

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC

DEPOSITO LEGAL

PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

**EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE FIJACION DE FOSFORO A TRAVES
DE LA ISOTERMA DE LANGMUIR DE TRES SUELOS DE GUATEMALA**

TESIS

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

POR

FREDY HAROLDO MILIAN

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,984

D.L.

01

T(762)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

RECTOR

Dr. EDUARDO MEYER MALDONADO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

<i>DECANO.</i>	<i>Ing. Agr. CESAR CASTAÑEDA</i>
<i>VOCAL 1o.</i>	<i>Ing. Agr. OSCAR LEIVA</i>
<i>VOCAL 2o.</i>	<i>Ing. Agr. GUSTAVO MENDEZ</i>
<i>VOCAL 3o.</i>	<i>Ing. Agr. ROLANDO LARA</i>
<i>VOCAL 4o.</i>	<i>Prof. HEBER ARANA</i>
<i>VOCAL 5o.</i>	<i>Prof. LEONEL GOMEZ</i>
<i>SECRETARIO</i>	<i>Ing. Agr. RODOLFO ALBIZUREZ</i>

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

<i>DECANO</i>	<i>Ing. Agr. CESAR CASTAÑEDA</i>
<i>EXAMINADOR</i>	<i>Ing. Agr. JORGE ESCOBAR</i>
<i>EXAMINADOR</i>	<i>Ing. Agr. ANIBAL MARTINEZ</i>
<i>EXAMINADOR</i>	<i>Ing. Agr. EDIL RODRIGUEZ</i>
<i>SECRETARIO</i>	<i>Ing. Agr. RODOLFO ALBIZUREZ</i>



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apertado Postal No. 1548

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto
.....

Guatemala, Octubre de 1984.

*Ingeniero Agrónomo
César Castañeda Salguero
Decano de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
su despacho*

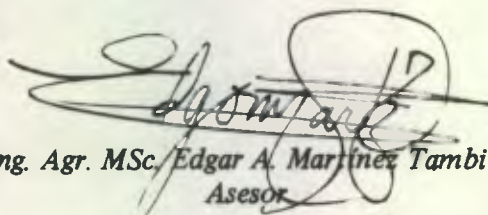
Señor Decano:

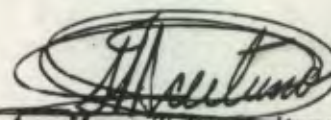
Por este medio tenemos el agrado de informarle que hemos concluido el asesoramiento y la revisión del documento final del trabajo de tesis "Evaluación de la capacidad de fijación de fósforo a través de la Isoterma de Langmuir de tres suelos de Guatemala" del estudiante Fredy Haroldo Milián.

Consideramos que dicho trabajo constituye un valioso aporte metodológico para el conocimiento de la ciencia del suelo.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Agr. MSc. Edgar A. Martínez Tambito
Asesor


Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno.
Asesor.

Guatemala, Octubre de 1984

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

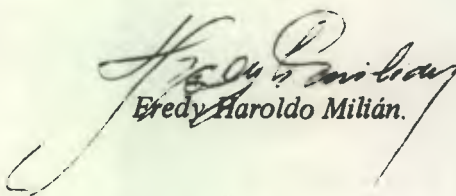
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR.

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

"Evaluación de la capacidad de fijación de fósforo a través de la isoterma de Langmuir de tres suelos de Guatemala."

Como requisito a optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Deferentemente,



Eredy Haroldo Milán.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MI MADRE

A MIS HERMANOS

SUSANA MILIAN

ELVIA LUZ

FEDERICO OSWALDO

MARIO RENE

NYLS ANTONY

A MIS SOBRINOS

A MIS TIOS

CELIA DE FORTUNY

GUSTAVO MILIAN

A MIS PRIMOS

A

EILEEN CAMACHO

AL LICENCIADO

RODRIGO FORTUNY

AL SEÑOR

ENRIQUE LOPEZ

AL INVESTIGADOR

ERNESTO CARRILLO

A LAS FAMILIAS

SANDOVAL MARTINEZ

NUFIO RIZZO

ORTIZ

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

NORMA DE DE LEON

PATRICIA MURALLES

ARTURO REYES

MAURICIO NOGUERA

EDGAR PRERA

CARLOS OTONIEL PELAEZ

ROEL CALDERON

CARLOS LEHR

ROLANDO OROSCO

ARTURO SOTO

LUIS OLIVARES

CARLOS SANABRIA

VICENTE MARTINEZ

CARLOS ABEL NORIEGA

FRANCISCO VASQUEZ

ROLANDO GUZMAN

ELDIN JUAREZ

EDWIN PORTILLO

A MIS AMIGOS EN GENERAL.

TESIS QUE DEDICO

- A. *MI PATRIA GUATEMALA*
- A. *LA VERAPAZ DEL SUR*
- A. *LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA*
- A. *LA FACULTAD DE AGRONOMIA*
- A. *LAS PERSONAS Y/O INSTITUCIONES DEDICADAS
A LA INVESTIGACION AGRICOLA.*

AGRADECIMIENTOS

- A. *Mis asesores Ing. Agr. MSc. Edgar A. Martínez Tambito, e Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno por su valiosa asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.*
- A. *Ingeniero Químico Oscar Humberto Jiménez García, jefe del laboratorio de suelos y Nutrición Mineral de la Asociación Nacional del Café, por su colaboración prestada para la realización del presente investigación.*
- Al *Personal Técnico del Laboratorio de Suelos y Nutrición Mineral de la Asociación Nacional del Café, Técnicos Rolando Cruz, Mirna de Zamora, Byron Arriola por su colaboración en el uso y manejo de equipo.*
- Al *Ing. Agr. MSc. Luis A. Estrada Ligorria e Ingeniero Químico Mario Erick Braeuner por su colaboración en los análisis foliares de la presente tesis.*
- Al *Personal del Centro de Documentación e Información Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Licda. Olga Ramírez, Licda. Patricia Muralles, Miriam de la Roca, Hilda Figueroa, Ana Silvia Monsón y al señor Ismael Arias. Por proporcionar toda la información necesaria para la presente investigación.*
- Al *Prof. Roberto Vallecillos Catedrático del Centro de Aprendizaje de Lenguas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por su revisión en traducciones de documentos de Inglés-Español.*
- Al *Fotógrafo Filadelfo Vásquez por su colaboración en la toma de slides para la presentación del seminario de tesis II.*
- A *Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de la presente investigación.*

POR MEDIO DE LA PRESENTE, QUIERO MANIFESTAR MI AGRADECIMIENTO AL LABORATORIO DE SUELOS Y NUTRICION MINERAL DE LA ASOCIACION NACIONAL DEL CAFE POR SU INVALORABLE AYUDA, A LA REALIZACION DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

TABLA DE CONTENIDO

	<i>Página</i>
<i>Lista de Cuadros.</i>	<i>xi</i>
<i>Lista de Figuras.</i>	<i>xii</i>
<i>Resumen.</i>	<i>xiii</i>
<i>Summary</i>	<i>xiv</i>
1. Introducción.	1
2. Objetivos.	2
3. Hipótesis.	3
4. Revisión de Literatura.	4
4.1. Fósforo en el suelo.	4
4.1.1 Fosforo Inorgánico.	4
4.1.2 Fósforo Orgánico.	4
4.2. Absorción de fósforo por las plantas.	4
4.3. Funciones del fósforo en las plantas.	5
4.4. Procesos de fijación del fósforo en el suelo.	5
4.5. Isoterma de Langmuir.	6
5. Materiales y Metodos.	8
5.1. Descripción de los suelos.	8
5.1.1. Suelos serie Cristina (Tropaquepts).	8
5.1.2. Suelos serie Guatemala (Haplustalfs).	8
5.1.3. Suelos serie Cutzan (Dystrandeps)	8
5.2. Análisis de laboratorio.	9
5.2.1. Muestreo de suelos.	9
5.2.2. Determinación de elementos.	9
5.2.3. Determinación de la adsorción máxima de fósforo a través de la isoterma de Langmuir.	12
5.2.3.1. Procedimiento.	12
5.3. Estudio de invernadero.	12
5.3.1. Planta indicadora.	12

	<i>Página</i>
5.3.2. <i>Manejo del ensayo.</i>	12
5.3.2.1. <i>Macetas.</i>	12
5.3.2.2. <i>Siembra.</i>	13
5.3.2.3. <i>Fertilización.</i>	13
5.3.2.4. <i>Riego.</i>	13
5.3.2.5. <i>Cuidados Fitosanitarios.</i>	13
5.3.2.6. <i>Cosecha.</i>	13
5.3.3.7. <i>Análisis Foliares.</i>	14
5.4. <i>Tratamientos.</i>	14
5.4.1. <i>Diseño de tratamientos.</i>	14
5.5. <i>Técnicas experimentales.</i>	14
5.5.1. <i>Diseño experimental.</i>	14
5.5.2. <i>Modelo estadístico.</i>	15
5.6. <i>Variables a medir.</i>	15
5.7. <i>Análisis Estadístico.</i>	15
6. <i>Resultados y Discusión.</i>	16
6.2. <i>Capacidad de fijación de fósforo de los suelos estudiados.</i>	16
6.3. <i>Relación entre rendimiento de biomasa y niveles de saturación de la máxima adsorción de fósforo.</i>	19
6.3.1. <i>Peso seco y verde.</i>	19
6.4. <i>Contenido de fósforo en el suelo y foliar</i>	24
6.5. <i>Altura de planta.</i>	26
7. <i>Conclusiones y Recomendaciones.</i>	28
8. <i>Bibliografía.</i>	29
9. <i>Apéndice.</i>	32

LISTA DE CUADROS

<i>En el Texto.</i>	<i>Página</i>
<i>Cuadro 1. Determinación química de P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn, y Zn.</i>	<i>10</i>
<i>Cuadro 2. Determinación de propiedades físicas y químicas de los suelos bajo estudio.</i>	<i>11</i>
<i>Cuadro 3. Factores y Modalidades.</i>	<i>14</i>
<i>Cuadro 4. Capacidad máxima de adsorción de fósforo, constante de energía y coeficiente de correlación de los suelos bajo estudio.</i>	<i>17</i>
<i>Cuadro 5. Fc. y niveles de significancia para la altura de planta a los 15 y 25 días después de la siembra (DDS), peso seco y verde, extracción de fósforo en el suelo y foliar.</i>	<i>20</i>
<i>Cuadro 6. Rendimiento de peso seco y verde promedio de cuatro repeticiones obtenido a determinado nivel de saturación de la máxima adsorción de fósforo.</i>	<i>21</i>
 <i>En el Apéndice.</i>	
<i>Cuadro 1A. Características físico-químicas de los suelos utilizados.</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro 2A. Rendimiento de biomasa de cuatro repeticiones según el nivel de saturación de la adsorción máxima de fósforo en tres series de suelos de Guatemala.</i>	<i>33</i>

LISTA DE FIGURAS.

<i>En el Texto.</i>	<i>Página</i>
<i>Figura 1. Isoterma de Langmuir de adsorción de fósforos de tres series de suelos de Guatemala.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2. Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el rendimiento de biomasa en peso seco.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el rendimiento de biomasa en peso verde.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4. Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el fósforo extraído por las plantas de sorgo.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5. Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el contenido de fósforo en el suelo.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6. Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el contenido de fósforo foliar.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 7. Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y la altura de la planta de sorgo a los 25 días después de la siembra.</i>	<i>27</i>

RESUMEN

La presente investigación se realizó bajo condiciones del invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los objetivos fueron determinar la capacidad máxima de adsorción de fósforo a través de la isoterma de Langmuir de las series de suelos Cutzan, Cristina y Guatemala, y correlacionar la respuesta de la planta con la saturación de la adsorción máxima de fósforo de dichos suelos.

*Los tratamientos consistieron en saturar cada serie de suelo 1/4, 1/2, 1 y 1 1/2 la adsorción máxima de fósforo y un tratamiento testigo sin aplicación de fósforo. Para tales fines se utilizó como planta indicadora el sorgo (*Sorghum vulgare Pers.*) en el cual se midió el rendimiento de biomasa y altura de planta. Además se determinó el fósforo en el suelo y foliar, y la extracción de fósforo por la planta.*

Los resultados obtenidos indican que el suelo Serie Cutzan presentó mayor capacidad de fijación de fósforo que las series Cristina y Guatemala. Así mismo el máximo rendimiento de biomasa en peso seco en los suelos Cutzan y Cristina se obtuvo cuando se saturó 1 1/2 la adsorción máxima, mientras que en el suelo Guatemala fue suficiente saturar el 50 o/o de la adsorción máxima para obtener altos rendimientos de biomasa.

El fósforo en el suelo y foliar y la extracción de fósforo por las plantas aumentaron conforme se aumentó la cantidad de fósforo aplicado al suelo.

SUMMARY

The present research was done under greenhouse conditions at the Facultad de Agronomía of the Universidad de San Carlos de Guatemala.

*The objectives of the study were: a) to determine the maximum phosphorus adsorption of the soil series Cutzan, Cristina, and Guatemala, using Langmuir isotherm; and b) to relate the plant response to the maximum phosphorus adsorption saturation of the soil. Each soil series was saturated at 1/4, 1/2, 1, and 1 1/2 times of the maximum phosphorus adsorption and a treatment without phosphorus application was used as reference. *Sorghum vulgare Pers.* was used as a plant indicator. Biomass yield, and plant height were measured. Additionally phosphorus in the soil, foliar phosphorus, and phosphorus taken by the plant were determined.*

The results show that the Cutzan series has a higher maximum phosphorus adsorption than the Cristina and Guatemala series. The maximum yield, expressed as dry weight, in the Cutzan and Cristina series were obtained when the soil were saturated at 1 1/2 times of their maximum phosphorus adsorption. Adequate yields were obtained when the soil of the Guatemala series was saturated at 50 o/o of its maximum phosphorus adsorption.

The phosphorus in the soil, foliar phosphorus, and phosphorus taken by the plant increased as the phosphorus applied to the soil increased.

1. INTRODUCCION

Guatemala es un país situado en la América Tropical, la cual se caracteriza por tener suelos con bajos niveles de fósforo; este nutrimento es uno de los elementos básicos en la nutrición de las plantas pero debido a los procesos de adsorción y de las reacciones químicas que sufre con los coloides del suelo, su disponibilidad disminuye.

La fijación del fósforo y como consecuencia su baja disponibilidad para las plantas, es uno de los problemas de mayor importancia para la producción agrícola de Guatemala y en el resto de países de América Tropical.

La presente investigación estableció la relación entre la adsorción máxima de fósforo y la respuesta de la planta a través de métodos de laboratorio y técnicas de invernadero.

El estudio se realizó con tres series de suelos diferentes considerados como fijadores de fósforo, utilizándose la isoterma de Langmuir para determinar la adsorción máxima de fósforo.

2. OBJETIVOS

- 2.1. *Determinar la adsorción máxima de fósforo mediante la isoterma de Langmuir de tres suelos de Guatemala.*
- 2.2. *Correlacionar la respuesta de la planta con diferentes niveles de saturación de la adsorción máxima de fósforo bajo condiciones de invernadero.*

3. HIPOTESIS

- 3.1. *Los tres suelos bajo estudio presentan la misma capacidad de adsorción de fósforo.*
- 3.2. *La respuesta de la planta a los diferentes niveles de saturación de la capacidad máxima de adsorción de fósforo es igual para los suelos bajo estudio.*

4. REVISION DE LITERATURA

4.1. FOSFORO EN EL SUELO.

4.1.1. FOSFORO INORGANICO.

De acuerdo con Fassbender (7) la fuente original del fósforo inógeno en los suelos, es producto de la desintegración y descomposición de los materiales que contienen apatita $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2$, la cual es un constituyente de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (3)

Tisdale y Nelson (21), indican que el fósforo se encuentra en el suelo como fluorapatita finalmente dividida en hidroxiapatita, o clorapatita, como hierro o fosfato de aluminio o bien en combinaciones de arcilla (21).

4.1.2. FOSFORO ORGANICO

Buckman y Brady (1), establecen que una gran proporción del fósforo del suelo es aportado en combinaciones orgánicas, las cuales son atacadas por los microorganismos y estos compuestos orgánicos de fósforo se mineralizan. El fósforo que ha sido identificado se encuentra en tres formas principales como: ácidos nucleicos y fosfatos de inositol (21).

La naturaleza y las reacciones del fósforo orgánico del suelo aún no son muy conocidas como aquellas del fósforo inorgánico presente en el mismo.

4.2 ABSORCION DEL FOSFORO POR LAS PLANTAS

Actualmente está plenamente demostrado y aceptado que el fósforo es absorbido por las plantas, principalmente como ion monofosfato (H_2PO_4^-), y difosfato ($\text{HPO}_4^{=}$); por otro lado se ha sugerido también que este elemento puede ser absorbido en forma de ácidos nucleicos y fitina pero dichos compuestos son sólo de importancia académica y científica y no de importancia práctica, ya que existen en el suelo en

muy pequeñas cantidades y son mineralizadas fácilmente en la absorción del fósforo por la planta.

En la absorción del fósforo por la planta hay que tener en cuenta algunos factores tales como: metabolismo de la planta, temperatura, capacidad inherente, tamaño de la raíz, pH y los efectos antagónicos e interacciones que se presentan con otros iones (14).

4.3. FUNCIONES DEL FOSFORO EN LAS PLANTAS

Las funciones del fósforo en las plantas superiores ha sido ampliamente estudiadas. Se sabe que este elemento es componente de todas las enzimas involucradas en el transporte de energía como el ATP, DPN, TPN, que se encuentran presentes en los azúcares fosfatados, nucleotidos, ácidos nucleicos (ADN, ARN), nucleoproteínas y ácidos fítics (14).

Entre las principales funciones del fósforo están las que participan en la fotosíntesis, respiración, foforilación, síntesis y descomposición de carbohidratos, proteínas y grasas (14).

4.4. PROCESOS DE FIJACION DEL FOSFORO EN EL SUELO.

La fijación del fósforo fue definida en el panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina (9), como el efecto de la interacción del ión fosfato y otros componentes del suelo produciendo su adsorción en el complejo coloidal o su precipitación en fosfatos menos solubles.

Aparentemente los suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas presentan un mayor contenido de fósforo que los desarrollados de sedimentos meteorizados y redepositados en áreas tropicales bajas (7).

Fassbender (7), enfatiza que el fósforo es relativamente estable en los suelos, dicha estabilidad resulta de una baja solubilidad que a veces causa deficiencia de disponibilidad de fósforo para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo, pudiéndose corregir esto a través de prácticas de fertilización; pero los fosfatos aplicados al suelo son objeto de reacciones rápidas de fijación.

puestos orgánicos del suelo, pudiéndose corregir esto a través de prácticas de fertilización; pero los fosfatos aplicados al suelo son objeto de reacciones rápidas de fijación. Así mismo Buckman y Brady (1), indican que una gran parte del fósforo presente en los suelos, generalmente no es aprovechado por la planta debido a su rápida fijación. El fósforo es uno de los nutrimentos más limitantes en la mayoría de los suelos ácidos tropicales.

La alta capacidad de fijación en suelos tropicales en forma no inmediata disponible para las plantas presenta varias implicaciones agronómicas (18)

Aunque no es posible identificar con exactitud las áreas de suelos altamente fijadores de fósforo, aproximadamente el 82 o/o del área total de los trópicos Americanos es deficiente en fósforo en su estado nativo; su deficiencia está ligada a la elevada capacidad de fijación (18).

Russell y Russell (17), indican que existen solamente dos mecanismos por los cuales el suelo retiene fósforo en el campo, sin descartar la posibilidad de un tercer proceso, en el cual el fósforo sea retenido en los bordes de las partículas de arcillas por intermedio de los puentes de hidrógeno entre los oxidrilos de los bordes rotos y los oxígenos enlazados covalentemente de tetraedros H_2PO_4 . Los iones de calcio que retienen fósforo en suelo suelen ser los de la solución, formando fosfatos de calcio sobre la superficie de las partículas de arcilla, o los iones de calcio anclados sobre las superficies de los cristales de calcio sin embargo, los iones de hierro y aluminio que pueden retener fosfatos suelen presentarse en películas de oxígeno hidratados o como aniones cambiables en el caso del aluminio (17).

4.5. ISOTERMAS DE LANGMUIR.

La isoterma de Langmuir, muy usada y recientemente muy discutida se derivó de una representación simplificada de la teoría de gases (2, 13).

Sposito citado por Bornemisza (2) derivó una forma de la ecuación recurriendo a la mecánica estadística. Este autor y otros investigadores estiman que esta ecuación

es de gran aplicabilidad en la química de suelos aunque en ciertos casos parece ser necesario emplearla ya que su versión original fue derivada para sistemas más sencillos que los suelos.

Bornemisza (2), indica que la ecuación original tiene la desventaja de no considerar a las partículas que podrían desplazarse en el proceso de adsorción como en caso iónico.

Olsen y Watanabe, así como Rennie y Mckercher citados por Fassbender (8), proponen el uso de la isoterma de Langmuir para determinar la capacidad de adsorción máxima.

Matemáticamente dicha isoterma se describe como:

$$\frac{C}{X/m} = \frac{1}{K \cdot b} + \frac{C}{b}$$

de donde:

C = Es la concentración de fósforo en la solución en equilibrio.

b = Es la capacidad de adsorción máxima de fósforo.

K = Es la constante de energía de la retención de fósforo.

X/m = Es la cantidad de fósforo adsorbido por unidad de peso de suelo.

$1/b$ = Es la inclinación de la recta o isoterma.

5. MATERIALES Y METODOS.

5.1. DESCRIPCION DE LOS SUELOS.

Los suelos estudiados pertenecen a diferentes regiones de Guatemala los suelos serie Cristina pertenecen a la región Nor-Oriental, los suelos serie Guatemala a la región Central, y los suelos serie Cutzán a la Sur.

5.1.1. SUELOS SERIE CRISTINA. (*Tropaquepts* ^{1/})

Suelos desarrollados en regiones cálidas y húmedas sobre material aluvial lavados de arena de roca serpentina, ocupan superficies de casi planas a muy suavemente inclinadas en la parte Este del valle del río Motagua, generalmente inclinados, localizados alrededor de 60 m.s.n.m. (20)

5.1.2. SUELOS SERIE GUATEMALA. (*Haplustalfs* ^{1/})

Suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas debidamente cementadas, ocupadas relieves casi planos a altitudes medianas en la parte central de Guatemala, típicamente se desarrollaron sobre depósitos planos pomez que parecen haberse concentrado en un semi-lago, al drenarse el agua de estas áreas de apariencia de lagos, el material sedimentario produjo un relieve ondulado en ciertas partes de la planicie, se encuentran de 1,200 a 1,800 m.s.n.m. (20).

5.1.3. SUELOS SERIE CUTZAN. (*Dystrandepts* ^{1/})

De acuerdo al reconocimiento de suelos de Guatemala, citados por Flores Auceda (10), son suelos profundos, bien drenados y su textura media, están ubicados sobre material geológico correspondiente a aluviones cuaternarios que se han formado por producto de erosión de las tierras volcánicas y áreas depositadas por el río Nahualate; cuentan con un relieve ligeramente ondulado y pendiente muy ligera de 0-2 o/o, son suelos desarrollados sobre

^{1/} Comunicación personal del Ing. Agr. Hugo Tobías. Facultad de Agronomía, USAC.

cenizas volcánicas, y se encuentran a una altitud promedio de 279 m.s.n.m.

5.2. ANALISIS DE LABORATORIO.

5.2.1. MUESTREO DE SUELOS.

Se realizó a una profundidad de 0-20 cms. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas a 2 mm. para su posterior análisis.

5.2.2. DETERMINACION DE ELEMENTOS.

Para la determinación de los elementos del suelo: P, K, Ca, Mg, Fe Mn, Cu, Zn, se utilizó la solución extractora de Carolina del Norte (0.05 N de HCl y 0.025 N de H_2SO_4), en una relación suelo: Solución extractora de 1:5, agitándose durante 5 minutos y filtrándose con papel filtro Whatman No. 2, procedimiento descrito por Díaz-Romeu R. y Hunter A. (6).

En los Cuadros 1 y 2 se resumen los métodos de laboratorio para la caracterización físico-químico de los suelos estudiados.

CUADRO 1. DETERMINACION QUIMICA DE P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, y Zn.

ELEMENTO	RELACION SUELO: SOLUCION EXTRACTORA	SOLUCION EXTRACTORA	DETERMINACION	REFERENCIA
P	1:5	Carolina del Norte	Colorímetro Coleman modelo 295	Cruz, R(4) Díaz-Romeu, R. y Hunter, A. (6).
K	1:5	Carolina del Norte	Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Perkin-Elmer 3054	Cruz, R. (4) Díaz-Romeu, R. y HUNTER, A. (6)
Ca.	1:5	Carolina del Norte	" "	Cruz, R. (4) Díaz-Romeu R. y Hunter, A. (6)
Mg.	1:5	Carolina del Norte	" "	Cruz, R. (4) Díaz-Romeu, R y Hunter, A. (6)
Elementos menores (Fe, Mn, Cu, Zn)	1:5	Carolina del Norte	" "	Cruz, R. (4) Díaz-Romeu, R y Hunter, A. (6)

Cuadro 2. *Determinación de propiedades físicas y Químicas de los suelos bajo estudio.*

<i>ANALISIS</i>	<i>METODO</i>	<i>REFERENCIA</i>
<i>Materia Orgánica</i>	<i>Walkley y Black modificado por Walkley.</i>	<i>Cruz, R. (4).</i>
<i>Textura. (granulometría)</i>	<i>Hidrómetro de Boyoucos.</i>	<i>Cruz, R. (4).</i>
<i>pH</i>	<i>Potenciométrico Rel. suelo-agua 1:2.5 (potenciómetro Colman modelo 39).</i>	<i>Díaz-Romeu, R. y Hunter, A. (6).</i>
<i>C.I.C.</i>	<i>Solución normal de NH_4OAc. por cen- trifugación.</i>	<i>Díaz-Romeu, R. y Balerdi, F. (5).</i>
<i>Acidez Extraíble.</i>	<i>Solución Extractora de Cloruro de Potasio (KCl) 1 N.</i>	<i>Díaz-Romeu, R. y Hunter, A. (6).</i>

5.2.3 DETERMINACION DE LA ADSORCION MAXIMA DE FOSFORO A TRAVES DE LA ISOTERMA DE LANGMUIR.

5.2.3.1. PROCEDIMIENTO.

Se tomaron muestras de 2.5 g. de suelo tamizado a 2 mm. las cuales se mezclaron con 25 ml. de una solución de KH_2PO_4 de concentraciones variables de fósforo que van entre 0.0 y 100 ppm.; posteriormente las soluciones de suelo se colocaron en tubos plásticos los cuales se agitaron durante 48 hrs. continuas en una agitadora horizontal Thomas.

Posteriormente se centrifugaron a 5000 rpm durante 60 minutos.

Se tomaron 2 ml. del sobrenadante y se determinó el fósforo colorimétricamente utilizando ácido ascórbico como reductor. Con los datos obtenidos de fósforo en el sobrenadante, se realizaron las isothermas de adsorción de fósforo.

5.3. ESTUDIO DE INVERNADERO.

5.3.1. PLANTA INDICADORA.

Como planta indicadora se uso *Sorghum vulgare Pers.* Por su habilidad para crecer normalmente bajo las condiciones de luz y temperatura que generalmente predominan en invernadero, además por ser una planta sensible al fósforo y de fácil manejo en el invernadero.

5.3.2. MANEJO DEL ENSAYO.

5.3.2.1. MACETAS.

Se utilizaron macetas plásticas de un litro de capacidad a cada maceta se le perforaron tres agujeros en la base para facilitar el drenaje y se colocaron sobre un pequeño recipiente plástico para evitar pérdi-

das por lavado.

5.3.2.2. SIEMBRA.

Se sembraron 10 semillas por maceta a los 12 días de sembrado se realizó un raleo para dejar un número de 6 plantas por maceta, uniformemente distribuidas.

5.3.2.3. FERTILIZACION.

Se aplicaron soluciones nutritivas al momento de la germinación; las fuentes de nutrimentos fueron: NH_4NO_3 , KCl , el fósforo se aplicó de acuerdo a los tratamientos diseñados en forma de H_3PO_4 . Además se aplicaron elementos menores en solución de $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ZnCl_2 , $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

5.3.2.4. RIEGO

El riego se efectuó por gravedad aplicando agua destilada en la superficie del suelo, manteniéndolo húmedo.

5.3.2.5. CUIDADOS FITOSANITARIOS.

El control de plagas y enfermedades se efectuó mediante el manejo adecuado del ensayo respecto al control de malezas se efectuó mecánicamente.

5.3.2.6. COSECHA.

La cosecha se efectuó después de seis semanas de sembrado el cultivo. La biomasa aérea cosechada fue lavada con agua destilada, secada en horno de aire caliente durante un tiempo de 48 horas y a una temperatura de 70°C

Se tomó el peso seco de la muestra, y se procedió a molerlas en

un molino Wiley acero inoxidable malla 40. Este material se utilizó para los análisis de fósforo foliar.

5.3.3.7. ANALISIS FOLIAR.

La biomasa cosechada fue molida posteriormente se determinó el fósforo foliar por combustión seca (6); con el objetivo de cuantificar la extracción de fósforo del suelo por la planta.

5.4. TRATAMIENTOS.

5.4.1. DISEÑO DE TRATAMIENTOS.

En cada uno de los suelos estudiados se aplicó fósforo a determinados niveles de la adsorción máxima de fósforo, como se ilustra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Factores y Modalidades.

FACTOR	MODALIDADES				
	0	1	2	3	4
Serie de Suelos (A)	Cristina		Cutzán		Guatemala
Saturación de la adsorción máxima de fósforo. (B)	0	1/4	1/2	1	1 1/2

5.5. TECNICAS EXPERIMENTALES.

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial 3X5, cuatro repeticiones, quince tratamientos y un total de 60 unidades experimentales.

5.5.2. MODELO ESTADISTICO

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \beta_k + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} Variable respuesta

μ media general.

α_i efecto del i esima modalidad del factor A

β_j efecto de j esima modalidad del factor B

$\alpha\beta_{ij}$ efecto de la interacción del factor A con el factor B

β_k efecto del K esimo bloque

ϵ_{ijk} error experimental.

5.6. VARIABLES MEDIDAS.

Las variables medidas fueron: Altura de planta a los quince y veinte y cinco días después de sembrado el **Sorgum vulgare Pers.**, rendimiento de biomasa (peso seco y fresco), fósforo en el suelo y foliar.

5.7. ANALISIS ESTADISTICO.

Se realizaron análisis de varianza para las variables medidas; así mismo, se determinaron los mejores tratamientos por medio de pruebas comparativas de TUKEY.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS UTILIZADOS.

La caracterización físico-química de los suelos estudiados se ilustra en el Cuadro 1 A. La interpretación se basó en los niveles críticos para cada nutrimento, estableciéndose dos categorías: adecuado y deficiente, arriba y debajo del nivel crítico respectivamente. En relación al fósforo los tres suelos se consideraron deficientes de acuerdo al nivel crítico, determinado por el programa de nutrición mineral del ICTA, establecido en 7 ppm extraído con solución de Carolina del Norte.

6.2. CAPACIDAD DE FIJACION DE FOSFORO DE LOS SUELOS ESTUDIADOS.

La relación entre la cantidad de fósforo añadido al suelo y la concentración de fósforo en equilibrio en la solución del suelo, es un indicador general de la cantidad de fertilizante fosfatado que debe agregarse para alcanzar un nivel deseado de fósforo en la solución del suelo.

Estas relaciones que se obtienen en el laboratorio, añadiendo diferentes cantidades de fósforo al suelo, agitándolo por determinado tiempo y determinada cantidad que permanece en la solución se conoce como isoterma de adsorción de fósforo (19)

De acuerdo con las isotermas de Langmuir la máxima adsorción de fosfatos siguió el siguiente orden: Suelo serie Cutzán > Suelo serie Cristina > Suelo serie Guatemala. Con valores de máxima adsorción de 1010, 676 y 658 ppm respectivamente (Cuadro 4). La máxima adsorción de fósforo de un suelo ocurre cuando todos los sitios de adsorción están satisfechos por moléculas de fósforo.

La constante de energía (K) la cual relaciona la fuerza de enlace del fósforo con la superficie del adsorbente (3) es diferente para los tres suelos, y es mayor a medida que aumente la capacidad máxima de adsorción de fósforo. (Cuadro 4).

Las isotermas evalúan simultáneamente el grado de fijación y liberación de fósforo; es decir, los factores de capacidad e intensidad (19); desde este punto de vista, el

suelo Cutzan posee la máxima capacidad para retener fosfatos (Capacidad) y liberarlos (factor intensidad) en determinado momento dependiendo de una serie de factores.

El coeficiente de correlación para los suelos Cutzan, Cristina y Guatemala fueron 0.89, 0.99, 0.98, respectivamente, lo que nos indica un alto grado de relación entre las variables por lo tanto se ajustaron al modelo lineal de la isoterma de Langmuir (Fig. 1).

Fox y Benavides (11) indican que la máxima adsorción de fósforo es útil para predecir los requerimientos de fósforo para los suelos, aunque Fassbender (8), dice que si bien la isoterma de Langmuir permite comparativamente describir la capacidad de retención de fósforo de diferentes suelos, no permite una descripción total y exacta del fenómeno por la interferencia de otras reacciones. El mismo autor enuncia que la capacidad máxima de adsorción es una función exponencial del tiempo de reacción discutiéndose la posibilidad de interferencia de reacciones de precipitación en los resultados, concluyendo que los conocimientos actuales no son suficientes para la separación matemática de las diferentes reacciones que participan en ello (8).

Cuadro 4 Capacidad máxima de adsorción de fósforo, constante de energía y coeficiente de correlación de los suelos bajo estudio.

Serie de suelos	$Y = \frac{c_p - \text{equilibrio}}{\text{mgPads/g.suelo}}$	Coeficiente de correlación (r)	Capacidad máxima de adsorción mgPads/gsuelo	Constante de energía de adsorción (K)
	$X = c_p - \text{equilibrio}$			
GUATEMALA	$Y = 20.71 + 1.52X$	0.98	0.658	0.07
CRISTINA	$Y = 6.58 + 1.48X$	0.99	0.676	0.22
CUTZAN	$Y = 2.94 + 0.99X$	0.89	1.010	0.34

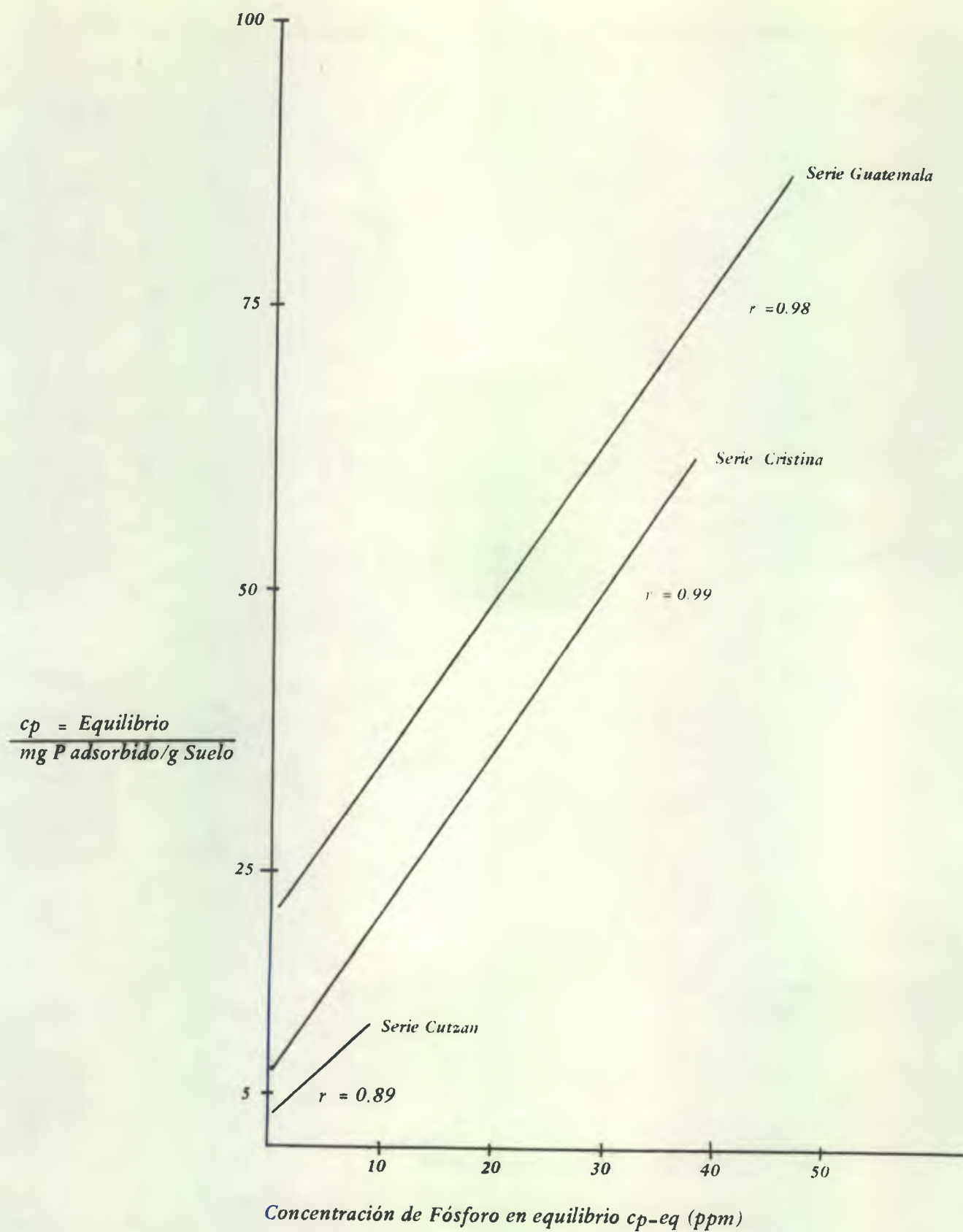


Fig. 1 Isotherma de Langmuir de adsorción de fosfatos de tres series de suelos de Guatemala

6.3 RELACION ENTRE RENDIMIENTO DE BIOMASA Y NIVELES DE SATURACION DE LA MAXIMA ADSORCION DE FOSFORO.

6.3.1. PESO SECO Y VERDE.

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 5) no se encontró significancia debido al efecto de los factores estudiados para las variables peso seco y verde, pero si hubo significancia para la interacción AXB en ambas variables. El mayor peso seco se obtuvo en el suelo Cristina cuando se saturó 1 1/2 la adsorción máxima, equivalente a 1014 ppm de fósforo aplicado, obteniéndose 12 g/maceta, le siguió el suelo Cutzan al mismo nivel de saturación, equivalente a 1515 ppm de fósforo con valor de 11.90 g/maceta y por último el suelo Guatemala con valor de 11.80 g/maceta cuando se saturó la máxima adsorción equivalente a 658 ppm de fósforo (Cuadro 6), el peso verde siguió un comportamiento similar al del peso seco (Cuadro 6 y Fig. 2 y 3).

Woodruff y kamprath citados por Fox y Benavides (11) encontraron que suelos con adsorción máxima alta requieren al rededor de 25 o/o de saturación de la adsorción máxima para obtener un rendimiento máximo.

Los suelos Cristina y Cutzan presentaron incrementos de peso seco conforme se aumentó la saturación de la máxima adsorción de fósforo (Fig. 2), este comportamiento correlacionó también con la cantidad de fósforo extraído por la planta de sorgo es decir, que a mayor cantidad de fósforo aplicado, la absorción fue mayor y por lo tanto existió una mayor disponibilidad de fósforo para la planta como lo demuestra la gráfica de extracción (Fig. 4).

En el suelo Guatemala, cuando se saturó 1 1/2 de la máxima adsorción de fósforo el peso seco tendió a disminuir a pesar que la extracción de fósforo siempre tendió a aumentar (Fig. 2 y 4).

Cuadro 5. *F calculada y niveles de significancia para altura de planta a los 15 y 25 días después de la siembra (DDS) peso seco y verde, extracción de fósforo, fósforo en el suelo y foliar.*

<i>Fuente de Variación</i>	<i>G.L.</i>	<i>Altura 15 DDS</i>	<i>Altura 25 DDS</i>	<i>Peso Seco</i>	<i>Peso Verde</i>	<i>Extracción de fósforo</i>	<i>Fósforo en el suelo</i>	<i>Fosforo foliar</i>
<i>Bloque</i>	3	1.79	6.65	1.20	0.32	0.08	2.28	1.9134
<i>Tratamiento</i>	14	4.19 n.s.	39.91 n.s.	81.86 n.s.	108.80 n.s.	50.81 n.s.	185.95 n.s.	9.5738 n.s.
<i>Factor A</i>	2	15.75 n.s.	47.77 n.s.	77.61 n.s.	74.53 n.s.	34.42 n.s.	309.51 n.s.	4.7389 *
<i>Factor B</i>	4	5.58 **	89.94 n.s.	211.32 n.s.	287.88 n.s.	151.72 n.s.	413.79 n.s.	29.9262 **
<i>A X B</i>	8	0.61 n.s.	12.93 **	18.19 **	27.82 **	4.45 **	41.14 **	0.6063 n.s.
<i>Error</i>	42							
<i>Total</i>	59							
<i>C. V. (o/o)</i>		14.63	5.25	9.62	7.78	11.24	11.45	22.64

* = Significativo al 5 o/o

** = Significativo al 1 o/o

n.s. = No significativo.

Woodruff y Kramprath (22), quienes trabajaron con *Penenisetum glaucum* en cinco suelos diferentes, obtuvieron los mayores rendimientos de biomasa cuando saturaron 1 y 1 1/2 de la máxima adsorción de fósforo.

Cuadro 6. Rendimiento máximo de peso seco y verde promedio de cuatro repeticiones obtenido a determinado nivel de saturación de la máxima adsorción de fósforo.

<i>Serie de suelo</i>	<i>Nivel de saturación de la máxima adsorción de fósforo.</i>	<i>Fósforo aplicado. (ppm)</i>	<i>peso seco g/maceta</i>	<i>peso verde g/maceta</i>
CRISTINA	1 1/2	1014	12.00	62.30
CUTZAN	1 1/2	1515	11.90	63.70
GUATEMALA	1	658	11.80	60.10

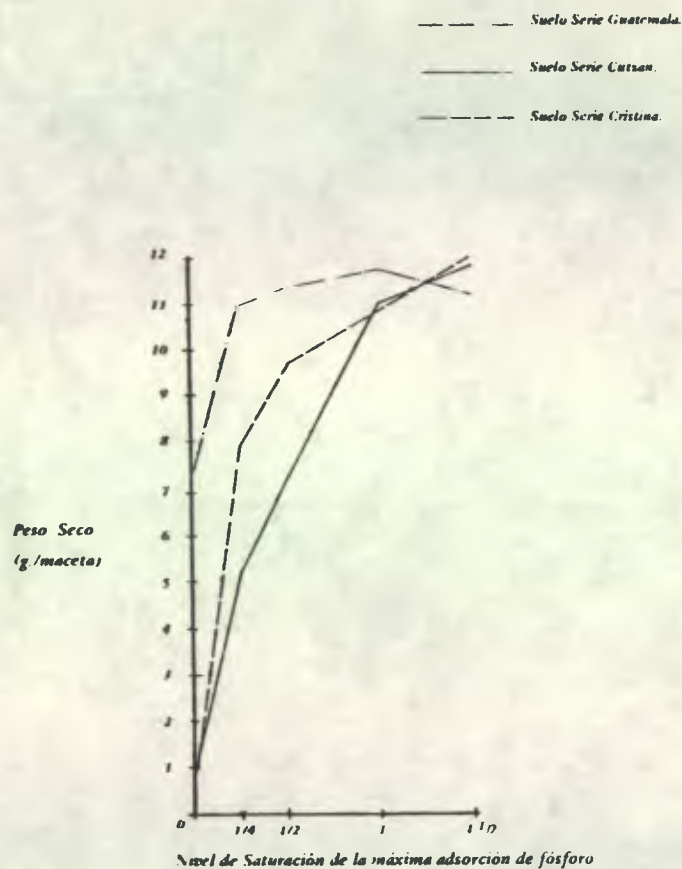


Fig. 2 Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el rendimiento de biomasa en peso seco

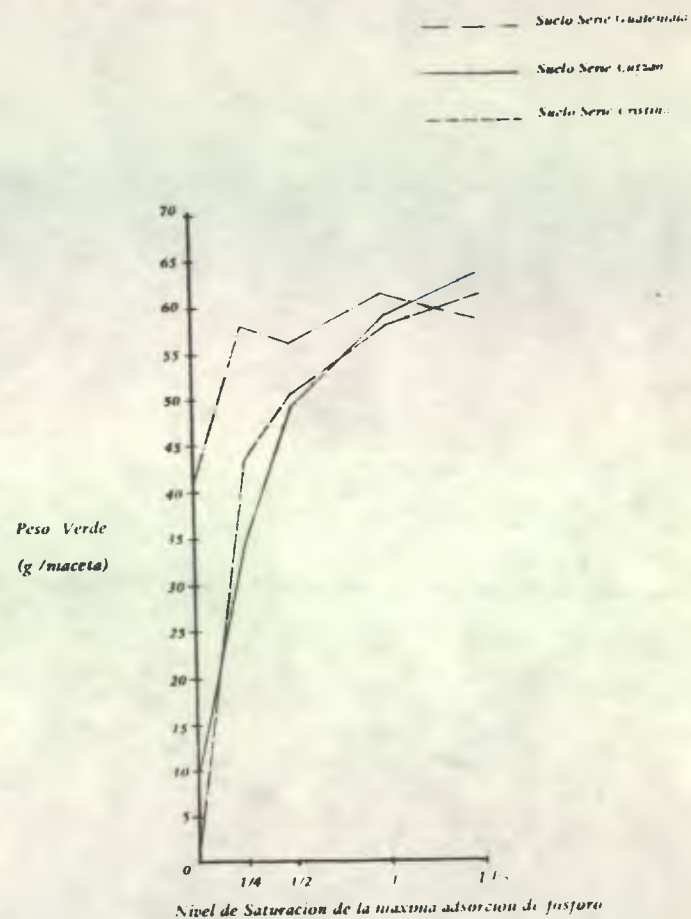


Fig. 3 Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el rendimiento de biomasa en peso verde

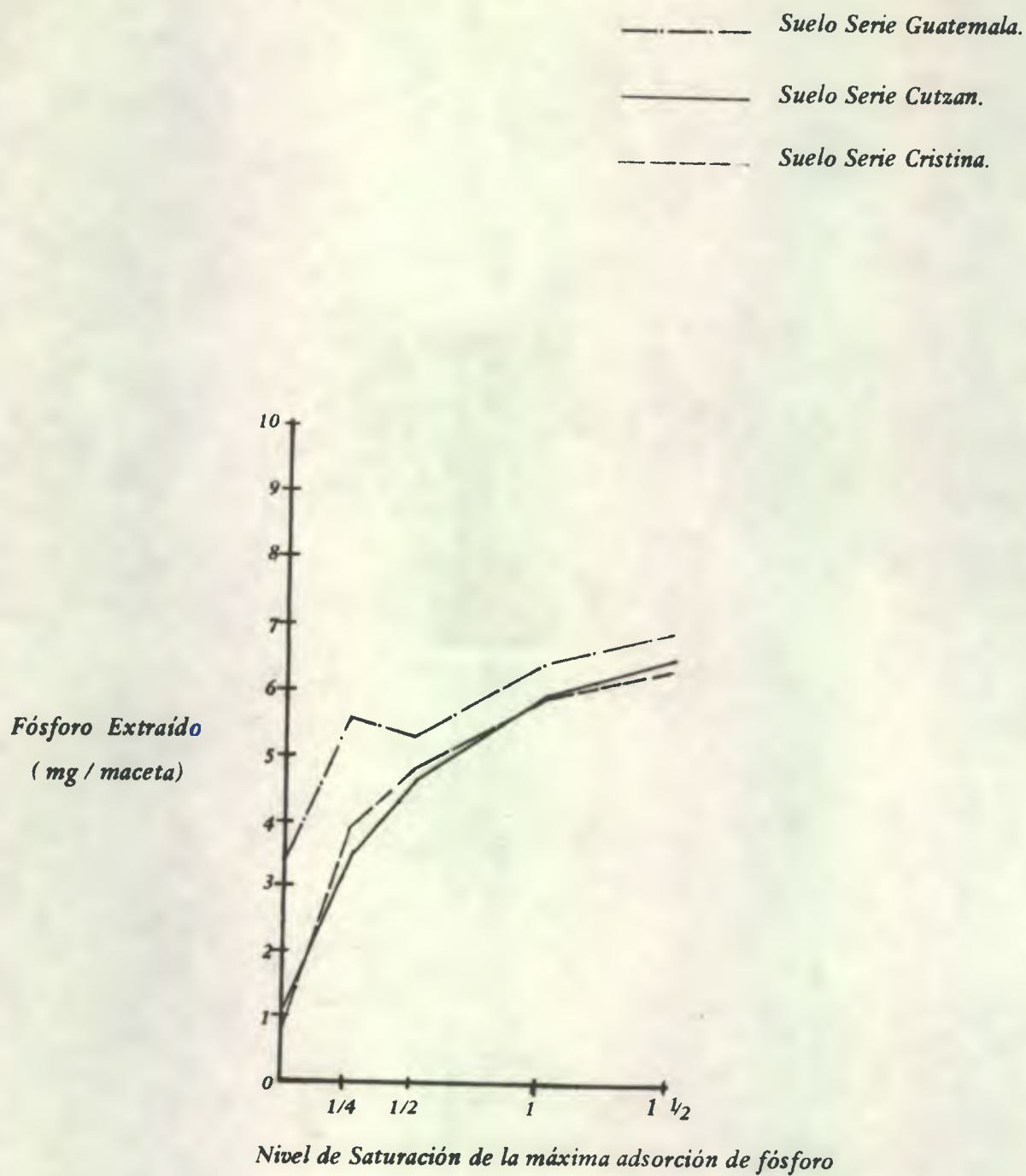


Fig. 4 Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el fósforo extraído por las plantas de sorgo.

6.4. CONTENIDO DE FOSFORO EN EL SUELO Y FOLIAR.

El contenido de fósforo en el suelo aumentó conforme se incrementó la cantidad de fósforo aplicado en los tres suelos estudiados (Fig. 5) extrayendo más fósforo en el suelo Cristina. La cantidad de fósforo extraído del suelo Cutzán fue menor en relación a los otros suelos estudiados debido a su capacidad de fijación de fósforo es decir que todo el fósforo que se aplicó, una parte fue absorbido por la planta y otra fue fijada por los coloides de la fase sólida del suelo.

El comportamiento del fósforo foliar fue similar al fósforo del suelo es decir, que conforme se saturó la máxima adsorción de fósforo el contenido de fósforo en la planta se incrementó (Fig. 6). Estas tendencias se observaron también para la extracción de fósforo por la planta (Fig. 4) y rendimiento en peso seco (Fig. 2); los cambios en la pendiente de las Fig. 4, 5, y 6, indican que cuando se alcanza cierta saturación de la máxima adsorción, también la disponibilidad de fósforo fijado aumenta significativamente. Woodruff y Kamprath (22) encontraron resultados similares indicando que a determinada saturación de la máxima adsorción la concentración de fósforo en la solución del suelo aumenta proporcionando de esta manera suficiente fósforo para el crecimiento de la planta.

Galiano (12) indica que la concentración de fósforo foliar permanece constante a partir de cierto punto en el cual la planta posee suficiente cantidad para sus funciones vitales, así mismo Muñoz (15) trabajando con soluciones nutritivas determinó que el contenido de fósforo en la parte aérea de la planta aumenta conforme se incrementa la concentración de dicho nutrimento en el sustrato.

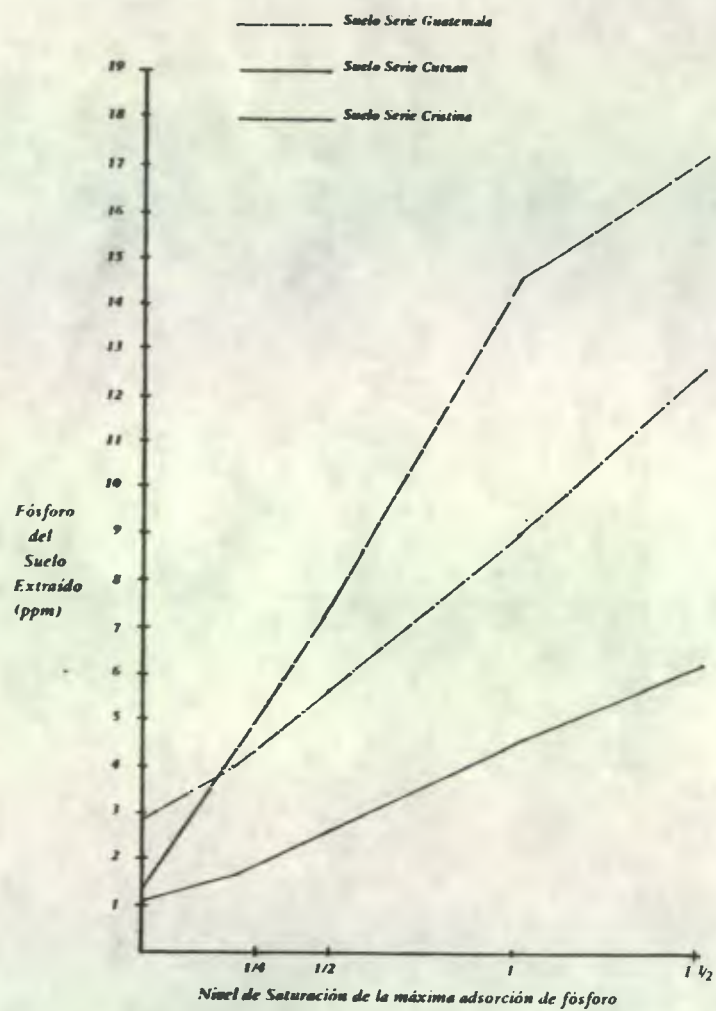


Fig. 5 Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el contenido de fósforo en el suelo.

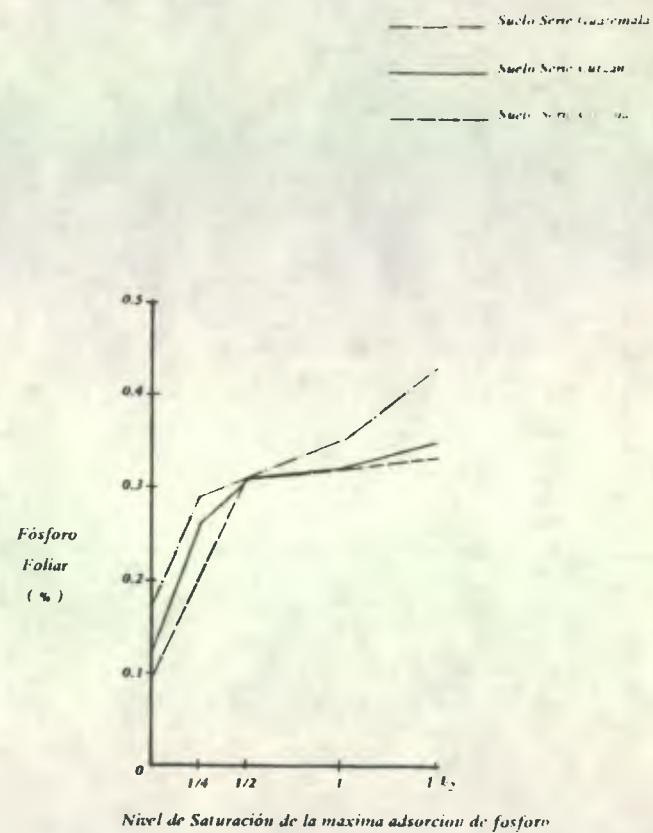


Fig. 6 Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y el contenido de fósforo foliar

6.5. ALTURA DE PLANTA.

De acuerdo con el análisis estadístico a los 15 días después de la siembra (DDS), se manifestaron diferencias altamente significativas únicamente debido al efecto del factor B; sin embargo 25 DDS se encontraron diferencias significativas al 10/o para la interacción de los factores AXB. Los suelos Cutzán y Cristina obtuvieron su máxima altura promedio al saturar el suelo a 1 1/2 de la capacidad máxima de adsorción de fósforo con valores de 50.20 y 49.80 cm. respectivamente, mientras que el suelo Guatemala saturado a su capacidad máxima de adsorción alcanzó su mayor altura promedio con un valor de 49.80 cm. como se puede apreciar en la Fig. 7. Así mismo el tratamiento testigo del suelo Guatemala (0 ppm de fósforo) presentó una altura promedio mayor a los tratamientos testigos y 1/4 de la capacidad máxima de adsorción de fósforo de los suelos Cristina y Cutzan. Las diferencias significativas al 10/o en la interacción de los factores AXB se manifestaron en un período de los 15 a 25 DDS. Según Lotero (14) las plantas con un sistema radical bien desarrollado pueden explorar un volumen mayor de suelo del cual toman sus elementos necesarios para su normal crecimiento, así también se ha encontrado que algunas plantas tienen una concentración óptima de fósforo en la solución del suelo asociado con el crecimiento máximo de ellas (19).

La máxima altura promedio de los suelos bajo estudio guardó una estrecha relación con el rendimiento óptimo de peso seco ya que los mejores rendimientos se obtuvieron en el suelo Cutzan y Cristina a 1 1/2 de la capacidad máxima de adsorción de fósforo, y para el suelo Guatemala se obtuvieron los óptimos rendimientos de Biomasa en peso seco a su máxima capacidad de adsorción de fósforo, como se aprecia en la Fig. 2.

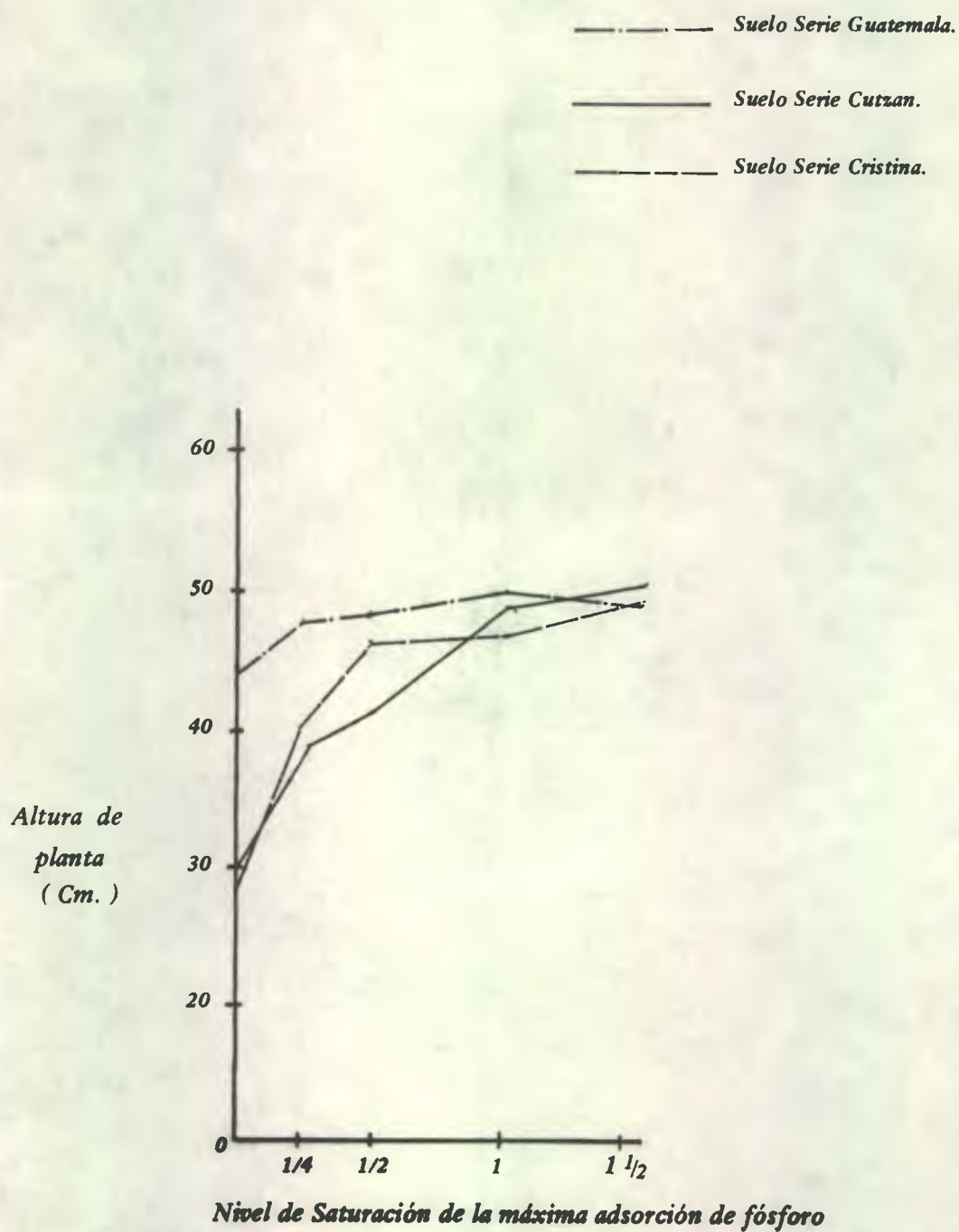


Fig. 7 Relación entre la saturación de la máxima adsorción de fósforo y la altura de la planta de sorgo a los 25 días después de sembrado.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Bajo condiciones de invernadero en las que se realizó el ensayo se concluyó que:

- a) Debido a la capacidad diferencial de fijación de fósforo de los suelos, no en todos se requiere saturar la adsorción máxima para obtener máximos rendimientos de biomasa en peso seco.*
- b) Cuando se incrementa la cantidad de fósforo aplicado al suelo, aumenta el contenido de fósforo foliar y la extracción de fósforo por la planta.*
- c) La disponibilidad de fósforo en el suelo aumenta conforme se incrementa la cantidad de fósforo aplicado en suelos fijadores de fosfatos.*
- d) La respuesta de la planta correlacionó positivamente con la saturación de la adsorción máxima de fósforo.*

Se recomienda revisar los conceptos modernos sobre el uso de la isoterma de Langmuir en la fijación de fosfatos y ampliar su uso en suelos ácidos y calcareos.

8. BIBLIOGRAFIA.

1. BUCKMAN, H. Y BRADY, N. **Naturaleza y propiedad de los suelos.** Barcelona, España, Montaner y Simon, 1977. pp. 146-151.
2. BORNEMISZA, E. **Introducción a la química de suelos.** OEA. Serie de Química, Monografía no. 25. 1982. pp. 42-83.
3. CAJUSTE, L. J. **Química de suelos con enfoque agrícola.** Chapingo, México, Colegio de Post-Graduados, 1977. pp. 213-217.
4. CRUZ, R. **Análisis químico de suelos.** Guatemala, ANACAFE, Departamento de suelos y fertilización, 1982. p. irr.
5. DIAZ-ROMEY, R. y BALERDI, F. **Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo.** Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. pp. 1-3.
6. ———— Y HUNTER, A. **Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos, tejido vegetal e investigaciones de invernadero.** Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza. Serie Materiales de Enseñanza no. 12. 1982. pp. 1-62
7. FASSBENDER, H. W. **Química de suelos; con énfasis en suelos de América Tropical.** San José, Costa Rica, IICA, 1980. pp. 301-302.
8. ————. **La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir.** Turrialba, Costa Rica, s.d.e. pp. 203-216.
9. ————. **Deficiencias y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas.** In *Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina.* Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. pp. B.4.1.
10. FLORES, A. C. **Estudio agrológico a nivel detallado de la finca Bulbuxyá San Miguel Panán Suchitepéquez.** Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1981. pp. 51-55.

11. FOX, R. L. Y BENAVIDES, S. T. **El fósforo de los oxisoles.** In *Tercer Coloquio sobre Suelos. Bogotá, 26 al 31 de ago. 1973. Suelos Ecuatoriales el fósforo en zonas tropicales. Medellin Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1974. v.6, no.1: 145-153.*
12. GALIANO, S. F. **Estimación del fósforo asimilable en el suelo por análisis de tejidos vegetales.** In *Tercer Coloquio sobre Suelos. Bogotá, 26 al 31 de ago. 1973 Suelos Ecuatoriales; el fósforo en zonas tropicales. Medellin Colombia, Sociedad Colombiana de la ciencia del Suelo, 1974 v.6, no.1: 329-344.*
13. KAWAI, K. **The relationship of phosphorus to amorphous aluminum for characterizing andosols.** *Soil Science 129(3):186-190. 1980.*
14. LOTERO, C. J. **Absorción del fósforo y su función en la planta.** In *Tercer Coloquio sobre Suelos, 26 al 31 de ago. 1973. Suelos Ecuatoriales; el fósforo en zonas tropicales. Medellin Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1974. v.6, no.1: 67-96.*
15. MUÑOZ, A. L. **Análisis foliar del fósforo en dos estados fenológicos del maíz (Zea mays L.) con fines de fertilización.** *Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1984. p. 37.*
16. REYES, C. P. **Diseño de experimentos aplicados.** *México, Trillas, 1980. pp. 70-130.*
17. RUSSELL, J. E. y RUSSELL, W. E. **Las condiciones del suelo y el crecimiento de plantas.** 9a. ed. *Madrid, España, 1968. pp. 560-561.*
18. SALINAS, J. G. **Tolerancia diferencial de las plantas a la acidez y bajo contenido de fósforo aprovechable en suelos ácidos.** *Colombia, Sociedad de la Ciencia del Suelo, 1980. pp. 1-20.*
19. SANCHEZ, P. A. **Suelos del trópico; características y manejo.** *San José, Costa Rica, IICA, 1981. pp. 259-281.*

20. SIMMONS, Ch., TARANO, J. M. y PINTO, J. H. **Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala.** Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra, 1959. pp. 695-883.
21. TISDALE, S. L. y NELSON, E. L. **Fertilidad de los suelos y fertilizantes.** Madrid, España, Montaner y Simon, 1977. pp. 84, 216, 302.
22. WOODRUFF, J. R. y KAMPRATH, E. J. **Phosphorus adsorption maximum by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability.** *Soil Science Society of América Proceedings* 29:148-150. 1965.

10 Bo
Patuall

9. APENDICE

Cuadro 1 A. Características físicas y químicas de los suelos estudiados.

Serie de Suelo.	Granulometría			Textura	Densidad aparente g/cc
	Arena o/o	Limo o/o	Arcilla o/o		
CRISTINA	45.56	19.28	35.16	Franco Arcilloso	1.20
GUATEMALA	58.56	21.16	20.28	Franco Arcilloso-Arenoso	1.21
CUTZAN	74.56	19.28	6.16	Franco Arenoso	0.89

Serie de Suelo.	pH	Acidez Extrai- ble. ★	Materia orgánica o/o	Cationes Intercambiables Meq./100 g.				C. I. C. □	S. B. o/o
				Ca	Mg	K	Na		
CRISTINA	5.08***	0.15	0.52**	3.5	0.99	0.61	0.081	24.48	21.17
GUATEMALA	6.28****	0.05	6.28*	10.63	2.76	1.56	0.076	31.28	48.00
CUTZAN	5.75***	0.10	1.78**	10.13	2.18	0.49	0.12	49.68	26.00

Serie de Suelo.	Ug/ml. suelo			Meq./100 ml.		Ug/ml. suelo			
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn
CRISTINA	2.13	2.81**	134.75*	4.63*	1.68*	126.0*	2.50*	49.75*	1.65**
GUATEMALA	14.78	5.94**	357.40*	18.98*	5.66*	136.8*	3.00*	21.25*	7.55*
CUTZAN	14.38	1.24**	57.05**	13.05*	2.86*	39.0*	0.57**	3.00**	5.40*

S.B. Saturación de Bases.

* ADECUADO

** DEFICIENTE

*** ACIDO

**** NEUTRO

★ Meq/100 ml. suelo.

□ Meq/100 g.

Cuadro 2 A. Rendimiento de biomasa promedio de cuatro repeticiones según el nivel de saturación de la adsorción máxima de fósforo en tres series de suelos de Guatemala.

<i>Serie de suelo</i>	<i>Nivel de saturación de la adsorción máxima.</i>	<i>Cantidad de fósforo aplicado. p p m</i>	<i>Rendimiento de Biomasa en peso seco. g/maceta</i>
<i>CRISTINA</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0.80</i>
	<i>1/4</i>	<i>169</i>	<i>7.90</i>
	<i>1/2</i>	<i>338</i>	<i>9.70</i>
	<i>1</i>	<i>676</i>	<i>10.90</i>
	<i>1 1/2</i>	<i>1014</i>	<i>12.00</i>
<i>CUTZAN</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.00</i>
	<i>1/4</i>	<i>252.5</i>	<i>5.20</i>
	<i>1/2</i>	<i>505.0</i>	<i>7.20</i>
	<i>1</i>	<i>1010.0</i>	<i>11.00</i>
	<i>1 1/2</i>	<i>1515.0</i>	<i>11.90</i>
<i>GUATEMALA</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>7.20</i>
	<i>1/4</i>	<i>164.5</i>	<i>11.00</i>
	<i>1/2</i>	<i>329.0</i>	<i>11.20</i>
	<i>1</i>	<i>658.0</i>	<i>11.80</i>
	<i>1 1/2</i>	<i>987.0</i>	<i>11.20</i>

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

"IMPRIMASE"

ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.
DECANO

