentro del i.ésimo sitio de muestreo del Orden de Suelos.

en donde

$i = 1, 2, 3, \dots$ y 15 sitios de muestreo en cada Orden de Suelos.

$j = 1, 2, 3, 4$ y 5 tratamientos para la determinación de los niveles y rangos críticos de concentración de fósforo, azufre y zinc en cada Orden de Suelos.

$k = 1, 2$ y 3 repeticiones para cada tratamiento de la determinación de los niveles y rangos críticos de concentración de fósforo, azufre y zinc en cada Orden de Suelos.

6.2.2. VARIABLES RESPUESTA

6.2.2.A. Contenido de fósforo, azufre y zinc en el suelo, extraídos con las soluciones extractoras evaluadas en cada nutriente.

6.2.2.B. Rendimiento de biomasa de las plántulas de café (Coffea arabica L.), cultivadas con la fertilidad nativa de los sitios de muestreo.

6.2.2.C. Rendimiento de biomasa de las plántulas de café (Coffea arabica L.), cultivadas con la adición óptima de nutrientes.

6.2.2.D. Rendimiento de biomasa de las plántulas de café (Coffea arabica L.), cultivadas con los tratamientos de fósforo, azufre y zinc, en los sitios de muestreo.

6.2.2.E. Análisis químico de tejido vegetal para las plántulas de café (Coffea arabica L.), a los 190 días del transplante; cultivadas con los tratamientos de fósforo, azufre y zinc, en los sitios de muestreo.

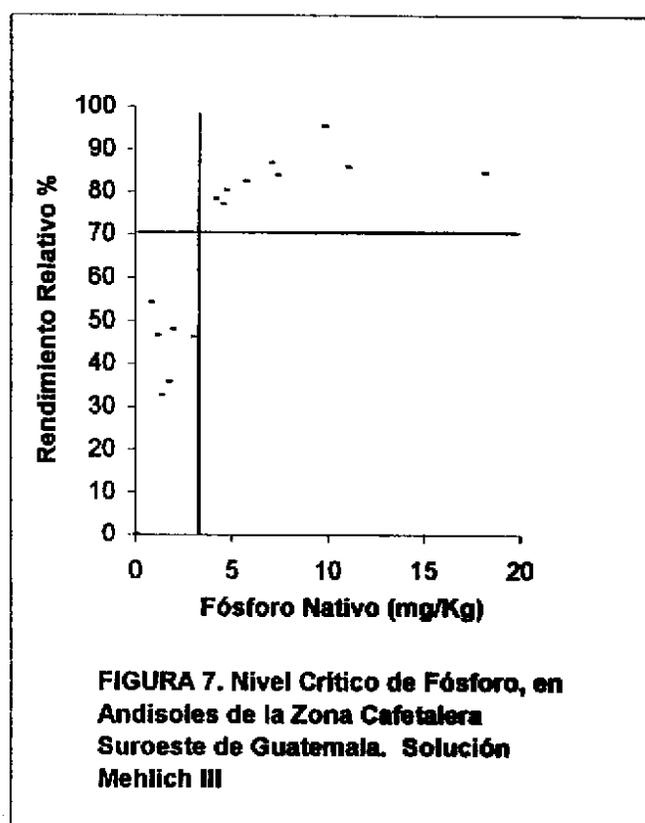
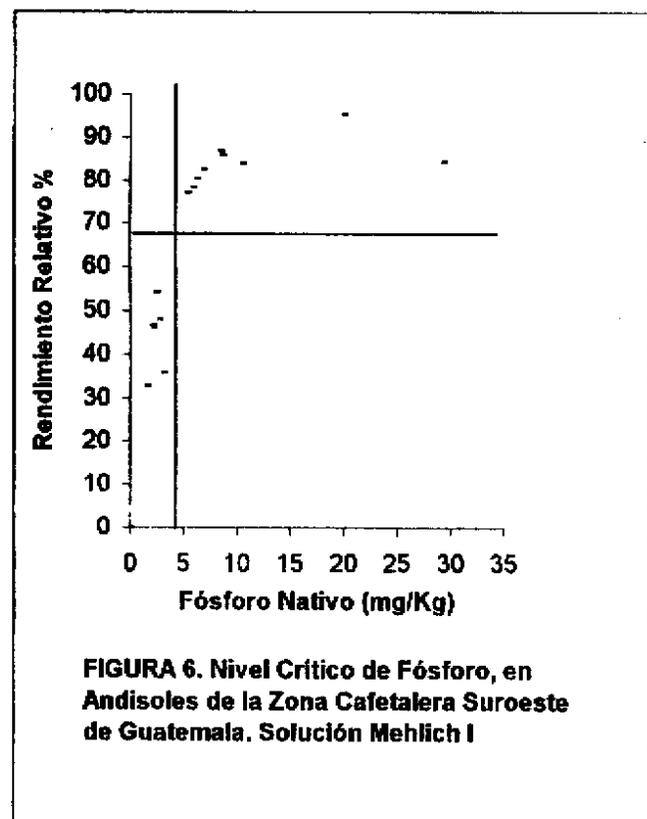
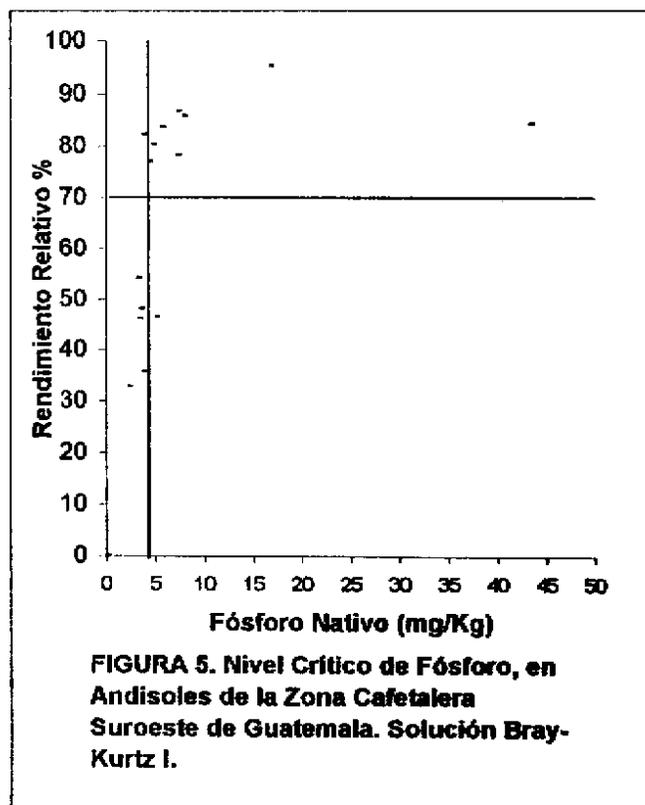
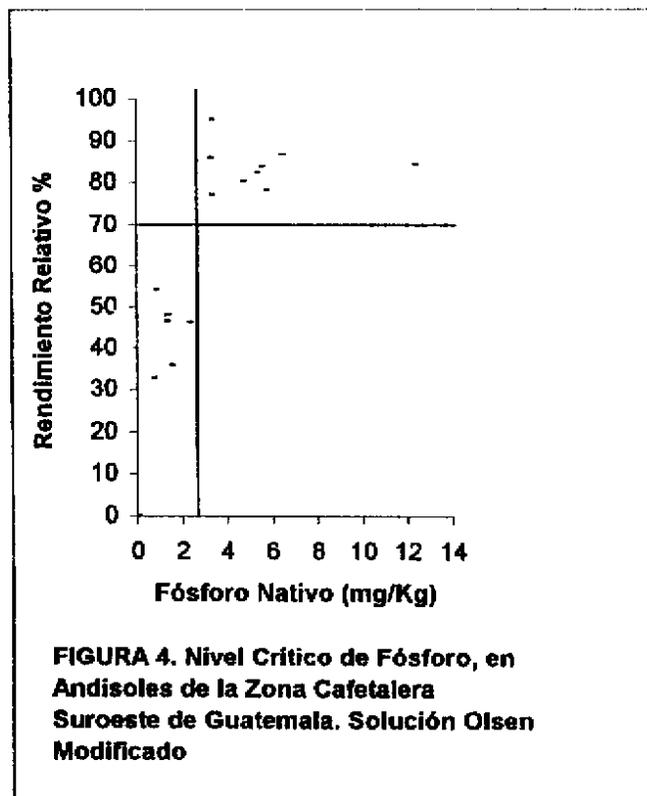
7. RESULTADOS

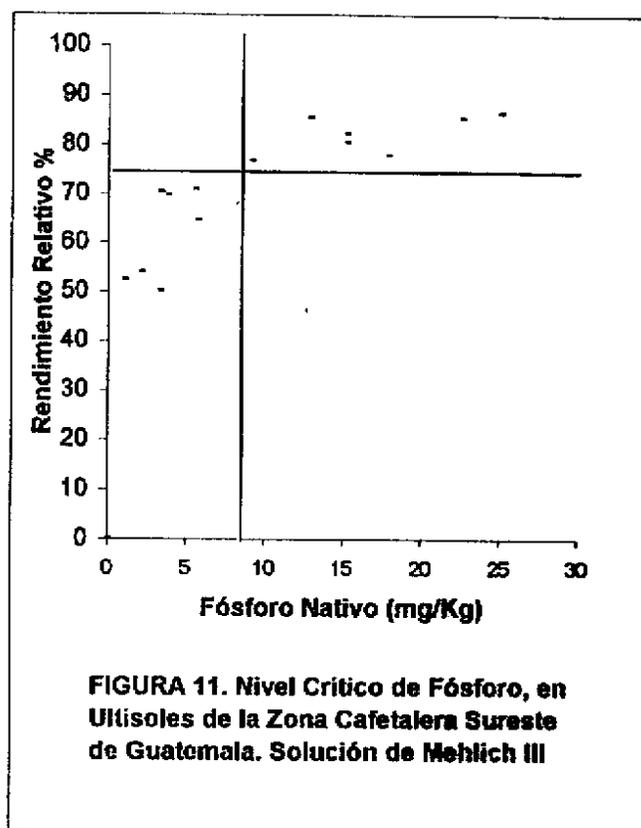
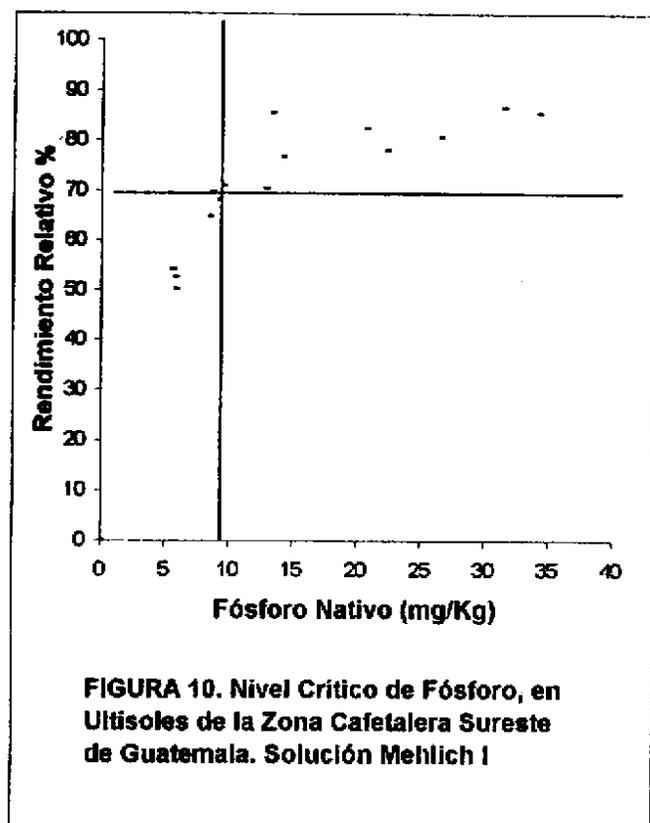
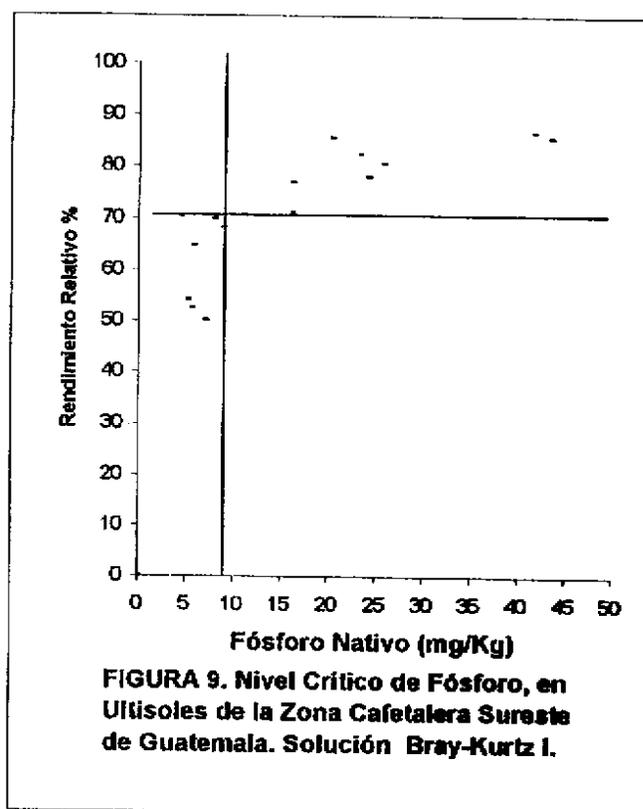
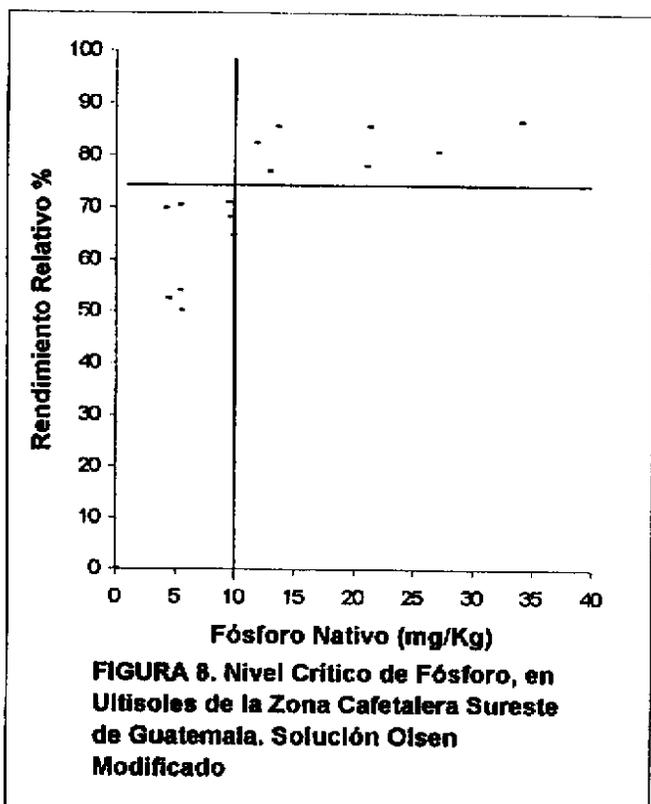
7.1. NIVEL Y RANGO CRITICOS DE FOSFORO

Basándose en el rendimiento relativo de biomasa, que se muestra en el Cuadro 12, y el contenido de fósforo en el suelo extraído con las soluciones extractoras evaluadas, que se muestran en el cuadro 18"A". Se graficaron los datos como se muestran en las Figuras 4 a 11, según el método gráfico Cate y Nelson (26), para determinar los niveles críticos de dicho nutriente, junto con los rangos críticos (Ver Cuadro 13).

CUADRO 12. Rendimiento de biomasa y fósforo en tejido vegetal de plántulas de café (*Coffea arabica* L.), cultivadas sobre muestras de los suelos con tratamiento de fósforo.

SITIO	RENDIMIENTO DE BIOMASA (g.)			RENDIMIENTO RELATIVO %	FOSFORO (%) EN TEJIDO VEGETAL
	SIN FOSFORO	TRAT. OPTIMO			
S1	112.0	139.5	ANDISOLES	80.29	0.14
S2	89.4	103.1		86.71	0.13
S3	79.4	101.5		78.23	0.15
S4	88.9	108.0		82.31	0.07
S5	105.9	125.6		84.32	0.10
S6	80.5	93.8		85.82	0.18
S7	45.2	126.3		35.79	0.10
S8	75.0	89.5		83.80	0.14
S9	43.7	94.6		46.19	0.12
S10	38.6	117.8		32.77	0.09
S11	92.6	120.2		77.04	0.11
S12	45.5	94.7		48.05	0.12
S13	53.4	114.8		46.52	0.12
S14	55.4	102.3		54.15	0.13
S15	92.9	97.5		95.28	0.15
B1	104.3	126.7	ULTISOLES	82.32	0.15
B2	80.1	93.7		85.49	0.13
B3	74.3	95.3		77.96	0.11
B4	63.1	97.6		64.65	0.12
B5	71.6	101.7		70.40	0.10
B6	87.0	100.5		86.57	0.15
B7	80.5	118.2		68.10	0.20
B8	83.9	104.1		80.60	0.25
B9	63.0	116.6		54.03	0.11
B10	54.6	104.0		52.50	0.14
B11	75.6	98.4		76.83	0.13
B12	63.6	127.0		50.08	0.12
B13	63.6	91.1		69.80	0.13
B14	78.1	91.3		85.54	0.16
B15	77.9	109.7		71.01	0.13





CUADRO 13. Niveles y rangos críticos de fósforo en Andisoles y Ultisoles de la Región Cafetalera Sur de Guatemala.

ORDEN DE SUELOS	SOLUCION EXTRACTORA	NIVEL CRITICO mg/Kg	RANGO CRITICO mg/Kg
ANDISOLES	OLSEN MODIFICADO	2.4	1.5 - 3.5
	BRAY-KURTZ I	3.8	3.2 - 6.0
	MEHLICH I	3.2	2.5 - 6.2
	MEHLICH III	3.1	2.0 - 8.2
ULTISOLES	OLSEN MODIFICADO	9.9	6.5 - 13.5
	BRAY-KURTZ I	8.9	5.5 - 10.0
	MEHLICH I	9.3	8.0 - 13.2
	MEHLICH III	8.3	6.2 - 12.5

Estos niveles son muy similares a los determinados en los estudios de Barrillas Flores (4), Díaz Moscoso (9), Espinoza Navarro (10), González Spillari (13), ICTA (14), Márquez Hernández (21), Meneses Ojeda (22) y Yoc Gómez (35); en distintos tipos de suelos.

Los Ultisoles mostraron niveles críticos más altos, lo que demuestra una mayor necesidad de concentración de fósforo disponible en el suelo para que la planta de café (*Coffea arabica* L.) no sufra deficiencias. Lo que puede relacionarse con las características de estos suelos, como la baja saturación de bases y la poca cantidad de arcillas, en los horizontes superficiales; aunque los altos contenidos de materia orgánica deberían influir en una mayor disponibilidad de fósforo orgánico.

Sin embargo debe considerarse, que dentro de dicho Orden se presentan dos Subórdenes: Ustults y Udults, con mayoría del primero, lo que hace referencia al régimen ústico de lluvias (períodos mayores de 90 días sin lluvia), y cuya influencia en la fijación de fósforo, es importante, por cuanto Tiesdale y Nelson (32) refieren es necesario un adecuado nivel de humedad, para que el fósforo fijado pueda pasar a la solución del suelo y ser disponible para las plantas.

En Andisoles, los niveles críticos fueron bajos, mostrando una mayor disponibilidad del fósforo, no exhibiéndose en la disponibilidad del nutriente, la influencia negativa por la

presencia de alúfana, en la fracción de arcilla o presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al; que es típica de éste Orden de Suelos.

Presentándose como mayoritario el Suborden Udands, el cual denota el régimen de humedad údico; y teniendo en la categoría de Grande Grupo, el descriptor Hapludand, el que puede presentar baja saturación de bases y en algunos casos horizontes argílicos, junto a características ándicas.

Debe mencionarse además que el pH ácido presente en estos suelos, influye lo mencionado del Fe y Al (por su precipitación en suelos ácidos).

En un sitio de muestreo, se presenta material volcánico reciente, correspondiendo al Suborden Vitrandis, y las características del mismo influye en forma específica la concentración de fósforo, su fijación y disponibilidad para las plantas.

No debe dejar de mencionarse, que el régimen de temperatura (isotérmico) para ambos ordenes de suelos, tiene influencia en la fijación del fósforo, por cuanto Tiesdale y Nelson (32) mencionan que en estudios se ha demostrado que el agua de percolación, en regiones cálidas, remueve y/o trasloca menos fósforo y se fija más en formas no disponibles para las plantas.

En cuanto a las soluciones extractoras, la solución Bray-Kurtz I en los Andisoles y la solución Olsen Modificado en Ultisoles, mostraron los valores más altos; y también la solución Olsen Modificado en Andisoles y Mehlich III en Ultisoles mostraron los valores más bajos. Aunque los resultados con las soluciones extractoras son muy similares, en la extracción de fósforo, especialmente en la Zona Suroeste.

Debe recordarse que los niveles y rangos críticos obtenidos en invernadero, varían de aquellos que puedan obtenerse en campo, siendo demostrado por ICTA (14), que determinó 19 mg/Kg en invernadero y redefinió a 7 mg/Kg en campo. Para explicar estas diferencias, la Asociación Americana de Agronomía (2) menciona que las plantas exploran un pequeño volumen de suelo, en comparación con la condición del campo, donde existe más suelo por

planta. Además el consumo de nutrientes varía por las condiciones de clima y manejo, que difieren en ambas situaciones.

CUADRO 14. Correlación entre extracción química de fósforo y rendimiento relativo de biomasa, y fósforo en tejido vegetal de plántulas de café (*Coffea arabica* L.); y fósforo aplicado como tratamiento.

SOLUCIONES EXTRACTORAS	COEFICIENTES CALCULADOS			
	RENDIMIENTO RELATIVO DE BIOMASA		FOSFORO EN TEJIDO VEGETAL	
	ANDISOLES	ULTISOLES	ANDISOLES	ULTISOLES
OLSEN MODIFICADO	0.6678 **	0.7314 **	-0.0422 NS	0.4309 NS
BRAY-KURTZ I	0.4188 NS	0.8015 **	-0.0344 NS	0.2563 NS
MEHLICH I	0.6509 **	0.8123 **	0.0900 NS	0.2917 NS
MEHLICH III	0.7201 **	0.8413 **	0.1976 NS	0.2914 NS
FOSFORO APLICADO	0.5836 *	0.4915 *	-0.2663 NS	-0.2008 NS

** SIGNIFICANCIA AL 1% COEFICIENTE TABULADO 0.64

* SIGNIFICANCIA AL 5% COEFICIENTE TABULADO 0.46 NS NO EXISTE SIGNIFICANCIA

Al efectuar las correlaciones entre la extracción química, representada por los valores analíticos de fósforo, con cada una de las soluciones extractoras y el rendimiento relativo de biomasa de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.), como se observa en el cuadro 14, se obtuvo alta significancia para las soluciones extractoras, en ambos ordenes de suelos, excepto para Bray-Kurtz I que no presentó significancia en Andisoles; situación que puede ser relacionado con mostrar el nivel crítico más alto, en dichos suelos.

En el cuadro 14, se presentan además las correlaciones para el fósforo aplicado por sitio de muestreo y el rendimiento relativo de biomasa. Se obtuvo significancia para ambos ordenes de suelos, resultado que apoya la metodología de sorción, para la determinación de los niveles de fósforo aplicados como tratamiento, en el invernadero. No existió significancia, en la correlación entre el fósforo en tejido vegetal de plántulas de café (*Coffea arabica* L.); y el fósforo extraído con las soluciones extractoras, ni con el fósforo aplicado.

Es importante notar que la relación entre el de fósforo en el tejido vegetal como respuesta a la aplicación o presencia de éste nutriente en el suelo, no es tan clara como en el caso de otros nutrientes (ejemplo nitrógeno); lo que se debe a que muchos procesos en el suelo influyen la disponibilidad del mismo.

Sin embargo, los contenidos de fósforo en el tejido vegetal de plántulas de café (*Coffea arabica* L.), que se muestran en el cuadro 12, se encuentran en niveles adecuados, al ser comparados con los niveles críticos foliares que Sierra Santos (27), propone de 0.11 a 0.15 % P; lo que apoya el manejo en cuanto a la suplementación y extracción fisiológica del mismo en el ensayo.

CUADRO 15. Materia orgánica y pH del suelo, de los sitios de muestreo.

ANDISOLES			ULTISOLES		
SITIO	MATERIA ORGANICA %	pH(H ₂ O)	SITIO	MATERIA ORGANICA %	pH(H ₂ O)
S1	5.00	6.37	B1	3.59	5.74
S2	3.53	5.98	B2	2.59	5.34
S3	3.75	4.62	B3	5.17	4.75
S4	4.58	5.03	B4	3.16	4.83
S5	1.44	4.90	B5	3.30	6.03
S6	5.28	5.08	B6	2.44	5.18
S7	6.80	5.10	B7	8.33	5.76
S8	5.00	4.88	B8	4.09	5.72
S9	6.80	5.13	B9	3.09	5.29
S10	4.72	5.37	B10	2.87	4.99
S11	3.47	5.35	B11	2.59	6.18
S12	4.30	6.30	B12	1.72	4.97
S13	5.42	5.72	B13	2.87	5.27
S14	4.97	5.65	B14	4.60	5.79
S15	4.30	5.63	B15	4.45	5.53

Al correlacionar la materia orgánica del suelo (Walkey-Black Modificado), que se muestra en el Cuadro 15, y el fósforo extraído, en los Andisoles se encontró alta significancia para las soluciones de Olsen Modificado, Bray-Kurtz I y Mehlich I y significancia para Mehlich III; en tanto para los Ultisoles no se presentó significancia, como se puede observar en el Cuadro 16. Ello

está relacionado, con los altos valores de nivel crítico obtenidos en los Ultisoles y la poca influencia del fósforo orgánico en la disponibilidad para las plantas.

Se puede observar además, que los valores de pH del suelo, están cerca del límite inferior del rango que Tiesdale y Nelson (32) citan para la máxima disponibilidad de fósforo: 5.5 a 7.0. Y además están dentro del rango reportado por Sierra Santos (27), como óptimo para el pH del suelo, para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.), que es de 5.5 a 6.5.

CUADRO 16. Correlaciones entre extracción química de fósforo y la materia orgánica del suelo.

CORRELACIONES PARA FOSFORO	MATERIA ORGANICA	
	ANDISOLES	ULTISOLES
OLSEN MODIFICADO	-0.7328 **	-0.0132 NS
BRAY-KURTZ I	-0.6988 **	-0.0951 NS
MEHLICH I	-0.6714 **	-0.0840 NS
MEHLICH III	-0.6287 *	-0.0344 NS

** SIGNIFICANCIA AL 1% COEFICIENTE TABULADO 0.64

* SIGNIFICANCIA AL 5% COEFICIENTE TABULADO 0.46 NS NO EXISTE SIGNIFICANCIA

7.2. NIVEL Y RANGO CRITICOS DE AZUFRE Y ZINC

Como se puede observar en los cuadros 19"A" al 25"A" y las correspondientes figuras 12"A" a la 21"A"; los resultados para estos nutrientes no permiten aplicar adecuadamente el método gráfico de Cate y Nelson (26) y definir de forma concluyente los niveles y rangos críticos; por lo tanto los mismos no son incluidos en esta sección, y su discusión no es aplicable.

7.3. ANALISIS DE VARIANZA

De acuerdo, con los resúmenes del análisis de varianza, efectuados al rendimiento relativo de biomasa de las plántulas de café (*Coffea arabica* L.), cultivadas en el estudio de invernadero con los tratamientos de fósforo, azufre y zinc; con el modelo de John (18) y Neter et al (23); diseño completamente al azar, con arreglo de tratamientos con estructura jerárquica. Los valores de "F" Tabulados y Calculados, que se presentan en el Cuadro 22, permiten observar que existen diferencias altamente significativas entre:

Los rendimientos relativos entre los sitios de muestreo de los Andisoles y Ultisoles, de la Región Cafetalera Sur de Guatemala.

Los tratamientos de fósforo, azufre y zinc por sitio de muestreo de Andisoles y Ultisoles, de la Región Cafetalera Sur de Guatemala.

Sin embargo, es conveniente conducir más ensayos a nivel de invernadero, sobre el azufre y el zinc, los cuales presentaron inconvenientes para determinar el nivel crítico usando la metodología de Cate y Nelson (26).

Y se hace necesario afinar los niveles críticos de fósforo, con ensayos a nivel de campo en diferentes etapas de desarrollo del cultivo, en los Andisoles y Ultisoles. Haciéndolo extensivo a otros Ordenes de Suelo que están bajo dicho cultivo.

CUADRO 17. Resumen del análisis de varianza para rendimientos relativos de biomasa de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) cultivadas con tratamientos de fósforo, azufre y zinc

FUENTE DE VARIACION	"F" CALCULADA	"F" TABULADA°	COEF.VARIACION %	
ANDISOLES				
SITIOS DE MUESTREO	440.95 **		1.73	21.3
TRATAMIENTOS POR SITIO	231.62 **		1.32	11.7
ULTISOLES				
SITIOS DE MUESTREO	136.25 **		1.73	23.8
TRATAMIENTOS POR SITIO	82.87 **		1.32	14.2

** Significancia al 1% °Fuente: Steel y Torrie (29)

8. CONCLUSIONES

8.1. En la Región Cafetalera Sur de Guatemala, los niveles y rangos críticos de concentración de fósforo, en Andisoles son: solución Olsen Modificado: 2.4 y 1.5-3.5 mg/Kg; solución Bray-Kurtz I: 3.8 y 3.2-6.0 mg/Kg; solución Mehlich I: 3.2 y 2.5-6.2 mg/Kg y solución Mehlich III: 3.1 y 2.0-8.2 mg/Kg. Para Ultisoles, los niveles y rangos críticos correspondientes son: solución Olsen Modificado: 9.9 y 6.5-13.5 mg/Kg; solución Bray-Kurtz I: 8.9 y 5.5-10.0 mg/Kg; solución Mehlich I: 9.3 y 8.0-13.2 mg/Kg y solución Mehlich III: 8.3 y 6.2-12.5 mg/Kg.

8.2. Se presentaron correlaciones lineales significativas, al comparar la extracción química y el rendimiento relativo de biomasa de las plántulas de café (Coffea arabica L.); para las soluciones Olsen Modificado, Bray-Kurtz I, Mehlich I y Mehlich III en fósforo.

8.3. No se presentaron correlaciones lineales significativas, al comparar la extracción química y la concentración de nutrientes en el tejido vegetal de plántulas de café (Coffea arabica L.); para las soluciones Olsen Modificado, Bray-Kurtz I, Mehlich I y Mehlich III en fósforo.

8.4. La determinación del nivel y rango crítico de azufre y zinc, no fue posible. Porque el ploteo de puntos, obtenido al graficar los rendimientos relativos de biomasa, de las plántulas de café (Coffea arabica L.), cultivadas en las unidades experimentales con los tratamientos de azufre y zinc; y las concentraciones de dichos nutrientes en los sitios de muestreo; no permitieron la aplicación correcta del método gráfico de Cate y Nelson (26).

9. RECOMENDACIONES

- 9.1. Utilizar los niveles y rangos críticos de concentración de fósforo, determinados en el estudio; dentro de la base de datos existentes; para las evaluaciones de la fertilidad del suelo, en Andisoles y Ultisoles de la Región Cafetalera Sur de Guatemala.
- 9.2. Se recomienda el uso de la solución extractora Mehlich III, para la extracción de fósforo; por presentar la más alta significancia en las correlaciones entre extracción química y el rendimiento relativo de biomasa de plántulas de café (Coffea arabica L.).
- 9.3. Llevar a cabo una calibración de campo, para fósforo, para el cultivo de café (Coffea arabica L.), con la solución extractora recomendada en el presente estudio. Por la importancia de redefinir los niveles y rangos críticos, aquí propuestos.
- 9.4. Efectuar un nuevo estudio, para la determinación del nivel y rango críticos de azufre y zinc; usando una variante en la determinación de los niveles a aplicar como tratamientos, en el invernadero. Con el fin de lograr una mejor distribución de puntos, que permita la aplicación del método gráfico de Cate y Nelson (26).

10. BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN POTASH INSTITUTE (E.E.U.U.). 1,948. Diagnostic techniques for soils and crops. Washington, EE.UU. 308 p.
2. AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY (E.E.U.U.). 1,980. Soil testing: correlating and interpreting the analytical results. Wisconsin, EE.UU. 117 p.
3. ASOCIACION NACIONAL DEL CAFE (Gua). s.f. Métodos para las determinaciones de los elementos de la rutina de análisis del laboratorio de suelos. Guatemala. s.p.
4. BARRILLAS FLORES, J.M. 1,987. Determinación del rango y nivel de concentración crítica de fósforo y potasio con dos metodologías de extracción, en las series de suelos Guatemala y Patzite. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.
5. BEJARANO, W.; BAZAN, R. 1,979. Suelos análogos en Centroamérica: un mecanismo para extrapolar resultados experimentales. Turrialba, C.R., CATIE. 22 p.
6. BORNEMISZA, E. 1,988. Introducción a la química de suelos. Washington, EE.UU., O.E.A. 74 p.
7. DEWIS, J.; FREITAS, F. 1,984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Roma, Italia, F.A.O. Boletín de Suelos, no. 10. p. 14-21.
8. DIAZ, R.; HUNTER, A. 1,982. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, C.R., CATIE. 61 p.
9. DIAZ MOSCOSO, M. 1,973. Comportamiento de fósforo extraído con Carolina del Norte y Olsen Modificado en tres series de suelos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 47 p.
10. ESPINOZA NAVARRO, R.E. 1,986. Determinación del nivel crítico de fósforo con dos metodologías de extracción en las series de suelos Tempisque y Sinaqueque, La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 37 p.
11. FASSBENDER, H.W. 1,980. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, C.R., IICA. 398 p.
12. _____; BORNEMISZA, E. 1,987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2a. ed. San José, C.R., IICA. 420 p.
13. GONZALEZ SPILLARI, J. 1,970. Evaluación de la fijación y disponibilidad de fósforo en catorce series de suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 31 p.
14. GUATEMALA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1,975. Informe anual 1,973-1,974. Guatemala. p. 107-111.

15. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1,954. Hoja cartográfica Ciudad de Guatemala, no. 2059I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color
16. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1,960. Hoja cartográfica Retalhuleu, no. 1859I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color
17. HERNANDEZ PAZ, M. 1,988. Manual de caficultura. Guatemala, ANACAFE. 247 p.
18. JOHN, P.W. 1,985. Statistical design and analysis of experiments. New York, EE.UU., Macmillan. p. 79-82.
19. KATYAL, J.C.; RANDHOWA, N.S. 1,986. Micronutrientes. Roma, Italia, FAO. Fertilizantes y Nutrición Vegetal, no. 7. p. 3-25.
20. LOPEZ RITAS, J.; LOPEZ MELIDA, J. 1,985. El diagnóstico de suelos y plantas (métodos de campo y laboratorio). 4^a ed. Madrid, España, MUNDIPRENSA. 367 p.
21. MARQUEZ HERNANDEZ, J.M. 1,987. Determinación del rango y nivel de concentración crítica de fósforo con tres metodologías de extracción, en las series de suelos Cauqué y Tecpán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.
22. MENESES OJEDA, A. 1,986. Determinación del nivel crítico de fósforo y potasio con tres soluciones extractoras en la serie de suelos Alotenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.
23. NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M.H. 1,985. Applied linear statistical models regression, analysis of variance and experiment designs. Illinois, EE.UU., Ed. Richard Irwin. p. 965-975.
24. NORERO, A. 1,977. Diagnóstico de la fertilidad del suelo. Venezuela, CIDIAT. Serie Suelo y Clima, no. SC-16. p. 17-111.
25. RAIJ, B.V. 1,983. Avalicao da fertilidade do solo. 2^a ed. Brasil, Instituto Internacional da Potasa. p. 62-65.
26. SANCHEZ, P.A. 1,981. Suelos del trópico, características y manejo. Trad. Camacho, E. San José, C.R., IICA. 660 p.
27. SIERRA SANTOS, R.R. 1,992. El análisis de suelos y foliar, aplicación en el cultivo del café. In Seminario de Fertilización y Nutrición del Café (1,992, Guatemala). Memoria. Guatemala, ANACAFE-INPOFOS. p. 100-107
28. SILVA, R.L.; GOMEZ, C.R.L. 1,982. Caracterización y disponibilidad del azufre en suelos del sur de Huila. Revista Suelos Ecuatoriales (Col) 12(1): 37-51.
29. SIMMONS, C.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1,959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. P. Tirado-Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1,000 p.

30. STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. 1,988. Bioestadística: principios y procedimientos. Trad. R. Martínez. México, Mcgraw-Hill. p. 231-275.
31. SUMNER, M.E.; WEST, L.T.; LEAL, J.E. 1,992. Suelos de la agroindustria cafetalera de Guatemala: región sur. Georgia, EE.UU., Universidad de Georgia, Depto. de Agronomía. 200 p.
32. TIESDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1,988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. Balasch, J.; Piña, C. México, UTEHA. 760 p.
33. VALENCIA ARISTIZABAL, G.; FRANCO ALVAREZ, H.F. 1,988. Calibración de métodos de extracción de micronutrientes para análisis de suelos con relación a las necesidades del cafeto. CENICAFE (Serie 4) (Col) no. 39: 95-110.
34. WALSH, L.M.; BEATON, J.D. 1,980. Soil testing and plant analysis. Wisconsin, EE.UU., Soil Science Society of America. 491 p.
35. YOC GOMEZ, A.I. 1,989. Determinación del rango y nivel crítico de fósforo con dos metodologías de extracción y potasio con tres metodologías de extracción en la serie de suelos Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 59 p.

Vo. Bo. *Rolando Barrios*
C.E.D.Y.A.



11. APENDICE

CUADRO 18"A". Concentración de Fósforo (P), expresada en mg/Kg

SITIO	OLSEN MODIFICADO	BRAY-KURTZ I	MEHLICH I	MEHLICH III
ANDISOLES				
S1	4.7	4.7	6.2	4.7
S2	6.4	7.3	8.4	7.0
S3	5.7	7.2	5.9	4.1
S4	5.3	3.7	6.8	5.7
S5	12.3	43.3	29.3	18.1
S6	3.2	7.9	8.6	11.0
S7	1.5	3.7	3.1	1.7
S8	5.5	5.7	10.5	7.3
S9	2.3	3.3	2.1	3.0
S10	0.7	2.2	1.5	1.3
S11	3.3	4.3	5.3	4.5
S12	1.3	3.5	2.7	1.9
S13	1.3	5.1	2.1	1.1
S14	0.8	3.1	2.4	0.8
S15	3.3	16.7	19.9	9.8
ULTISOLES				
B1	11.7	23.2	20.6	15.2
B2	21.2	43.3	34.2	22.5
B3	20.9	24.0	22.2	17.8
B4	9.8	5.7	8.4	5.7
B5	5.3	4.3	12.8	3.3
B6	33.9	41.5	31.4	25.0
B7	9.5	8.8	9.1	8.2
B8	26.9	25.7	26.5	15.2
B9	5.3	5.1	5.5	2.1
B10	4.3	5.5	5.7	1.0
B11	12.8	16.0	14.1	9.1
B12	5.5	7.0	5.7	3.3
B13	4.1	7.9	8.6	3.7
B14	13.5	20.2	13.3	12.8
B15	9.4	16.0	9.5	5.5

CUADRO 19"A". Concentración de Azufre (S), expresada en mg/Kg

SITIO	FOSFATO MONOBASICO DE CALCIO
ANDISOLES	
S1	6.9
S2	11.0
S3	8.9
S4	22.3
S5	17.7
S6	5.9
S7	17.4
S8	20.3
S9	8.9
S10	7.7
S11	11.9
S12	3.7
S13	5.7
S14	4.2
S15	7.8
ULTISOLES	
B1	6.2
B2	8.4
B3	12.3
B4	5.6
B5	13.8
B6	3.7
B7	12.7
B8	5.2
B9	4.1
B10	4.2
B11	9.5
B12	5.1
B13	6.4
B14	10.1
B15	10.6

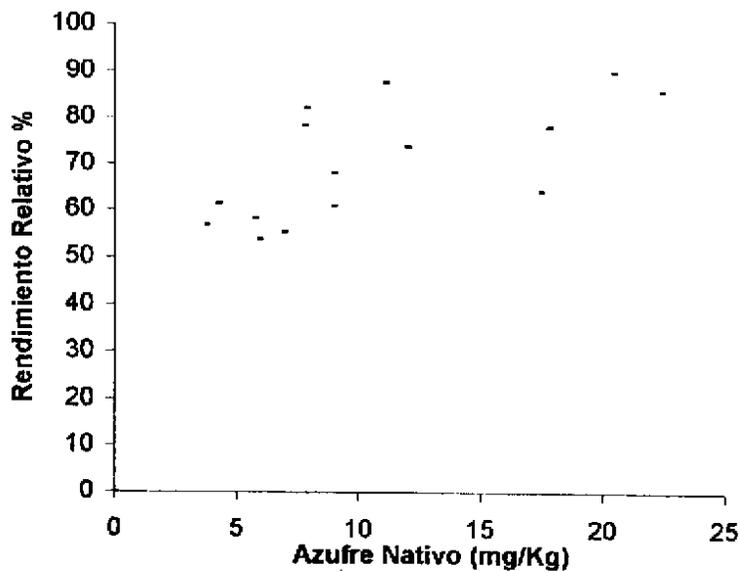


FIGURA 12"A". Nivel Crítico de Azufre, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Fosfato Monobásico de Calcio

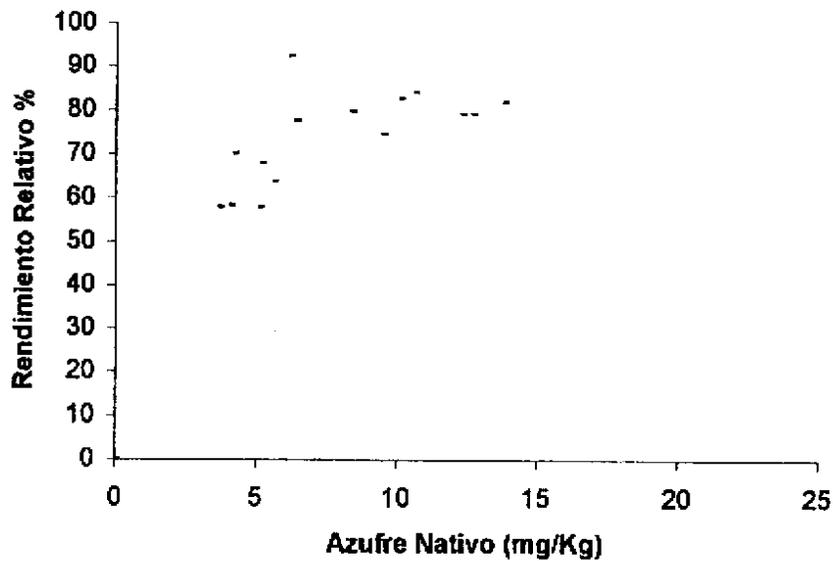


FIGURA 13"A". Nivel Crítico de Azufre, en Ultisoles de la Zona Cafetalera Sureste de Guatemala. Solución Fosfato Monobásico de Calcio

CUADRO 20"A". Rendimiento de biomasa y azufre en tejido vegetal de plántulas de café (*Coffea arabica* L.), cultivadas sobre muestras de los suelos con tratamiento de azufre.

SITIO	RENDIMIENTO DE BIOMASA (g)			RENDIMIENTO RELATIVO %	AZUFRE % EN TEJIDO VEGETAL
	SIN AZUFRE	TRAT. OPTIMO			
S1	77.2	139.5	ANDISOLES	55.34	0.275
S2	90.3	103.1		87.58	0.267
S3	69.2	101.5		68.18	0.272
S4	92.6	108.0		85.74	0.265
S5	98.1	125.6		78.11	0.262
S6	50.5	93.8		53.84	0.275
S7	80.9	126.3		64.05	0.287
S8	80.4	89.5		89.83	0.267
S9	57.6	94.6		60.89	0.280
S10	92.2	117.8		78.27	0.280
S11	88.7	120.2		73.79	0.258
S12	53.8	94.7		56.81	0.270
S13	66.8	114.8		58.19	0.270
S14	62.8	102.3		61.39	0.265
S15	80.0	97.5		82.05	0.267
B1	117.2	126.7	ULTISOLES	92.50	0.265
B2	74.8	93.7		79.83	0.280
B3	75.6	95.3		79.33	0.251
B4	62.3	97.6		63.83	0.265
B5	83.5	101.7		82.10	0.241
B6	58.3	100.5		58.01	0.270
B7	93.7	118.2		79.27	0.275
B8	70.8	104.1		68.01	0.262
B9	68.1	116.6		58.40	0.265
B10	72.9	104.0		70.10	0.262
B11	73.5	98.4		74.70	0.267
B12	73.6	127.0		57.95	0.262
B13	70.8	91.1		77.72	0.255
B14	75.5	91.3		82.69	0.262
B15	92.3	109.7		84.14	0.253

CUADRO 21"A". Correlación entre extracción química de azufre y rendimiento relativo de biomasa, y azufre en tejido vegetal de plántulas de café (*Coffea arabica* L.); y materia orgánica del suelo.

CORRELACIONES	ANDISOLES	ULTISOLES
Fosfato Monobásico de Calcio/Rendimiento de Biomasa	0.6636 **	0.6554 **
Fosfato Monobásico de Calcio/Azufre tejido vegetal	-0.1521 NS	-0.3548 NS
Fosfato Monobásico de Calcio/Materia orgánica	-0.1487 NS	0.6032 *

** Significancia 1% Coeficiente tabulado 0.64

* Significancia 5% Coeficiente tabulado 0.46

NS No existe significancia

CUADRO 22"A". Concentración de Zinc (Zn), expresada en mg/Kg

SITIO	OLSEN MODIFICADO	BRAY-KURTZ I	MEHLICH I	MEHLICH III
ANDISOLES				
S1	1.58	0.90	1.79	0.56
S2	2.27	0.79	2.63	0.77
S3	1.20	0.76	2.30	0.50
S4	1.30	0.47	2.06	0.56
S5	1.27	1.23	2.46	0.71
S6	2.93	1.34	3.86	1.95
S7	3.75	1.81	5.08	1.37
S8	2.70	0.80	3.02	0.56
S9	1.21	0.49	2.74	1.06
S10	1.06	0.45	2.26	0.51
S11	1.42	0.65	2.26	0.43
S12	1.06	0.48	1.91	0.32
S13	1.28	0.79	2.83	0.77
S14	1.05	0.72	2.26	0.51
S15	0.97	0.96	2.68	0.67
ULTISOLES				
B1	2.74	1.29	6.29	1.73
B2	2.42	1.52	5.08	1.38
B3	2.07	1.24	4.29	0.77
B4	2.59	2.59	5.63	1.16
B5	2.48	1.08	6.37	2.03
B6	1.51	1.12	2.66	0.36
B7	2.63	0.64	5.71	2.28
B8	8.84	4.57	13.47	6.53
B9	1.53	1.39	3.30	0.55
B10	1.09	1.20	2.35	0.23
B11	1.55	1.42	2.72	0.62
B12	1.50	1.64	2.63	0.50
B13	0.77	1.02	2.33	0.24
B14	1.16	0.71	2.58	0.77
B15	1.98	1.26	3.17	0.78

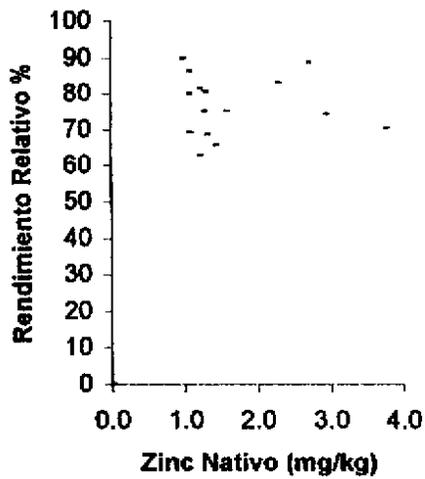


FIGURA 14"A". Nivel Crítico de Zinc, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Olsen Modificado

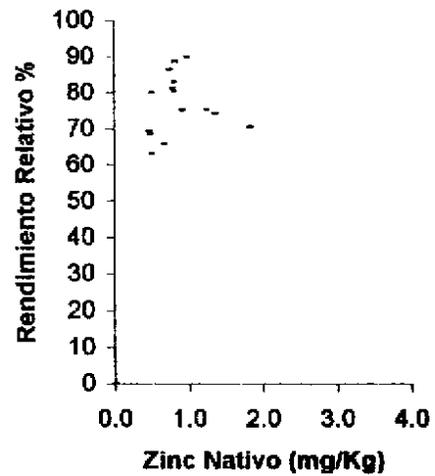


FIGURA 15"A". Nivel Crítico de Zinc, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Bray-Kurtz I

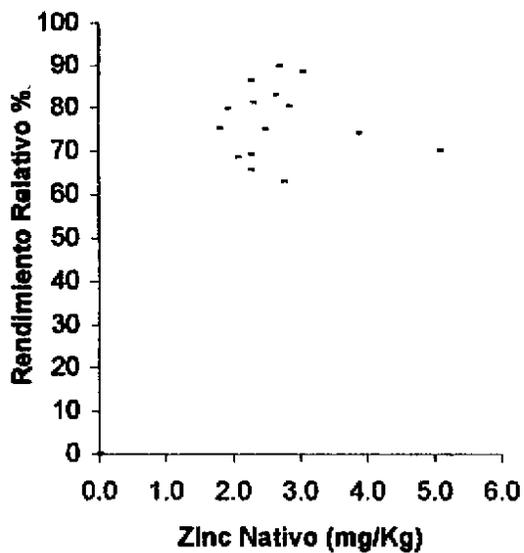


FIGURA 16"A". Nivel Crítico de Zinc, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Mehlich I

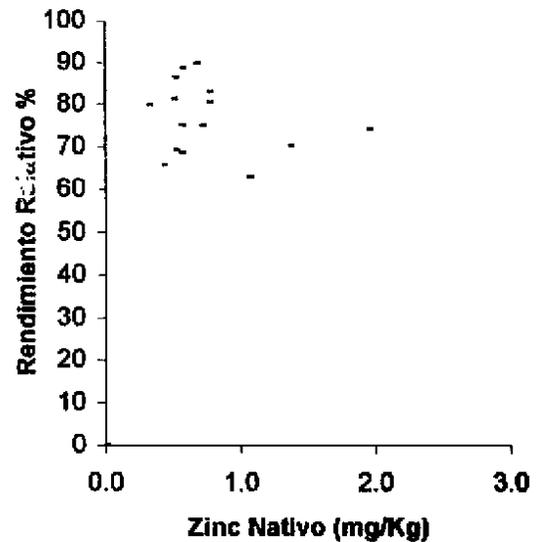
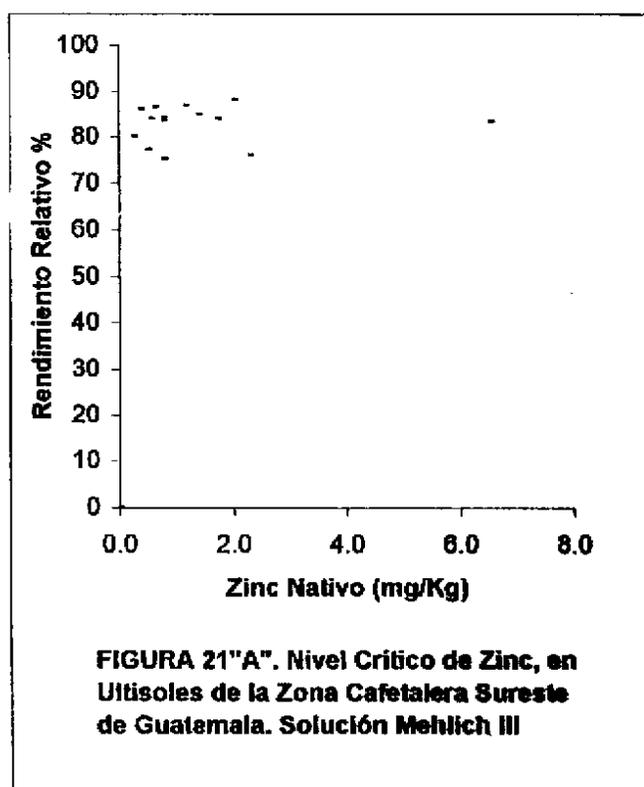
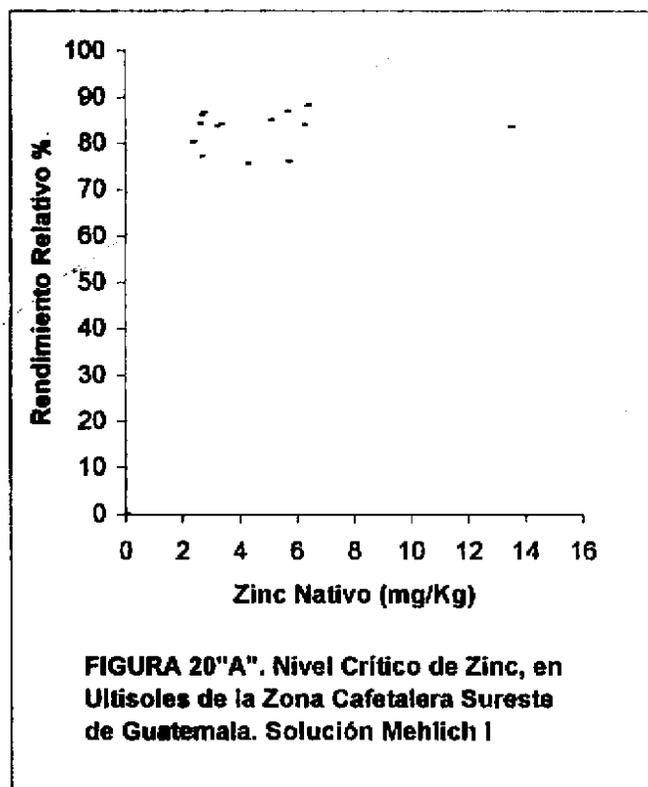
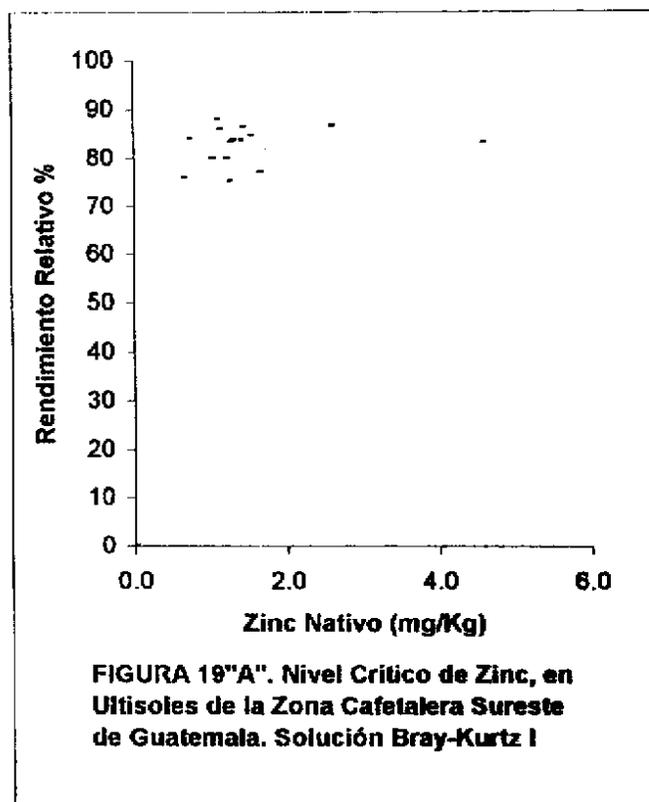
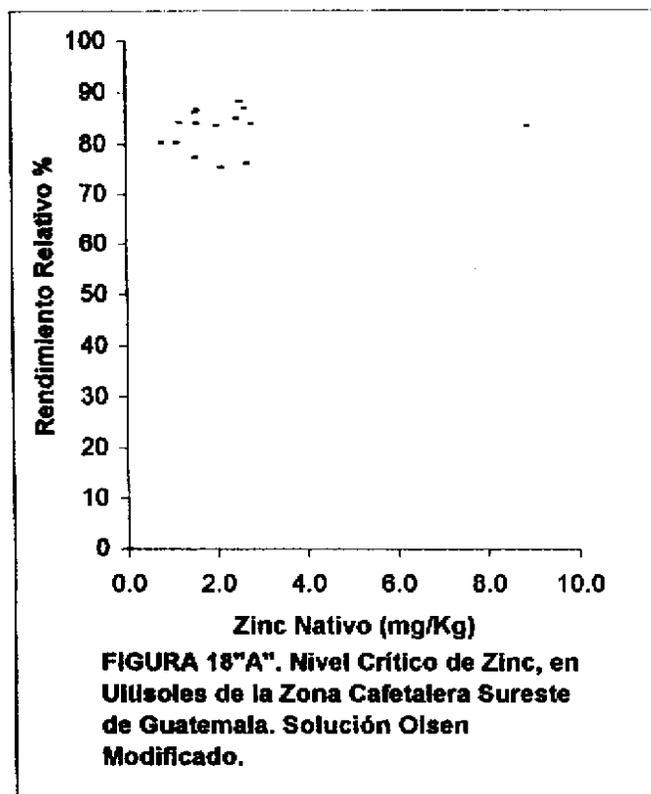


FIGURA 17"A". Nivel Crítico de Zinc, en Andisoles de la Zona Cafetalera Suroeste de Guatemala. Solución Mehlich III



CUADRO 23"A". Rendimiento de biomasa y zinc en tejido vegetal de plántulas de café (*Coffea arabica* L.), cultivadas sobre muestras de los suelos con tratamiento de zinc.

SITIO	RENDIMIENTO DE BIOMASA (g)		RENDIMIENTO RELATIVO %	ZINC EN TEJIDO VEGETAL mg/Kg
	SIN ZINC	TRAT. OPTIMO		
ANDISOLES				
S1	104.7	139.5	75.05	17.3
S2	85.6	103.1	83.03	28.2
S3	82.5	101.5	81.28	24.6
S4	74.0	108.0	68.52	16.5
S5	94.1	125.6	74.92	24.5
S6	69.5	93.8	74.09	24.8
S7	88.7	126.3	70.23	26.8
S8	79.3	89.5	88.60	28.3
S9	59.5	94.6	62.90	23.9
S10	81.5	117.8	69.19	20.7
S11	78.9	120.2	65.64	18.4
S12	75.6	94.7	79.83	16.5
S13	92.3	114.8	80.40	20.8
S14	88.4	102.3	86.41	22.0
S15	87.6	97.5	89.85	28.8
ULTISOLES				
B1	106.3	126.7	83.90	19.0
B2	79.6	93.7	84.95	22.1
B3	71.7	95.3	75.24	17.1
B4	84.8	97.6	86.89	17.0
B5	89.7	101.7	88.20	22.1
B6	86.5	100.5	86.07	17.5
B7	89.8	118.2	75.97	19.0
B8	86.8	104.1	83.38	17.7
B9	97.9	116.6	83.96	18.3
B10	83.4	104.0	80.19	20.4
B11	85.2	98.4	86.59	23.6
B12	98.0	127.0	77.17	36.8
B13	73.0	91.1	80.13	23.7
B14	76.8	91.3	84.12	22.4
B15	91.7	109.7	83.59	29.8

CUADRO 24"A". Correlación entre extracción química de zinc y rendimiento relativo de biomasa, y zinc en tejido vegetal de plántulas de café (*Coffea arabica* L.); y zinc aplicado como tratamiento.

SOLUCIONES EXTRACTORAS	COEFICIENTES CALCULADOS			
	RENDIMIENTO RELATIVO DE BIOMASA		ZINC EN TEJIDO VEGETAL	
	ANDISOLES	ULTISOLES	ANDISOLES	ULTISOLES
OLSEN MODIFICADO	-0.0389 NS	0.0914 NS	0.4690 *	-0.2843 NS
BRAY-KURTZ I	0.0559 NS	0.1844 NS	0.5019 *	-0.1748 NS
MEHLICH I	-0.0882 NS	0.1269 NS	0.5737 *	-0.3717 NS
MEHLICH III	-0.2433 NS	0.0773 NS	0.4032 NS	-0.2822 NS
ZINC APLICADO	0.0641 NS	0.1867 NS	0.4451 NS	0.0697 NS

**SIGNIFICANCIA 1% COEFICIENTE TABULADO 0.64

*SIGNIFICANCIA 5% COEFICIENTE TABULADO 0.46 NS NO EXISTE SIGNIFICANCIA

CUADRO 25"A". Correlación entre extracción química de zinc y la materia orgánica del suelo.

SOLUCIONES EXTRACTORAS	MATERIA ORGANICA	
	ANDISOLES	ULTISOLES
OLSEN MODIFICADO	0.3767 NS	0.1944 NS
BRAY-KURTZ I	0.1096 NS	0.1629 NS
MEHLICH I	0.4965 *	0.2531 NS
MEHLICH III	0.4391 NS	0.2957 NS

**Significancia 1% Coeficiente tabulado 0.64

*Significancia 5% Coeficiente tabulado 0.46 NS No existe significancia



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO, AZUFRE Y ZINC EN ANDISOLES Y ULTISOLES DE LA REGION CAFETALERA SUR DE GUATEMALA".

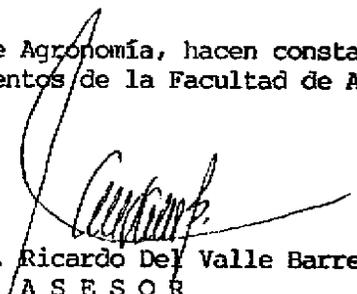
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MILTON GILBERTO PERALTA SANTOS

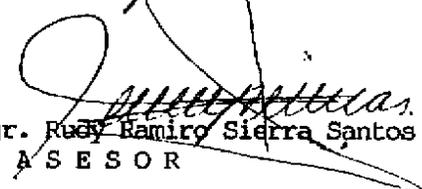
CARNET No: 8816709

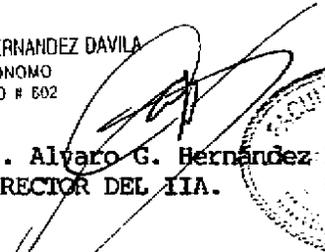
HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Isaac R. Herrera Ibáñez
Lic. Jorge A. Solís González
Ing. Agr. Hugo A. Tobías Vásquez
Ing. Agr. Edwin G. Santos Mancilla

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. José Jesús Chonay Pantzay
A S E S O R


Ing. Agr. Ricardo Del Valle Barrera
A S E S O R


Ing. Agr. Rudy Ramiro Sierra Santos
A S E S O R

ALVARO GUSTAVO HERNANDEZ DAVILA
ING. AGRONOMO
COLEGIADO # 602

Ing. Agr. M.Sc. Alvaro G. Hernández Dávila
DIRECTOR DEL IIA.

I M P R I M A S E


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

cc:Control Académico
IIA.
Archivo
AH/prr.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.
TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: llusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>

