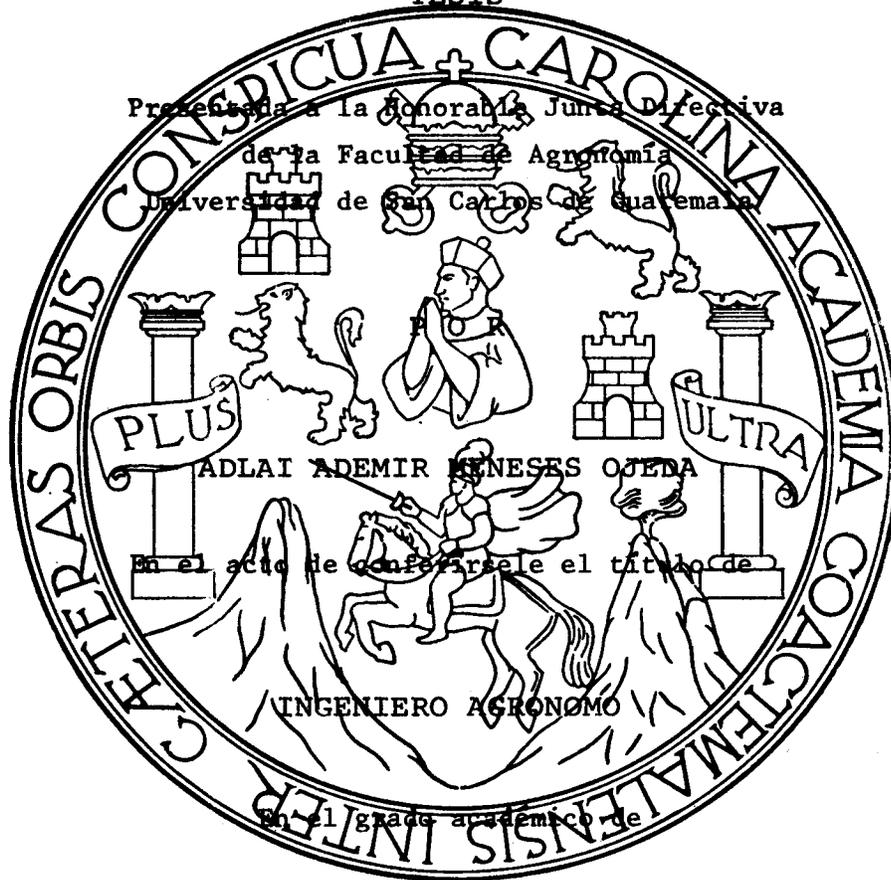


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

"DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO Y POTASIO  
CON TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS EN LA SERIE DE SUELOS  
ALOTENANGO , GUATEMALA

TESIS



LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, 1,986

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

DL  
01  
T(867)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Lic. Roderico Segua

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	:	Ing. Agr. César Castañeda
VOCAL I	:	Ing. Agr. Gustavo Méndez
VOCAL II	:	Ing. Agr. Jorge Sandoval
VOCAL III	:	Ing. Agr. Mario Melgar
VOCAL IV	:	Br. Luis Molina
VOCAL V	:	Prof. Carlos Méndez M.
SECRETARIO	:	Ing. Agr. Luis Castañeda

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	:	Dr. Antonio Sandoval S.
EXAMINADOR	:	Ing. Agr. Manuel Martínez
EXAMINADOR	:	Ing. Agr. Fredy Hernández
EXAMINADOR	:	Ing. Agr. Ernesto González
SECRETARIO	:	Ing. Agr. Carlos Fernández

Guatemala,  
3 de Noviembre de 1,986

Ingeniero Agrónomo  
César Castañeda  
Decano de la Facultad de  
Agronomía  
Universidad de San Carlos  
de Guatemala

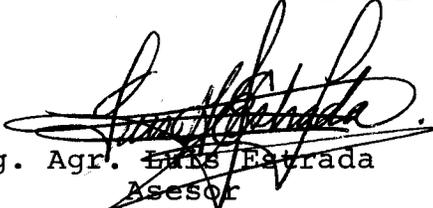
Señor Decano:

En atención al nombramiento que emitiera para asesorar al estudiante ADLAI ADEMIR MENESES OJEDA, Carnet No.51547, en su trabajo de Tesis "DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO Y POTASIO CON TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS EN LA SERIE DE SUELOS ALOTENANGO, GUATEMALA"; informamos que ha sido concluída la asesoría y revisión del documento final.

Por lo antes expuesto, consideramos que el trabajo -- presentado por el estudiante Meneses Ojeda, llena los requisitos de una tesis universitaria, tomando en cuenta que es un aporte valioso para la recomendación de fertilizantes, en la serie de suelos Alotenango. Así mismo, para que sea sometida a discusión en su Examen General Público.

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. César Castañeda  
Asesor

  
Ing. Agr. José J. Chonay  
Asesor

Guatemala,  
3 de Noviembre de 1,986.

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Señores:

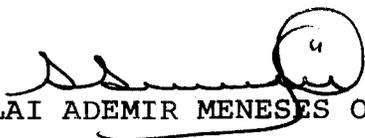
De conformidad con las normas establecidas por la Un  
versidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de presen  
tar a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO Y POTASIO  
CON TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS, EN LA SERIE DE SUE-  
LOS ALOTENANGO, GUATEMALA.

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero  
Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias A-  
grícolas.

En espera favorable, me suscribo de vosotros,

Respetuosamente

  
ADLAI ADEMIR MENESES OJEDA

ACTO QUE DEDICO

A DIOS	Con gratitud infinita
A MIS PADRES	Jesús Meneses Girón María Teresa Ojeda de Meneses
A MI ESPOSA	María Isabel Agüero Umaña de Meneses
A MIS HIJOS	Adlai Alexander Eden Ademir
A MIS HERMANOS	Byron Otoniel Edwin Jesús Mario Gamal Derick Vinicio Zully Elena Milton Miguel
A MIS ABUELOS	(María Luisa Rodríguez, Elena Girón) Q.E.P.D. Anacleto Meneses
A MIS SUEGROS	Juan Bautista Agüero Blanca Umaña de Agüero
A MI FAMILIA EN GENERAL	
A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO	
A MIS AMIGOS EN ESPECIAL	Lic. Boris Ramírez Ing. Carlos Echeverría Ing. Carlos Spiegeler Ing. Marino Barrientos Ing. Alvaro Hernández Ing. Roberto Matheu Lic. Arnoldo Rodríguez Ing. Sergio Velásquez

TESIS QUE DEDICO

A: Mi patria Guatemala

A: La Universidad de San Carlos

A: La Facultad de Agronomía

Al: Instituto Técnico de Agricultura

A: La Promoción de Peritos Agrónomos  
1,973 - 1,975

Al: Campesino guatemalteco, cuya noble labor nos alimenta.

SINCEROS AGRADECIMIENTOS

- A: Ing. Agr. Luis Estrada Ligorría e Ing. Agr. José Jesús Chonay, por su valiosa orientación y ayuda en el desarrollo del presente trabajo.
- A: Ing. Mario Brauner, Rudy Sierra, Anibal Sacabajá, por su desinteresada colaboración.
- Al: Personal del Laboratorio de Suelos de ICTA.
- A: Todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización del presente trabajo.

## CONTENIDO

	Página
Indice de Cuadros	iii
Indice de Figuras	v
Resumen	vi
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
III. Hipótesis	3
IV. Revisión de Literatura	4
A. Comportamiento del fósforo y potasio en suelos de origen volcánico	4
B. Nivel crítico	5
1. Nivel crítico de fósforo	6
2. Nivel crítico de potasio	7
V. Materiales y Métodos	8
A. Localización	8
B. Descripción del material experimental	8
1. Serie de suelos Alotenango	8
2. Planta indicadora	8
C. Técnicas de muestreo y descripción de puntos muestreados	9
1. Técnica de muestreo	9
2. Selección de los puntos de muestreo	10
D. Características físico-químico de los sitios muestreados de la serie Alotenan <u>go</u>	13
1. Análisis de disponibilidad de nu- trientes	13
2. Análisis físico-químico	13
3. Fijación de fósforo y potasio de los puntos muestreados	13
E. Determinación de niveles de fósforo y po- tasio evaluados	13

	Página
F. Determinación de tratamientos	14
G. Metodología experimental	16
1. Diseño experimental	16
2. Manejo del experimento	16
H. Soluciones extractoras evaluadas	17
1. Método de Mehlich o de Carolina del Norte	17
2. Método de Olsen Modificado	18
3. Método de Morgan Modificado por Wolf	18
I. Métodos de análisis e interpretación de resultados	18
VI. Resultados y Discusión	20
A. Análisis de disponibilidad de nutrientes	20
B. Análisis físico-químico	20
C. Resultados de fijación de fósforo y potasio	22
D. Análisis con clasificación jerárquica	26
E. Análisis de rendimiento por efecto de fósforo y potasio y comparación de medias múltiples en cada muestra	27
F. Nivel crítico	35
1. Fósforo	35
2. Potasio	35
G. Correlaciones	39
1. Fósforo	39
2. Potasio	39
VII. Conclusiones	42
VIII. Recomendaciones	43
IX. Bibliografía	44

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Ubicación y uso actual de los puntos m <u>e</u> s treados, en la serie de suelos Alotenango	12
2.	Niveles de fósforo y potasio disponibles evaluados	14
3	Niveles evaluados para cada muestra de suelo de la serie Alotenango, en partes por millón	15
4	Cantidad y fuente de nutrientes aplicados	17
5	Disponibilidad de nutrientes extraídos, con Carolina del Norte, en la serie de suelos Alotenango	21
6	Características físico-químico, de la <u>se</u> rie de suelos Alotenango	23
7	Porcentajes de fijación de fósforo y po- tasio, en el análisis de sorción, para la serie de suelos Alotenango	24
8.	Coefficientes de disponibilidad de fósforo y potasio para cada muestra, de la serie de suelos Alotenango	25
9	Análisis de varianza de rendimiento de bio- masa, expresado en porcentaje	26
10	Análisis de los efectos factoriales medios, de rendimiento de biomasa, para la serie de suelos Alotenango	29
11	Rendimiento de biomasa de los diferentes niveles de fósforo y potasio en g/maceta y comparación de medias múltiples, para la serie de suelos Alotenango	30
12	Rendimiento relativo de biomasa, por efecto de aplicación de fósforo y potasio, en la serie de suelos Alotenango	34
13	Análisis de varianza, del fósforo extraído con las metodologías de extracción y las muestras	35

Cuadro		Página
14	Análisis de varianza, del potasio extraído con las metodologías de extracción y las muestras.	36
15	Coeficiente de correlación, entre el rendimiento relativo y el fósforo extraído con las metodologías de extracción, para la serie de suelos Alotenango.	39
16	Coeficientes de correlación, entre el rendimiento relativo y el potasio extraído con las metodologías de extracción, para la serie de suelos Alotenango.	40
17.	Extracción de fósforo y potasio en ppm con las soluciones evaluadas, en la serie de suelos Alotenango.	41

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Mapa de la República de Guatemala, con la localización de la serie de suelos Alotenango.	11
2	Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras, Carolina del Norte, Olsen Modificado y Morgan Modificado - por Wolf, en la serie de suelos Alotenango.	37
3	Nivel crítico de potasio con las soluciones extractoras, Carolina del Norte, Olsen Modificado y Morgan Modificado - por Wolf, en la serie de suelos Alotenango.	38

## R E S U M E N

Se evaluó la correlación y se determinó el nivel crítico de fósforo y potasio, para las soluciones extractoras Carolina del Norte, Olsen Modificado y Morgan Modificado por Wolf, para la serie de suelos Alotenango, que según Simmons, Tarano y Pinto (23), está desarrollada sobre ceniza volcánica, suelos franco-arenosos, en 51,339 ha equivalente al 0.47% del territorio nacional y se ubica en los departamentos de Guatemala, Escuintla, Chimaltenango, Sacatepéquez y Quetzaltenango.

El presente trabajo se realizó a nivel de invernadero, se usó el sorgo como planta indicadora, en un diseño experimental completamente al azar, la unidad experimental consistió en una maceta de 1000 ml a la cual se le adicionó 300 ml de suelo.

Para obtener el nivel crítico, se utilizó el método gráfico de correlación de Cate y Nelson y el grado de asociación entre el rendimiento y la extracción de fósforo y potasio, con una correlación lineal simple.

Los resultados determinados para nivel crítico son: para fósforo, con Carolina del Norte 12.4 ppm, con Olsen Modificado 15.4 ppm y con Morgan Modificado por Wolf 5.2 ppm. Para potasio, con Carolina del Norte 90 ppm, con Olsen Modificado 140 ppm y con Morgan Modificado por Wolf 85 ppm.

La correlación entre el rendimiento y el fósforo extraído con las metodologías de extracción es significativa al 1% para las tres soluciones evaluadas. Para potasio la correlación es significativa al 1%, para las tres soluciones evaluadas.

## I. INTRODUCCION

Para obtener altos rendimientos en cualquier cultivo, es necesario conocer los factores de la producción que juegan un papel importante en la maximización de esa variable. Dentro de estos factores se encuentra el suelo y dentro del suelo, la fertilidad expresada en términos de disponibilidad y cantidad de nutrientes, cuantificados mediante análisis químicos de muestras de suelo.

Actualmente, se han generado soluciones que tienen la propiedad de hacer extracciones de nutrientes, que simulan la extracción de las plantas. Entre estas, se puede citar, Carolina del Norte ( $\text{HCl}$  0.05N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.025N), Olsen Modificado ( $\text{NaHCO}_3$  0.5N, ácido etilen-di-amino-tetra-acético, sal disódica (E.D.T.A.) 0.01N y 0.05 g/l de superficie 127) y Morgan Modificado por Wolf ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{Na}$  0.73N +  $\text{CH}_3\text{CO}$  + DTPA). Para generar recomendaciones de fertilización, con fósforo y potasio es necesario determinarles un nivel crítico a través de la correlación entre el elemento químico extraído y el porcentaje de rendimiento relativo, bajo condiciones de invernadero previo a las de campo.

El propósito del trabajo fue, determinar el nivel crítico para fósforo y potasio y establecer la correlación entre el rendimiento y el fósforo y potasio extraído, en la serie de suelos Alotenango, que Simmons, Tarano y Pinto (23), mencionan está desarrollada sobre ceniza volcánica reciente, suelta y de color oscuro, ocupando un área de 51,339 ha, equivalentes al 0.47% del área de la República.

## II. OBJETIVOS

- A. Establecer el nivel crítico para fósforo y potasio en la serie de suelos Alotenango.
- B. Seleccionar la metodología de extracción de fósforo y potasio, que correlacione con el rendimiento relativo, en la serie de suelos Alotenango.

## III. HIPOTESIS

- A. El nivel crítico de fósforo y potasio, será igual para las tres soluciones extractoras evaluadas, en la serie de suelos Alotenango.
  
- B. Al menos una metodología de extracción, correlaciona - con la disponibilidad de fósforo y potasio respecto al rendimiento relativo, en la serie de suelos Alotenango.

## IV. REVISION DE LITERATURA.

## A. Comportamiento del fósforo y potasio en los suelos de origen volcánico.

Estrada (9), indica que en términos generales el fósforo se encuentra en la litósfera en concentración de 0.12% y en condiciones de suelo la cantidad de fósforo es de 0.0001 molar o 1 ppm y señala que son varios los factores que afectan la disponibilidad del fósforo a la planta, entre los cuales se menciona pH, tipos de arcilla, humedad y actividad microbiológica. Para Guatemala, Brolo (2), determinó que en 80,746 muestras de suelos provenientes de la república de Guatemala, 55.7% es deficiente en fósforo, lo cual muestra la necesidad de su aplicación.

Esta deficiencia observada por Brolo (2), ha sido notoria en otras latitudes y es así como Guerrero, Búrban y Cabrera (15), anotan que este nutriente ha sido de intensa atención por los investigadores, por el proceso de fijación o retención por el suelo cuando este nutriente se adiciona; fijación que es de gran magnitud cuando se aplica a suelo desarrollado sobre material volcánico, en donde se puede dar el proceso en forma de adsorción física o como precipitación química.

Con respecto a los dos aspectos de magnitud y forma de fijación, Guerrero, Búrban y Cabrera (15), observaron que Latosoles del Brasil retuvieron entre 26.8 y 41.9% del fósforo añadido; en suelos Pandosólicos de Costa Rica, la fijación fue del orden del 86.4% del fósforo añadido y en suelos bajo condiciones de acidez, la retención ocurre principalmente como fosfatos de aluminio y hierro que representan el 60 y 95% de la retención total, en tanto la forma de precipitación cálcica (P-Ca) y la adsorción representó un escaso porcentaje del total.

Lo descrito muestra la necesidad de contar con una solución extractora que correlacione con rendimientos relativos de invernadero y campo, por lo que al respecto, Rodríguez y León (21), en un suelo negro derivado de ceniza volcánica mediante análisis, determinaron que su pH era 5.1 con un 27.5% de materia orgánica y bajo condiciones de pH favorables, al someterlo a un estudio de invernadero, con diferentes dosis de fósforo y calcio aumentaron proporcionalmente los rendimientos, notándose que aplicaciones de cal aumentan la efectividad del fósforo aplicado y la mejor respuesta se obtuvo de 200 Kg. de  $P_2O_5$ /ha, siendo la menor respuesta con la dosis de 0 Kg de  $P_2O_5$ /há.

Rodríguez y León (21), observaron que en el análisis químico del suelo, la extracción de fósforo es proporcional al aplicado, mientras que en el tejido este nutriente no sufrió cambios notables cuando el mismo se adicionó en forma creciente.

Arca (1), al trabajar con suelos volcánicos de la zona de Arequipa y Ayacucho, Perú, observó que en condiciones de Arequipa y usando el método o solución extractora de Olsen, el fósforo disponible en la capa arable fue inferior a 5 ppm. Para Ayacucho, los valores del fósforo disponibles en el horizonte superior, con la solución extractora de Olsen, varían de 2.1 a 26.1 ppm con un promedio de 9.8 ppm y en el segundo horizonte, la variación fue de 5.3 a 7.7 ppm con un promedio de fósforo disponible de 6.5 ppm, promedios que se pueden considerar como un nivel crítico.

En relación al potasio, Estrada (9), indica que éste se encuentra bien abastecido en la mayoría de suelos de Guatemala; sin embargo, este elemento se puede agotar, debido a la absorción por las plantas, lixiviación, fijación y la erosión, además menciona que el contenido en la planta varía entre 1 a 8%. Al respecto, Fisdale y Nelson (25), señalan que el potasio es uno de los elementos que mayor absorbe el vegetal y -- que el contenido en la corteza terrestre es del 2.4%.

Rodríguez y León (21), en su estudio de suelos negros derivados de ceniza volcánica, observaron que el potasio aumentó la productividad de papa. En maíz, indican que los rendimientos decrecen al no aplicar potasio, en un período de 5 años. La disminución de estos rendimientos está entre 1.59 y 3.89 Ton./ha de maíz. Observaron en el análisis de tejido, que la aplicación de potasio influye en el contenido de potasio en las hojas y determinaron que contenidos iguales o menores al 1% de potasio en las hojas, es limitante para la producción de maíz.

Brolo (2), al analizar 80746 muestras de suelos provenientes de la República de Guatemala, encontró el 14.5% con deficiencia de potasio, indica que este elemento está presente en la mayoría de suelos de Guatemala, atribuido a su origen volcánico.

#### A. Nivel Crítico.

Díaz-Romeu y Hunter (7), indican que el uso del análisis de suelos como un medio para determinar el estado de fertilidad, en términos de disponibilidad adecuada o excesiva

de los elementos presentes en el suelo para las plantas, está basado en la teoría de que existen ciertos niveles críticos - en relación al método analítico utilizado. Cuando el nivel - de un elemento medido en el suelo está por debajo de este "nivel crítico", el crecimiento de la planta estará restringido por el grado en que ese elemento se encuentre debajo de dicho nivel.

Care y Nelson (3), denominan al nivel crítico del análisis de suelo como el punto debajo del cual la probabili--dad de una respuesta económica a la adición de fertilizantes es alta y por encima del cual la probabilidad es baja. Citan que por encima del valor crítico el elemento deja de ser un factor limitante.

#### 1. Nivel Crítico de Fósforo.

Son varios los estudios que se tienen sobre el nivel crítico en fósforo y en los mismos se puede observar la variación de este nivel crítico.

González (13), al trabajar con 18 suelos de la República de Guatemala, con la solución extractora de Carolina -- del Norte, determinó que bajo condiciones de invernadero, el nivel crítico de fósforo es de 19 ppm. Hurtarte (17), determinó que para la serie de suelos Chicaj el nivel crítico de - fósforo con Carolina del Norte, es de 13.5 ppm y con Olsen Mo dificado es de 2.5 ppm.

Palencia (20), bajo condiciones de campo, con varios suelos de la República de Guatemala, determinó en 7 ppm el ni vel crítico de fósforo para granos básicos, con Carolina del Norte y concluye que la solución usada ofreció la confiabili--dad deseada en un proceso de evaluación de la fertilidad del suelo. Años más tarde, para granos básicos, Cifuentes (4), determinó que para el Sur Oriente de Guatemala, el nivel crítico de fósforo es de 7 ppm, con Carolina del Norte.

Estrada (11), determinó en 12 ppm el nivel crítico - de papa, para la solución extractora Carolina del Norte.

Moscoso Díaz (19), al evaluar el comportamiento del fósforo extraído con Carolina del Norte y Olsen Modificado en tres series de suelos, concluyó que la correlación del fósforo extraído y porcentaje de rendimiento relativo, es diferencial para cada serie de suelo y método de extracción. Domínguez (8), al evaluar la correlación de extracción de fósforo disponible en seis suelos de Guatemala, determinó una alta co

rrelación entre las soluciones Carolina del Norte, Olsen Modificado, Bray II y Trueg.

## 2. Nivel Crítico de Potasio.

Siendo un nutriente que se manifiesta en un equilibrio dinámico, el potasio difícilmente puede estar en condiciones de baja disponibilidad para las plantas. Sin embargo, en las zonas de alta precipitación pluvial, este elemento está sujeto a una mayor lixiviación, que en un momento dado puede localizarse como deficiente para el desarrollo de un cultivo.

Estos dos aspectos, muestran la necesidad de conocer cual sería el nivel crítico a partir del cual el potasio no se presente deficiente para el desarrollo del cultivo. Esto llevó a Estrada (10), a determinar que bajo condiciones de invernadero y con Carolina del Norte, el nivel crítico para potasio es de 140 ppm.

Palencia (20), al usar la misma solución extractora y diversos suelos de Guatemala, estableció un nivel crítico de 60 ppm en general para granos básicos, el cual Cifuentes (4), en la región sur oriental de Guatemala (Jutiapa) lo determinó en 110 ppm con Carolina del Norte para granos básicos.

Estrada (11), determinó que para el cultivo de papa, el nivel crítico de potasio es de 100 ppm, con la solución Carolina del Norte.

## V. MATERIALES Y METODOS.

## A. Localización.

El experimento se desarrolló bajo las condiciones del invernadero de la disciplina de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ubicado en la 7a. Av. 3-67, Zona 13. Su localización geográfica es de 4°35' 11" latitud norte y 90°31' 58" longitud oeste, con una elevación de 1,502 msnm, con temperatura media de 18.2°C., con una precipitación anual de 1,246 mm, distribuidos en 110 días del año, en una humedad relativa de 79% (14).

## B. Descripción del material experimental.

## 1. Serie de Suelos Alotenango:

Simmons, Tarano y Pinto (23), indican que son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica reciente, suelta y de color oscuro, se encuentra entre -- 750 y 1,800 msnm.

La mayoría del área se encuentra en la falda del Volcán de Fuego, el perfil del suelo presenta en algunos lugares el horizonte 0 de 2-4 cm. de espesor, con pH de 6.5; el horizonte A con un espesor de 35-40 cm., con estructura granular, textura franco-arenosa, con un pH de 6.0; el horizonte 8 con un espesor de 70-85 cm., textura franco-arenosa, estructura granular y pH de 6.0; el horizonte C es ceniza volcánica o escoria méfica, su pH 6.0. La mayoría del área está cubierta de bosque, malezas y los cultivos que se tienen son café, caña y maíz.

El área que ocupa la serie comprende 51,339 ha, equivalente al 0.47% de la República; se encuentra localizada en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Escuintla y Chimaltenango, como se observa en la Figura 1.

De acuerdo a Herrera (16), esta serie de suelos se -- clasifica según la Taxonomía de Suelos como un Tipic Vitran-- depts.

## 2. Planta Indicadora.

Para poder determinar los niveles críticos del pota--

sio y fósforo en la serie de suelos Alotenango, es necesario el uso de una planta indicadora que manifieste el desarrollo alcanzado con los diferentes niveles que se aplicaron.

Díaz-Romeu y Hunter (7), recomiendan, en invernadero el uso del sorgo, por las ventajas que presenta entre las --cuales tenemos; que es sensible a la mayoría de deficiencias crece rápido, tiene semilla pequeña, crece bien en un amplio rango de condiciones climáticas y germina rápido.

El sorgo puede sembrarse directamente en las macetas, alcanzando su máximo crecimiento de 4 a 5 semanas.

Estas características determinaron que en el presente estudio, se utilizará el sorgo, cuyo nombre científico es Sorghum vulgare, pertenece a la familia de las gramíneas.

Sus características botánicas son: posee tallos erectos, macizos desde 0.6 a 2.5 metros de altura. En cada yema lateral se encuentra un nudo, en lados opuestos unos con --- otros. Los nudos llevan acanaladuras alternadas de un lado a otro, junto con las yemas laterales y las hojas.

Las hojas son de limbos sin vellosidades y de superficie cerosa. El sistema radicular es muy ramificado y sin raíz pivotante.

La espiga es compacta, con muchas ramificaciones primarias. La semilla puede ser blanca, roja, amarilla o parda.

Para el presente estudio, se utilizó la variedad Guatecau; que produce grano blanco y se adapta a una altura de 1 a 1,200 msnm.

### C. Técnicas de muestreo y descripción de los puntos muestreados.

#### 1. Técnica de muestreo.

La técnica de muestreo, secado y homogenización de las muestras de suelos recolectadas, fue la propuesta por - Waugh y Fitts (26).

## 2. Selección de los puntos de muestreo.

Para la selección de los puntos de muestreo se consideró la distribución de esta serie de suelos, que se observa en la Figura 1; en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Escuintla y Quetzaltenango.

La otra consideración fue el uso actual en función al cultivo que se observó al momento del muestreo. Cuadro 1.

La determinación del número de muestras, se hizo en base a lo recomendado por Cate y Nelson (3).

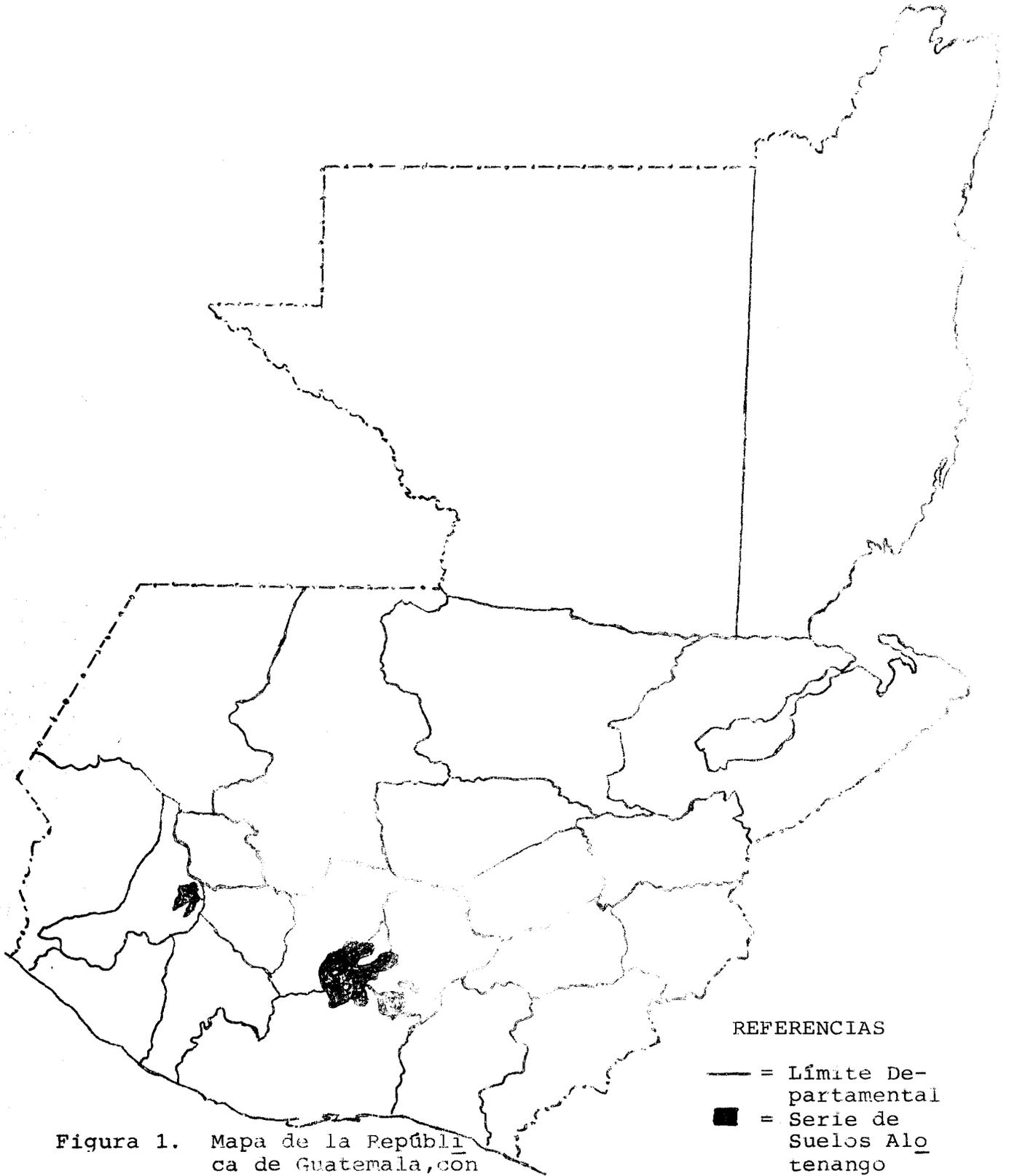


Figura 1. Mapa de la República de Guatemala, con la localización de la serie de suelos Alotenango.

Cuadro 1. Ubicación y uso actual de los puntos muestreados de la serie de  
Suelos Alotenango

Número	Ubicación	Municipio	Departamento	Uso de la tierra
1	Finca Sábana Grande	Escuintla	Escuintla	Caña de Azúcar
2	Finca Sábana Grande	Escuintla	Escuintla	Café
3	Escuintla	Escuintla	Escuintla	Potrero
4	Alotenango	Alotenango	Sacatepéquez	Maíz
5	Finca Capetillo	Alotenango	Sacatepéquez	Café
6	Alotenango	Alotenango	Sacatepéquez	Potrero
7	Alotenango	Alotenango	Sacatepéquez	Maíz
8	Aldea Calderas	Santa Catarina Barahona	Sacatepéquez	Hortalizas
9	Aldea Calderas	Santa Catarina Barahona	Sacatepéquez	Rastrojo de Maíz
10	Aldea Pampay	Parramos	Chimaltenango	Maíz-Frijol
11	Aldea Pampay	Parramos	Chimaltenango	Terreno preparado para sembrar papa
12	Aldea Pampay	Parramos	Chimaltenango	Potrero
13	Almolonga	Almolonga	Quetzaltenango	Hortalizas
14	Almolonga	Almolonga	Quetzaltenango	Flores
15	San Vicente Pacaya	San Vicente Pacaya	Escuintla	Café
16	San Vicente Pacaya	San Vicente Pacaya	Escuintla	Potrero
17	Aldea Mesillas	Amatitlán	Guatemala	Maíz
18	Santa María de Jesús	Santa María de Jesús	Sacatepéquez	Maíz
19	Santa María de Jesús	Santa María de Jesús	Sacatepéquez	Frutales
20	Santa María de Jesús	Santa María de Jesús	Sacatepéquez	Bosque

D. Características físico-químico de los sitios muestreados de la serie Alotenango.

1. Análisis de disponibilidad de nutrientes.

Las muestras de suelos, fueron analizadas en el laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, para determinar el pH, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

El fósforo, potasio, calcio y magnesio se extrajeron con la solución  $\text{HCl } 0.05\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0.025\text{N}$ , la cuantificación de fósforo por colorimetría, potasio, calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados se presentan en el Cuadro 5.

2. Análisis Físico-Químico.

Con el propósito de caracterizar el suelo de la serie Alotenango, se analizaron 3 de las muestras recolectadas, la textura por el método de Bouyucos (12), la materia orgánica por el método de Walkley y Black citados por Sais del Río y Bornemiza (22), la capacidad de intercambio catiónico, por el método descrito por Chapman y Pratt (6), los cationes intercambiables por absorción atómica en el extracto con acetato de amonio (6). Los resultados se presentan en el Cuadro 6.

3. Fijación de Fósforo y Potasio de los puntos muestreados.

Para determinar la capacidad de fijación de fósforo y potasio de la serie de suelos Alotenango, las muestras recolectadas fueron sometidas al método de sorción (7), que consiste en agregar concentraciones crecientes de fósforo y potasio. Luego cuando la muestra se ha secado, se hace la extracción con la solución Carolina del Norte. Los resultados de la fijación en porcentajes, se presentan en el Cuadro 7 y en el Cuadro 8 los coeficientes de disponibilidad de fósforo y potasio, que sirven de base para estimar las cantidades a aplicar.

E. Determinación de niveles de fósforo y potasio evaluados.

Para definir los niveles de fósforo y potasio a eva-

luar, se consideró lo indicado por Díaz-Romeu y Hunter (7), en el sentido de que debe usarse en invernadero, un nivel crítico equivalente a 3 veces el nivel crítico de campo. Siguiendo este criterio, se tomaron los niveles determinados por Palencia (20), en el Cuadro 2 se observa los niveles.

Cuadro 2. Niveles de Fósforo y Potasio disponibles evaluados

Fósforo ppm	Potasio ppm
0	0
21	200
42	400
63	

#### F. Determinación de Tratamientos.

Los niveles de fósforo y potasio seleccionados, fueron combinados para dar lugar a los tratamientos que se presentan en el Cuadro 3, para cada punto de muestreo.

Cuadro 3. Niveles evaluados para cada muestra de suelo de la serie Alotenango, en partes por millón.

Niveles Muestra	P <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	K <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>
1	21	200	21	400	42	200	42	400	00	200	63	400	21	00
3	21	200	21	400	42	200	42	400	00	200	63	400	21	00
4	21	200	21	400	42	200	42	400	00	200	63	400	21	00
6	21	200	21	400	42	200	42	400	00	200	63	400	21	00
8	21	200	21	400	42	200	42	400	00	200	63	400	21	00
9	21	200	21	400	42	200	42	400	00	200	63	400	21	00

Niveles Muestra	P <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	K <sub>0</sub>	P <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	P <sub>3</sub>	K <sub>1</sub>
2	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
10	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
11	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
12	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
13	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
14	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
15	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
16	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
17	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
19	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200
20	21	00	21	200	42	00	42	200	00	00	63	200

Niveles Muestra	P <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	K <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>
7	00	200	00	400	21	200	21	400	00	00

Niveles Muestra	P <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>
5	00	00	00	200	21	00	21	200
18	00	00	00	200	21	00	21	200

## G. Metodología Experimental.

### 1. Diseño Experimental.

Para evaluar el efecto de los factores en estudio, los tratamientos seleccionados se sometieron a comparación mediante un diseño experimental correspondiente a un completamente al azar, con estructura jerárquica y tres repeticiones de acuerdo al modelo  $Y_{ijk} = u + a_i + b_j(i) + e_{ijk}$ , en donde:

- $Y_{ijk}$  = Variable respuesta observada en la repetición  $k$  del tratamiento  $j$ .
- $u$  = Efecto de la media general.
- $a_i$  = Efecto del  $i$ ...ésimo sitio.
- $b_j(i)$  = Efecto del nivel  $j$  dentro de cada sitio  $i$ .
- $e_{ijk}$  = Error experimental, asociado a la  $ijk$ ...ésima unidad experimental.

Y para cada sitio de acuerdo al modelo.

$$Y_{ij} = u + a_i + e_{ij}, \text{ en donde:}$$

- $Y_{ij}$  = Variable respuesta observada en la repetición  $j$  del tratamiento  $i$ .
- $u$  = Efecto de la media general.
- $a_i$  = Efecto del  $i$ ...ésimo tratamiento.
- $e_{ij}$  = Error experimental, asociado a la  $ij$ ...ésima unidad experimental.

Como unidad experimental se utilizaron macetas de polietileno de un litro de capacidad, cada una con 300 cc de suelo.

### 2. Manejo del experimento.

En bolsas plásticas, previamente identificadas, se agregó 300 cc de suelo a cada una de las 363 bolsas, luego se les aplicó los nutrientes por medio de una pipeta. Las cantidades y fuente de los elementos se aplicaron con base en las recomendaciones de Díaz-Romeu y Hunter (7), en el Cuadro 4 se observan.

Cuadro 4. Cantidad y Fuente de Nutrientes Aplicados.

Nutriente	Cantidad	Fuente
N	200 ppm/100 ml de suelo	2 (NH <sub>2</sub> ) CO
Cu	8 ppm/100 ml de suelo	CuCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O
Zn	10 ppm/100 ml de suelo	ZnCl <sub>2</sub>
Fe	10 ppm/100 ml de suelo	FeCl <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O
S	40 ppm/100 ml de suelo	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Bo	1 ppm/100 ml de suelo	H <sub>3</sub> Bo
Mo	1 ppm/100 ml de suelo	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O

Para fósforo y potasio se aplicó de acuerdo con los tratamientos que se detallan en el Cuadro 3, la fuente de fósforo H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y potasio KCl, a los 6 días de aplicados los nutrientes, se homogenizaron los suelos y se pasaron a las macetas de 1000 ml de capacidad.

En cada maceta se sembraron 25 semillas de sorgo, a los 10 días de germinadas, se procedió a realizar el entresa que, se dejó 8 plantas por unidad experimental; la aplicación del riego se efectuó con agua destilada virtiéndola sobre el suelo.

A los 32 días de sembradas se procedió a su corte, para luego ingresarlas al laboratorio donde fueron secadas en un horno a una temperatura de 60°C por 24 horas, para obtener los resultados de materia seca.

#### H. Soluciones extractoras evaluadas.

A continuación se describen las 3 soluciones extractoras evaluadas.

##### 1. Método de Mehlich o de Carolina del Norte.

Estrada (8), indica que éste consiste en una solución

extractora a base de  $\text{HCl}$  0.05N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.025N, es recomendable para suelos de pH ácido, sin  $\text{CaCO}_3$  libre,. Para la extracción utiliza la relación suelo: solución 1:5 agitándose por 5 minutos, luego se filtra en papel Watman número 2.

## 2. Método de Olsen Modificado.

Díaz-Romeu y Hunter (7), indican que la solución está compuesta por  $\text{NaHCO}_3$  0.5N, ácido etilen-di-amino-tetra-acético, sal disódica ( $^3\text{E.D.T.A.}$ ) 0.01N y 0.05 g/l de superfloc 127, ajustado al pH de la solución a 8.5 con sulfato de amonio.

Estrada (8), indica que esta solución es recomendable para suelos con amplio rango de pH, para la extracción utiliza la relación suelo : solución 1:10, agitándose por 10 minutos, luego se filtra en papel Watman número 2.

## 3. Método de Morgan Modificado por Wolf.

Wolf (27), indica que la solución extractora es a base de  $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{Na}$  0.73N +  $\text{CH}_3\text{CO}$  + DTPA, a un pH de 4.8, es utilizada en un amplio rango de pH. Para la extracción utiliza la relación suelo: solución 1:2 agitándose por 5 minutos luego se filtra en papel Watman número 2.

## I. Métodos de análisis e interpretación de resultados.

Los resultados obtenidos se analizaron así:

Se consideró como referencia los resultados medios de cada tratamiento expresados en g/maceta, se analizaron por medio de la técnica de Yates, mencionada por Cochran y Cox (5) para encontrar el efecto factorial medio (EFM) y por medio de la comparación de medias múltiples de Tuckey y se determinó los mejores tratamientos en cada muestra.

El nivel crítico se determinó por medio de la técnica de Cate y Nelson (3), en base a los rendimientos relativos y contenido inicial de fósforo y potasio en cada muestra y para cada uno de los métodos de extracción.

En la determinación de los coeficientes de correlación y regresión, se utilizó la correlación lineal simple y regresión, Little (18).

Para determinar la diferencia entre las 20 muestras y los distintos niveles aplicados, se hizo por medio de un análisis de varianza con clasificación jerárquica (24).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la serie de suelos Alotenango, los cuales son discutidos - en el orden siguiente.

- A. Análisis de disponibilidad de nutrientes.
- B. Análisis Físico-Químico.
- C. Fijación de fósforo y potasio.
- D. Análisis con clasificación jerárquica.
- E. Análisis de rendimiento por efecto de fósforo y potasio y comparación de medias múltiples en cada muestra.
- F. Nivel crítico.
- G. Correlaciones.

- A. Análisis de disponibilidad de nutrientes.

En el Cuadro 5, se presenta los resultados de la disponibilidad de nutrientes, cuantificados en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.

Los valores de pH, varían de 6.1 a 6.8; esta acidez de los suelos, los clasifica de neutro a ligeramente ácidos.

El fósforo, presenta una variación de 1 ug/ml a 33 - ug/ml, valores considerados de deficiente a muy altos, con algunos valores intermedios. El potasio, presenta una variación de 45 a 538 ug/ml, que lo sitúa en rangos de deficiente a adecuado. Los valores de fósforo y potasio, son los deseados para este tipo de estudio.

El calcio y magnesio, aunque presentan rangos de cantidades bajas a altas, se considera que su relación es adecuada para los propósitos de este estudio.

- B. Análisis Físico-Químico.

En el Cuadro 6, se presentan los resultados de los análisis físico-químico, de muestras seleccionadas al azar, - realizado en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.

Cuadro 5. Disponibilidad de nutrientes extraídos con Carolina del Norte, en la serie de suelos Alotenango.

Muestra	pH	Microgramos/ml		Meq/100 ml suelo	
		P	K	Ca	Mz
1	6.7	2	71	2.73	0.42
2	6.1	1	133	11.46	1.47
3	6.6	2	73	6.6	1.08
4	6.6	15.5	55	5.22	0.69
5	6.4	30	253	14.7	4.44
6	6.6	13.5	55	6.12	0.96
7	6.6	33	100	10.11	1.32
8	6.4	6	45	13.83	1.92
9	6.6	6	60	17.7	1.86
10	6.8	9	88	9.48	1.38
11	6.8	12	125	8.34	1.14
12	6.6	12	145	6.12	0.87
13	6.4	14.5	220	10.35	3.12
14	6.2	18	120	6.87	2.37
15	6.5	6	528	14.97	3.04
16	6.6	12.5	428	12.48	3.9
17	6.6	8	460	14.97	3.42
18	6.8	33	180	12.09	1.47
19	6.7	6	345	11.85	2.46
20	6.7	13.5	480	10.71	3.6

La textura de los suelos, corresponde a un franco-arenoso, el porcentaje de materia orgánica, varía de 4.4% a 7.15%, valores que se consideran adecuados.

El C.I.C., presenta valores adecuados en cuanto a su contenido en meq/100 g, suelos que pueden ser fértiles y adecuados para ser cultivados.

El porcentaje de saturación de bases, en las muestras 15 y 19, presenta suelos fértiles, en el suelo 2, su contenido es bajo.

#### C. Resultados de fijación de fósforo y potasio.

En el Cuadro 7, se presentan los porcentajes de fijación de fósforo y potasio, según las cantidades de éstos adicionados.

De acuerdo a los porcentajes de fósforo reportados en el Cuadro 7, se puede considerar a la serie Alotenango como de mediana a alta capacidad de fijación, obsérvese que con la adición de 140 ppm de fósforo, la fijación disminuye y con valores bajos de fósforo disponible, reportan porcentajes de fijación altos.

Respecto al potasio en el Cuadro 7, este presenta valores que se consideran con mediana y baja capacidad de fijación, obsérvese que a partir de la adición de 176 ppm de potasio, la fijación disminuye en la mayoría de suelos, alcanzando valores de cero fijación como el suelo 15.

Los coeficientes de disponibilidad de fósforo y potasio, que se observan en el Cuadro 8, presentan valores de 1.76 a 29.13, para fósforo, en cuanto al fósforo aplicado con lo extraído. Para potasio el rango de variación es menor, varían entre 1.05 a 1.45, son suelos homogéneos en la relación de potasio aplicado y potasio extraído.

Cuadro 6. Características Físico-Químico de la serie de suelos  
Alotenango

Muestra	Porcentaje			Clase Textural	%M.C.	Meq/100 g						%S.B.
	Arcilla	Limo	Arena			CIC	Ca	Mg	Na	K	H	
2	13,59	22,6	63,81	Franco-arenoso	7.15	28,53	12.12	1.59	0.29	0.41	14.12	50.51
15	16,23	23,58	60,19	Franco-arenoso	6.17	22	15.62	3.4	0.41	2.01	0.56	97.45
19	13,44	24,27	62,29	Franco-arenoso	4.41	20,38	12.1	3.1	0.3	1.25	3.63	82.19

Cuadro 7. Porcentajes de fijación de fósforo y potasio, en el análisis de sorción, para la serie de suelos Alotenango.

Nutriente aplicado	% de fijación de fósforo, en la sorción					% de fijación de potasio, en la sorción				
	35	70	140	280	560	43	86	176	352	704
Muestra 1	94.3	95.7	96.4	96.7	96.7	11.6	55.8	17	17.8	9.5
2	100	98.5	98.7	98.2	97.1	13.9	69.7	22.1	29.5	30.5
3	100	97.1	96.4	95.7	94.6	11.6	18.6	14.8	16.1	10.7
4	68.8	71.4	65	55.7	51	23.2	15.1	14.2	12.5	12.2
5	82.5	80	62.8	62	56.7	41.8	40.9	17.6	22.4	16.5
6	68.6	74.3	77.1	61.4	55.7	30.3	27.9	21	21.3	18
7	62.8	75.7	70	60.3	63.2	13.9	48.8	18.2	17	18
8	91.4	82.8	81.4	70.7	69.3	30.2	36.7	6.8	15.6	19
9	85.7	82.8	82.8	80	70.9	18.6	18.6	16.5	19.9	13.7
10	17.1	78.5	75	67.5	65	23.6	20.9	13.6	15.6	9.8
11	91.4	88.5	86	82.8	71.8	15.1	15.1	20.4	17.6	13.3
12	74.3	81.4	80	71.7	67.1	00	9.3	14.7	13.9	14.3
13	80	62.8	77.8	65.3	63	2.3	51.2	48.8	27.5	28.3
14	65.7	81.3	70.5	57.1	57.1	132	111	28.9	44.6	38.6
15	88.5	82.8	82.8	75	74.1	00	00	00	00	00
16	74.3	77.1	74.8	67.1	62.1	65.1	53.5	31.8	19	20.4
17	88.6	87.1	85.7	82.5	71.6	00	1.2	20.4	19	19.7
18	00	70	68.6	64.6	62.7	18.6	33.7	22.1	20.4	20.4
19	82.8	82.8	81.4	73.2	70.5	41.8	61.6	21.5	32.4	26.4
20	65.7	61.4	37.1	40	40.5	41.9	12.8	17.6	10.5	16.1

Cuadro 8. Coeficientes de disponibilidad de fósforo (CdP) y potasio (CdK) para cada muestra de la serie de suelos Alotenango.

Muestra	CdP	CdK
1	22	1.18
2	29.13	1.21
3	18.65	1.1
4	2.26	1.11
5	2.15	1.11
6	2.56	1.19
7	2.23	1.16
8	3.67	1.19
9	4	1.14
10	9.96	1.1
11	4.07	1.13
12	3.11	1.06
13	2.64	1.19
14	2.26	1.45
15	3.68	1.07
16	2.53	1.1
17	3.98	1.05
18	2.11	1.12
19	3.91	1.13
20	1.76	1.06

## D. Análisis con clasificación jerárquica.

Cuadro 9. Análisis de varianza de rendimiento de biomasa expresados en %.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Sitios	19	43.14	2.27	4.48**	2.03
N/Sitios	101	51.17	0.506	6.4**	1.32
Error	242	19.34	0.079		
Total	362	113.65			

\*\* = Significancia al 1% de probabilidad

C.V. = 15.43%

El análisis de varianza reportado en el Cuadro 9, indica que entre los 20 puntos muestreados hay diferencias significativas, por lo que sus contenidos nativos de fósforo y potasio son diferentes; así como las características de fijación de estos elementos.

En el mismo análisis, se observa que para los niveles utilizados en los distintos tratamientos, la diferencia es significativa. Esta significancia es el resultado de los distintos niveles usados en los tratamientos.

**E. Análisis de rendimiento por efecto de fósforo y potasio y comparación de medias múltiples en cada muestra.**

**Muestra 1:** En el Cuadro 10, los efectos factoriales medios de fósforo y potasio y su interacción son no significativos. Por lo tanto, siguiendo el método de análisis los cuatro tratamientos se reducen a 21-200 (P-K).

Con la prueba de Tuckey, Cuadro 11, se efectuó la comparación de medias múltiples entre tratamientos. Los que presentan mayor rendimiento son;  $P_3-K_2$ ,  $P_1-K_1$ ,  $P_2-K_1$ ,  $P_2-K_2$ , y  $P_1-K_2$ .

**Muestra 2:** En el Cuadro 10, se observa que únicamente potasio tuvo un EFM significativo, por lo tanto el valor a considerar es de 200 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son --  $P_3-K_1$ ,  $P_1-K_1$ ,  $P_2-K_1$  y  $P_1-K_0$ .

**Muestra 3.** En el Cuadro 10, los efectos factoriales medios de fósforo y potasio y su interacción son no significativos. Por lo tanto, de acuerdo al método de análisis los cuatro tratamientos se reducen a 21-200 (P-K).

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son --  $P_3-K_2$ ,  $P_1-K_2$ ,  $P_1-K_1$ ,  $P_2-K_2$ ,  $P_2-K_1$  y  $P_1 K_0$ .

**Muestra 4.** De acuerdo al Cuadro 10, los efectos factoriales medios de fósforo y potasio y su interacción son no significativos. De tal manera, siguiendo el método de análisis los cuatro tratamientos se reducen a 21-200 (P-K).

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son -

$P_3-K_2$ ,  $P_2-K_2$  y  $P_2-K_1$ .

Muestra 5: En el Cuadro 10, se observa que únicamente fósforo tiene un EFM significativo. El valor de fósforo a considerar es de 21 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los valores de los cuatro tratamientos no presentan significancia.

Muestra 6: En el Cuadro 10, se observa que únicamente fósforo, tiene un EFM significativo; por lo tanto el valor de fósforo a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son  $P_3-K_2$ ,  $P_2-K_2$  y  $P_2-K_1$ .

Muestra 7: En el Cuadro 10, se observa que únicamente fósforo tiene un EFM significativo, de tal manera que el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son  $P_1-K_1$  y  $P_1-K_2$ .

Muestra 8: En el cuadro 10, únicamente fósforo presenta un EFM significativo, de tal manera que el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son  $P_3-K_2$ ,  $P_2-K_2$  y  $P_2-K_1$ .

Muestra 9: En el Cuadro 10, se observa que únicamente fósforo, tiene un EFM significativo, de tal manera que el valor a considerar es de 42 ppm.

Cuadro 10. Análisis de efectos factoriales medios de rendimiento de biomasa, para la serie de suelos Alotengango.

Muestra	EFM			
	EMS	K	P	PK
1	.45	.04 NS	.17 NS	.14 NS
2	.11	.15*	-.07 NS	.06 NS
3	.43	.17 NS	-.23 NS	.03 NS
4	.45	.11 NS	.31 NS	.1 NS
5	.18	.06 NS	.27*	-.03 NS
6	.16	.00 NS	.36*	.08 NS
7	.07	.02 NS	.52*	.003 NS
8	.25	.12 NS	.37*	.08 NS
9	.21	.09 NS	.61*	.1 NS
10	.2	.07 NS	.25*	.03 NS
11	.37	.11 NS	.31 NS	-.06 NS
12	.34	.04 NS	.44*	.09 NS
13	.14	.09 NS	.17*	-.18*
14	.12	.06 NS	.14*	.06 NS
15	.12	-.08 NS	-.22*	-.14*
16	.27	.01 NS	.11 NS	.14 NS
17	.21	.12 NS	.16 NS	.01 NS
18	.18	.12 NS	.24*	.04 NS
19	.2	.13 NS	.26*	.03 NS
20	.32	.12 NS	.36*	.01 NS

\* Significativo al 10% de probabilidad

NS No significativo

Cuadro 11. Rendimiento de biomasa de los diferentes niveles de fósforo y potasio en g/maceta y comparación de medias múltiples para la serie de suelos Alo-tenango.

Muestra	Rendimiento de biomasa en g/maceta para los diferentes niveles											W Tuckey
	PoKo	PoK <sub>1</sub>	PoK <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> Ko	P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> Ko	P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	
1		.65c		.9bc	1.02ab	1.12a		1.33a	1.15a		1.2a	.39
2	.9			2.48ab	2.57a		2.35b	2.57a		2.67a		.23
3		.8b		2.13a	1.93a	2.07a		1.67ab	1.87a		2.42a	.92
4		.9b		1.17b	1.15b	1.16b		1.36ab	1.57ab		2.23a	1.04
5	1.28a	1.93a		2.13a	2.17a							.44
6		.82		1.23d	1.5bcd	1.4cd		1.77abc	1.85ab		2.12a	.38
7	1.28b	1.26b	1.24b		1.79a	1.77a						.17
8		.84d		1.3cd	1.7bc	1.73b		1.98ab	2.19ab		2.36a	.53
9		.95c		1.62b	1.7b	1.9b		2.42a	2.41a		2.58a	.49
10	.93			1.71b	1.75		1.93b	2.04ab		2.35a		.41
11	.79c			1.68ab	1.5bc		1.93ab	1.88ab		2.37a		.79
12	.91			1.47c	1.6c		2ab	1.95b		2.19a		.21
13	1.01			1.82b	2.08ab		2.17ab	2.08ab		2.41a		.41
14	1.2			1.71a	1.67a		1.88a	1.79a		1.8a		.38
15	1.52			2.9a	2.69a		2.54a	2.6a		2.38a		.68
16	1.91a			2.15a	2.3a		2.4a	2.27a		2.38a		.59
17	1.29			2.23a	2.37a		2.41a	2.51a		2.33a		.52
18	1.47a	1.3a		1.67a	1.58a							.38
19	1.08			2.17b	2.27b		2.4ab	2.57a		2.75a		.47
20	1.16			1.95a	2.07a		2.3a	2.43a		2.34a		.67

Nota: Los tratamientos con letras iguales, no presentan diferencia significativa.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_3-K_2$ ,  $P_2-K_1$  y  $P_2-K_2$ .

Muestra 10: En el Cuadro 10, se observa que únicamente fósforo tiene EFM significativo, por lo tanto el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_3-K_1$  y  $P_2-K_1$ .

Muestra 11: En el Cuadro 10, los efectos factoriales medios de fósforo y potasio y su interacción, son no significativos. De tal manera, siguiendo el método de análisis, los cuatro tratamientos se redujeron a 21-0 (P-K).

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_3-K_1$ ,  $P_2-K_0$ ,  $P_2-K_1$  y  $P_1-K_0$ .

Muestra 12: En el Cuadro 10, únicamente se observa que fósforo tiene un EFM significativo, por lo tanto el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_3-K_1$  y  $P_2-K_0$ .

Muestra 13: En el Cuadro 10, únicamente fósforo, presenta un EFM significativo, por lo tanto el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_3-K_1$ ,  $P_2-K_0$ ,  $P_1-K_1$  y  $P_2-K_1$ .

Muestra 14: En el Cuadro 10, se observa que solamente fósforo tiene un EFM significativo, de tal manera que el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_2-K_0$ ,  $P_3-K_1$ ,  $P_2-K_1$ ,  $P_1-K_0$  y  $P_1-K_1$ .

Muestra 15: De acuerdo al Cuadro 10, se observa que el EFM - presenta significancia negativa para fósforo y - para la interacción P-K, por lo tanto el valor - de fósforo a considerar es de 21 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_1-K_0$ ,  $P_1-K_1$ ,  $P_2-K_1$ ,  $P_2-K_0$  y  $P_3-K_1$ .

Muestra 16: En el Cuadro 10, los efectos factoriales medios de fósforo y potasio y su interacción son no significativos. Por lo tanto, siguiendo el método de análisis, los cuatro tratamientos se redujeron a 21-0 (P-K).

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11, los valores de los seis tratamientos no presentan significancia.

Muestra 17: En el Cuadro 10, los efectos factoriales medios de fósforo y potasio y su interacción son no significativos. Por lo tanto, siguiendo el método de análisis, los cuatro tratamientos se reducen a 21-0 (P-K).

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_2-K_1$ ,  $P_2-K_0$ ,  $P_1-K_1$ ,  $P_3-K_1$  y  $P_1-K_0$ .

Muestra 18: En el Cuadro 10, únicamente se observa que el fósforo, tiene un EFM significativo, por lo tanto -

el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los valores de los cuatro tratamientos no presentan significancia.

Muestra 19: De acuerdo al Cuadro 10, se observa que solamente el fósforo tiene un EFM significativo, por lo tanto el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_3-K_1$ ,  $P_2-K_0$ ,  $P_1-K_1$  y  $P_2-K_1$ .

Muestra 20: En el Cuadro 10, se observa que únicamente fósforo tiene EFM significativo, por lo tanto el valor a considerar es de 42 ppm.

Los tratamientos se sometieron a la comparación de medias múltiples de Tuckey, según se presenta en el Cuadro 11. Los tratamientos que mayor rendimiento presentan son:  $P_2-K_1$ ,  $P_3-K_1$ ,  $P_2-K_0$ ,  $P_1-K_1$  y  $P_1-K_0$ .

Para obtener los valores de rendimiento relativo de fósforo y potasio, se sacaron los valores de producción adecuada, en base a los análisis de EFM. Los resultados se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Rendimiento relativo de biomasa por efecto de aplicación de fósforo y potasio en la serie de suelos Alotenango.

Muestra	Fósforo	Potasio
1	64	88
2	36	96
3	41	100
4	66	100
5	86	100
6	46	83
7	71	100
8	42	76
9	39	85
10	48	98
11	47	100
12	45	92
13	47	87
14	64	100
15	52	100
16	80	94
17	58	94
18	88	100
19	45	95
20	50	94

## F. Nivel Crítico.

## 1. Fósforo.

En el Cuadro 13, se observa el análisis de varianza, el cual indica que entre las tres soluciones extractoras hay diferencia al 1% de probabilidad; por lo tanto los valores del nivel crítico son diferentes para las tres soluciones evaluadas.

Cuadro 13. Análisis de varianza, del fósforo extraído con las metodologías de extracción y las muestras.

F. V.	G.L.	C.M.	Fc	Ft
Muestras	19	81	2.49*	1.9
Metodologías de extracción	2	553	17**	5.21
Error	38	32.52		
Total	59			

\* = Significancia al 5% de probabilidad

\*\* = Significancia al 1% de probabilidad

En la Figura 2, se presenta el valor del nivel crítico, determinado para las soluciones extractoras. Para la metodología Carolina del Norte, es de 12.4 ppm, para la metodología Olsen Modificado es de 15.4 ppm y para la metodología Morgan Modificado por Wolf es de 5.2 ppm.

## 2. Potasio.

En el Cuadro 14, se observa el análisis de varianza, el cual indica que entre las tres soluciones extractoras, hay diferencia al 1% de probabilidad; por lo tanto los valores del nivel crítico son diferentes para las tres soluciones evaluadas.

Cuadro 14. Análisis de varianza, del potasio extraído, con las metodologías de extracción y las muestras.

F.V.	G.L.	C.M.	Fc	Ft
Muestras	19	63947	13.98**	2.48
Metodologías de extracción	2	53429	11.68**	5.21
Error	38	4574		
Total	59			

\*\* = Significancia al 1% de probabilidad

En la Figura 3, se presenta el valor del nivel crítico, determinado para las soluciones extractoras. Para la metodología Carolina del Norte es de 90 ppm, para la metodología Olsen Modificado es de 130 ppm y para la metodología Morgan Modificado es de 130 ppm y para la metodología Morgan Modificado por Wolf es de 85 ppm.

Carolina del Norte

Olsen Modificado

Morgan Modificado por  
Wolf

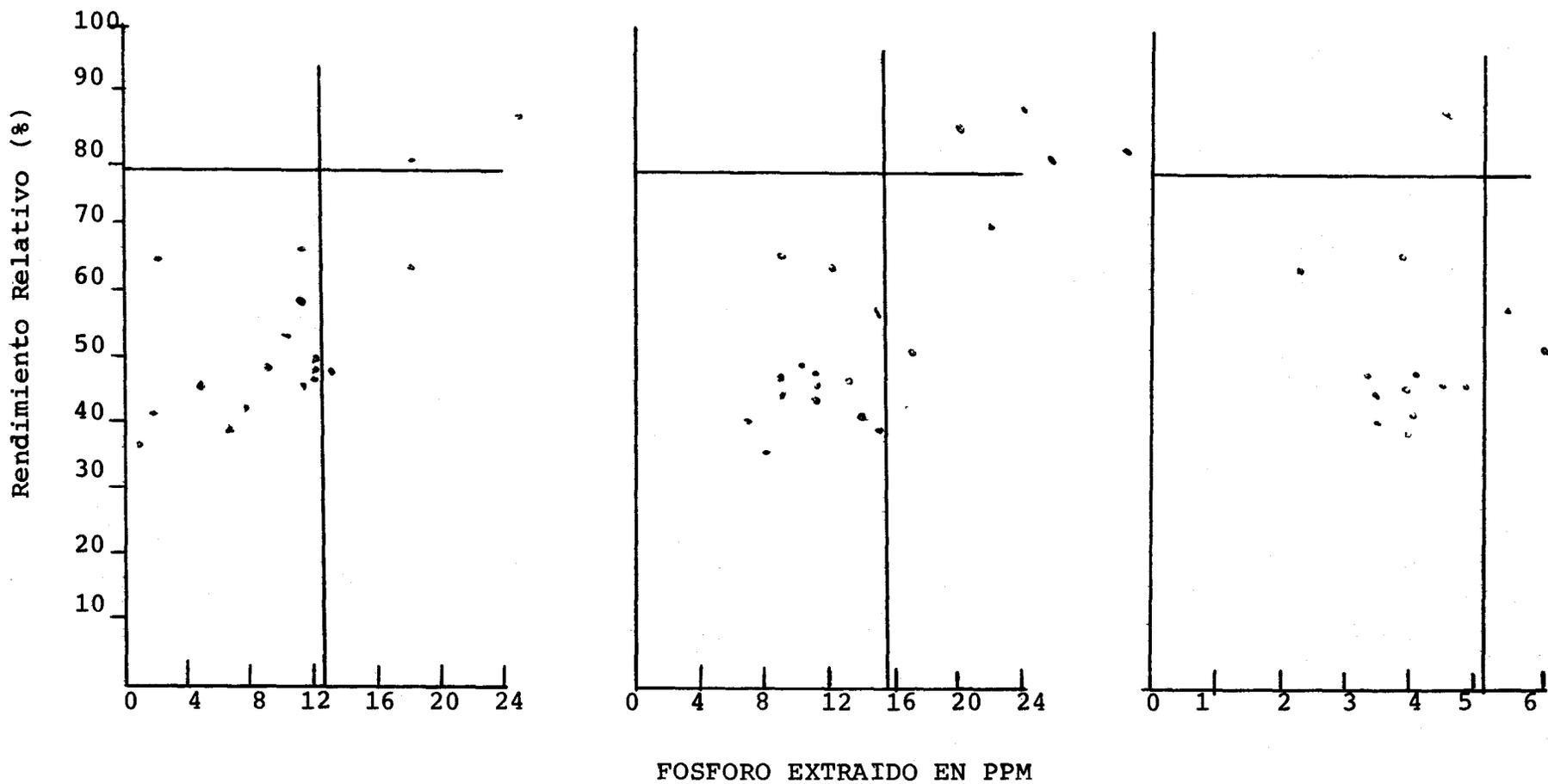


Figura 2. Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras, Carolina del Norte, Olsen Modificado y Morgan Modificado por Wolf, en la serie de suelos Alotenango.

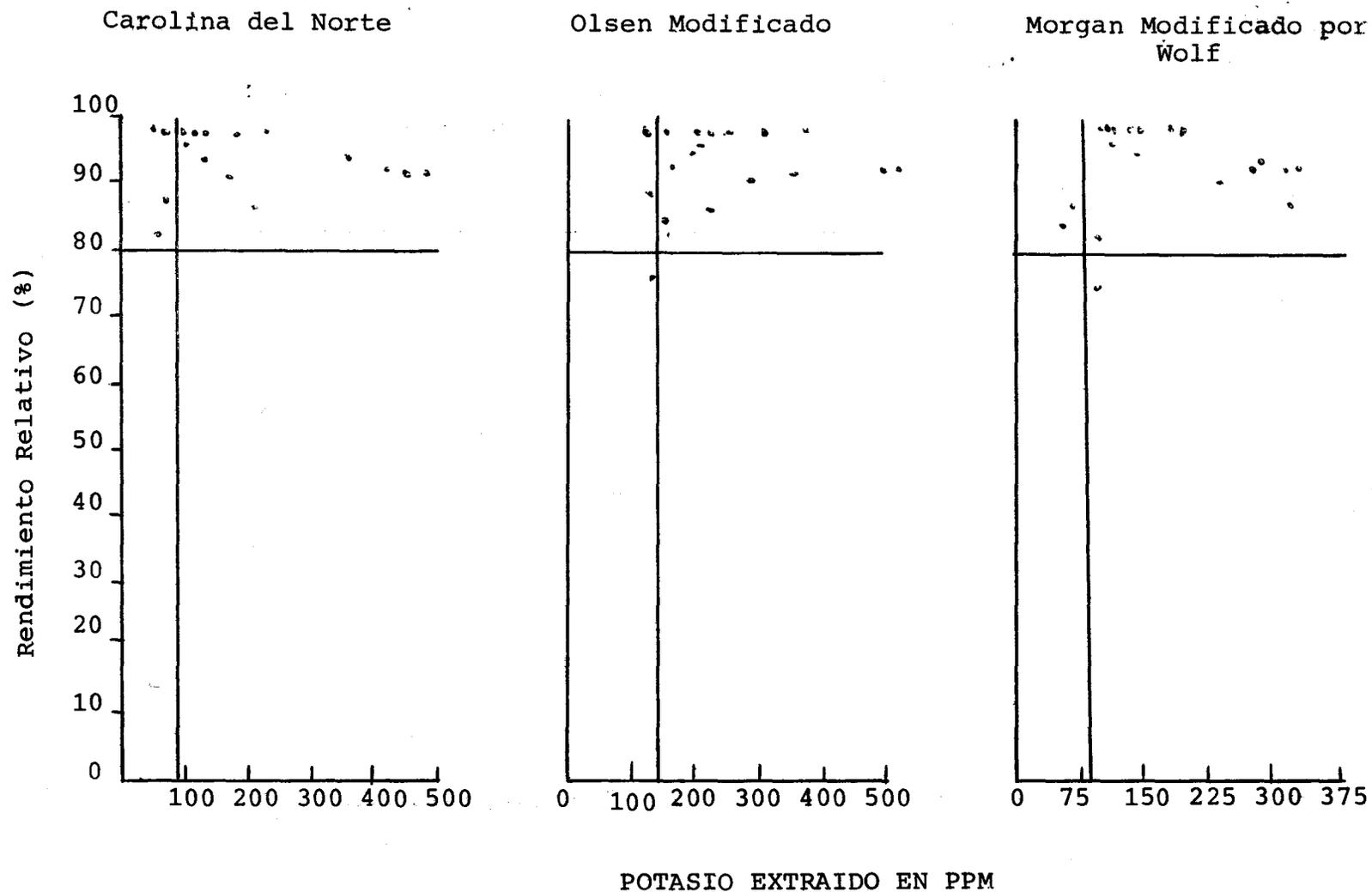


Figura 3. Nivel crítico de potasio con las soluciones extractoras Carolina del Norte Olsen Modificado y Morgan Modificado por Wolf, en la serie de suelos Alotenango.

## G. Correlaciones.

### 1. Fósforo.

En el Cuadro 15, se observa los resultados de la correlación entre el rendimiento relativo y el fósforo extraído, con las soluciones extractoras Carolina del Norte, Olsen Modificado y Morgan Modificado por Wolf.

La solución de Carolina del Norte presenta un coeficiente de correlación de 0.68, mayor que el de la solución - Olsen Modificado 0.59 y el de la solución Morgan Modificado por Wolf 0.57. En la prueba estadística, los tres coeficientes de correlación son altamente significativos.

Cuadro 15. Coeficientes de correlación entre el rendimiento relativo y el fósforo extraído con las metodologías de extracción, para la serie de suelos Alotenango.

Metodología de extracción	Coeficiente de correlación
Carolina del Norte	0.68**
Olsen Modificado	0.59**
Morgan Modificado por Wolf	0.57**

\*\* = Significancia al 1% de probabilidad.

### 2. Potasio.

En el Cuadro 16, se observa los resultados de la correlación entre el rendimiento relativo y el potasio extraído, con las soluciones extractoras Carolina del Norte, Olsen Modificado y Morgan Modificado por Wolf.

La solución extractora Carolina del Norte presenta un coeficiente de correlación de 0.7, mayor que el de la solución extractora Olsen Modificado 0.61 y el de la solución

extractora Morgan Modificada por Wolf 0.67. En la prueba estadística, los tres coeficientes de correlación son altamente significativos.

Cuadro 16. Coeficientes de correlación, entre el rendimiento relativo y el potasio extraído con las metodologías de extracción, para la serie de suelos A-lotenango.

Metodología de extracción	Coefficiente de correlación
Carolina del Norte	0.70**
Olsen Modificado	0.61**
Morgan Modificado por Wolf	0.67**

\*\* = Significancia al 1% de probabilidad.

En el Cuadro 17, se presenta los resultados de extracción para fósforo y potasio, con las tres metodologías evaluadas.

Cuadro 17. Extracción de fósforo y potasio en ppm con las soluciones extractoras, para la serie de suelos Alotenango.

Muestra	Método de extracción de fósforo			Método de extracción de potasio		
	Carolina del Norte	Olsen Modificada	Morgan Modificada por Wolf	Carolina del Norte	Olsen Modificada	Morgan Modificada por Wolf
1	2	12	4	71	125	76
2	1	8	8	133	176	141
3	2	6.88	3.6	75	145	131
4	11	9.1	4	51.7	118	100
5	28.5	19.8	8	232	353	182
6	12	10.8	4.2	57.8	153	94
7	24.5	21.6	6.9	92.6	205	134
8	8	13.8	4.2	55.2	135	94
9	7	15	4.2	62.6	143	69
10	9	9.1	4.2	105	198	112
11	12	13.3	4.6	130.2	233	136
12	11	9.1	3.6	167.5	288	236
13	13	10.9	5	215.1	235	318
14	18	40	2.4	120	195	111
15	10	17	6.2	555.2	763	411
16	18	26.8	7.4	420	560	315
17	11	14.6	5.6	470	605	278
18	36	24.5	4.6	180	288	191
19	5	11.4	3.6	352.7	158	285
20	12	10.3	6.9	490	580	316

## VII. CONCLUSIONES.

En base a lo discutido en el capítulo correspondiente y bajo las condiciones del presente estudio, se puede concluir lo siguiente:

1. Que el nivel crítico es diferente en fósforo, para las soluciones extractoras evaluadas. El nivel crítico en la solución Carolina del Norte es 12.4 ppm, en la solución Olsen Modificado es 15.4 ppm y en la solución Morgan Modificado por Wolf es 5.2 ppm. Para potasio el nivel crítico determinado es diferente, para las soluciones extractoras evaluadas. El nivel crítico en la solución Carolina del Norte es 90 ppm, en la solución Olsen Modificado es 140 ppm y en la solución Morgan Modificado por Wolf es 85 ppm.
2. La metodología de extracción Carolina del Norte presenta el coeficiente de correlación mayor, entre el rendimiento relativo y la extracción de fósforo y potasio. En el análisis estadístico, las tres metodologías presentan correlaciones altamente significativas en fósforo y potasio.

## VIII. RECOMENDACIONES.

De las conclusiones anteriores se recomienda lo si  
guiente:

1. Calibrar el valor del nivel crítico de fósforo y potasio establecido en el invernadero, en áreas de -- cultivo, orientado al uso racional de nutrientes, en la serie de suelos Alotenango.
  
2. Para análisis de suelo, se recomienda utilizar la - solución extractora Carolina del Norte, para extracción de fósforo y potasio, en la serie de suelos A- lotenango, por ser la que presente la mayor correlación, entre los elementos extraídos y el rendimien- to relativo.

## IX. BIBLIOGRAFIA.

1. ARCA BIELICK, M. Evaluación de las condiciones de fertilidad de los suelos volcánicos en zonas de Arequipa y Ayacucho en el Perú. In Panel sobre suelos volcánicos de América, 2o. Pasto. Colombia, IICA, 1,972. pp 365-401.
2. BROLO LUNA, J. Evaluación preliminar del contenido de fósforo y potasio disponibles en los suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1,973. 50 p.
3. CATE, R. B. y NELSON, L. A. Un método rápido para correlación de análisis de suelos con ensayos de fertilizantes. Carolina del Norte, Universidad, Estación Experimental Agrícola, 1,965. pp. 5-8.
4. CIFUENTES, F. R. Reajuste del nivel crítico de fósforo, potasio y determinación de niveles de fertilización para granos básicos, en el sur oriente del país, 1,975-1,983. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Disciplina de Manejo de Suelos, 1,984. s.p. (mimeografiado).
5. COCHRAN, N. G. y COX, G. M. Diseño experimentales. México, Trillas, 1,965. pp. 188-191.
6. CHAPMAN, M. D. y PRATT, P. F. Métodos de análisis de suelos, plantas y aguas. México, Trillas, 1,976. 195 p.
7. DIAZ-ROMEU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1,978. 68 p.
8. DOMINGUEZ, M. E. Correlación de metodologías de extracción de fósforo disponible en suelos agrícolas, como información básica para planes de fertilización. Tesis Lic. Química, Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, - 1,986. 56 p.
9. ESTRADA LIGORRIA, L. Fósforo y potasio. In Curso de fertilidad y fertilización. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Disciplina de Manejo de Suelos, 1,983. pp. 45-64.

10. \_\_\_\_\_. La disponibilidad de potasio en seis suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1,973. 47 p.
11. \_\_\_\_\_. Reajuste del nivel crítico de fósforo y potasio para el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) bajo condiciones de invernadero. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Disciplina de Manejo de Suelos, 1,986. 9 p.
12. FORSYTHE, W. Física de Suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1,975. 212 p.
13. GONZALEZ, J. A. Evaluación de la fijación y disponibilidad del fósforo en 14 series de suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1,970. 31 p.
14. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Registros climáticos. Guatemala, s. f. 296 p.
15. GUERRERO, R., BURBANO, J. y CARRERA, T. Estado y fijación del fósforo en suelos volcánicos del sur de Colombia. In Panel sobre suelos volcánicos de América, 2o. Pasto. Colombia, IICA, 1,972. pp. 59-83.
16. HERRERA, I. R. Levantamiento semidetallado de suelos de la cuenca del Río Achiguate (Fase I). Tesis -- Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1,984. 199 p.
17. HURTARTE, M. M. Determinación del nivel crítico de fósforo, en la serie de suelos Chicaj, la Fragua, Za capa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad del Valle, 1,984. 42 p.
18. LITTLE, T. M. y HILLS, F. J. Métodos estadísticos para la investigación en la Agricultura. México, Trillas, 1,976. 270 p.
19. MOSCOSO DIAZ, M. R. Comportamiento del fósforo extraído por Carolina del Norte y Olsen Modificado en tres series de suelos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1,984. 88 p.

20. PALENCIA, J. A. Correlación para análisis de fósforo y potasio; informe anual 1,973. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Programa de Nutrición Vegetal, 1,974. pp. 5-14.
21. RODRIGUEZ, M. y LEON, L. A. Fertilización del maíz en suelos negros derivados de cenizas volcánicas de la penillanura central de Antioquia, Colombia. In Panel sobre suelos volcánicos de América, 2o. Pasto, Colombia, IICA, 1,972. pp. 351-365.
22. SAIS DEL RIO, J. F. y BORNEMIZAS, S. Análisis químico de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1,975. 132 p.
23. SIMMONS, C. S., TARANO, J. M. y PINTO, J. H. Clasificación de reconocimiento de suelos de la República de Guatemala. Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda Ibarra, 1,959. 1000 p.
24. STEEL, R. y TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York, Mc Graw Hill, 1,960. 481 p.
25. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, Montaner y Simon 1,970. 760 p.
26. WAUGH, D. L. y FITTS, J. W. Estudios de interpretación de análisis de suelos, laboratorio y maceta. Carolina del Norte, Universidad, Raleigh, Boletín Técnico 3. 1,966. 26 p.
27. WOLF, B. An improved universal extracting solution and its use for diagnosing soil fertility. Soil Sci. Plant. Anal. 12:1005-1033. 1,982.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apertado Postal No. 1846

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia.....
Asunto.....
.....

"IMPRIMASE"

A handwritten signature in black ink is written over a circular official stamp. The stamp contains the text "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" around the perimeter and "FACULTAD DE AGRONOMIA" and "DECANO" in the center.

ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.  
D E C A N O