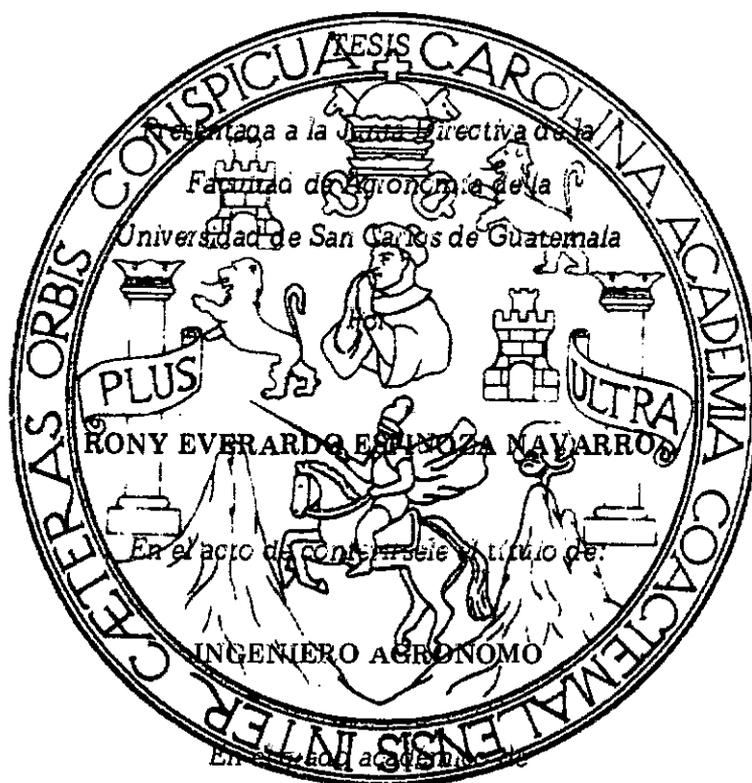


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO CON  
DOS METODOLOGIAS DE EXTRACCION, EN LAS SERIES  
DE SUELOS TEMPISQUE Y SINANEQUE, LA FRAGUA,  
ZACAPA.



LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, JUNIO DE 1,986

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

Ó.L.,  
04  
T(848)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Dr. Mario Moreno Cambara

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. César A. Castañeda
VOCAL I	Ing Agr. Oscar René Leiva R.
VOCAL II	Ing. Agr. Jorge Sandoval
VOCAL III	Ing. Agr. Mario F. Melgar
VOCAL IV	P. A. Angel Leopoldo Jordán
VOCAL V	P. A. Axel Gómez Chavarry
SECRETARIO	Ing. Agr. Luis Alberto Castañeda



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1845

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

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

Guatemala,  
20 de Mayo de 1986.

Ingeniero Agrónomo  
Anibal B. Martínez M.  
Director del Instituto  
de Investigaciones Agronómicas  
Facultad de Agronomía, USAC.

Ingeniero Martínez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de tesis del estudiante Rony Everardo Espinoza Navarro, Carnet No. 79-10191, titulado "DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO CON DOS METODOLOGIAS DE EXTRACCION, EN LAS SERIES DE SUELOS TEMPISQUE Y SINANEQUE, LA FRAGUA, ZACAPA", el cual reúne las características y condiciones necesarias - para ser autorizado como tal, tomando en cuenta que es un - aporte valioso para la recomendación de fertilizante.

En virtud de lo anterior, ante usted con to respeto solicito su autorización para que dicho trabajo sea publicado como tesis de grado.

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. M.C. José Jesús Chonay  
Asesor

JJC/oe.  
c.c. Archivo.



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

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

26 de mayo de 1986

Ingeniero  
César A. Castañeda S.  
Decano Facultad de Agronomía  
Presente

Señor Decano:

Por este medio informo a usted, que he revisado la Tesis de Grado del estudiante **RONY EVERARDO ESPINOZA NAVARRO** quien se identifica con el carnet No. Titulada: "DETERMI-

**NACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO CON DOS METODOLOGIAS DE EXTRAC -  
CION, EN LAS SERIES DE SUELOS TEMPISQUE Y SINANEQUE, LA FRAGUA, ZACAPA",**

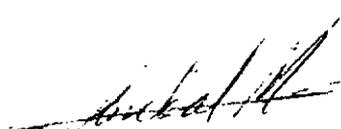
la cual se ajusta a las normas establecidas por la Facultad de Agronomía para estos trabajos.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

  
Ing. Agr. Anibal B. Martínez  
DIRECTOR



ABM/tdev.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia .....

Asunto .....

28 de mayo de 1986

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De conformidad a las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de presentar a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

*Determinación del nivel crítico de fósforo con dos metodologías de extracción, en las series de suelos Tempisque y Sinaneque, La Fragua, Zacapa.*

Presentándolo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando contar con la aprobación del mismo me suscribo de ustedes.

Atentamente,

Rony Everardo Espinoza Navarro

**ACTO QUE DEDICO**

**A DIOS**

**A MIS PADRES**

*EVERARDO ESPINOZA GONZALES  
MARINA NAVARRO DE ESPINOZA*

**A MIS HERMANOS:**

*MARITZA, MIRNA, ROMEO, JANETHE  
MARLENI, RONALDY*

**A MIS ABUELOS:**

*(SILVERIA GONZALES, ELADIA MEJIA,  
FELIX NAVARRO) Q.E.P.D.  
VICENTE ESPINOZA MELGAR*

**A MIS TIOS**

**A MIS PRIMOS**

**A MIS SOBRINOS**

**A MIS CUÑADOS**

**TESIS QUE DEDICO**

A                    *GUATEMALA*

A                    *LA UNIVERSIDAD DE XAN CARLOS DE GUATEMALA*

A                    *LA FACULTAD DE AGRONOMIA*

A                    *SANTA MARIA IXHUATAN, SANTA ROSA*

A                    *MIS AMIGOS EN GENERAL.*

### SINCEROS AGRADECIMIENTOS

AL:

*Ing. Agr. José de Jesús Chonay, por su valiosa orientación y ayuda en el desarrollo del presente trabajo.*

AL:

*Ing. Agr. Salvador Castillo O., por su desinteresada colaboración.*

A LOS:

*Ing. Agr. Inf. Fredy Hurtarte Ramírez,  
José Manuel Marquez y Leonardo Contreras, por su valiosa colaboración prestada a lo largo del presente trabajo.*

## CONTENIDO

	Página
Indice de Cuadros .....	iii
Indice de Figuras .....	iv
Resumen .....	v
I. Introducción .....	1
II. Objetivos .....	2
III. Hipótesis .....	3
IV. Revisión de Literatura .....	4
A. Fijación de fósforo .....	4
B. Nivel crítico .....	4
C. Metodologías de extracción de fósforo .....	5
D. Estudios de correlación de metodologías de extracción de fósforo ...	5
E. Metodología para la determinación del nivel crítico de Cate-Nelson ...	7
V. Materiales y métodos .....	8
A. Ubicación del área experimental .....	8
B. Características del material experimental .....	8
1. Serie Tempisque .....	8
2. Serie Sinaneque .....	8
C. Recolección y preparación de las muestras de suelo .....	8
1. Análisis físico y químico de laboratorio .....	9
D. Determinación de las curvas de fijación de fósforo .....	9
E. Planta indicadora .....	11
F. Factores y características evaluadas .....	11
G. Metodología experimental .....	11
H. Análisis de datos .....	12
I. Manejo del experimento .....	12
VI. Resultados y discusión .....	13
A. Serie Tempisque .....	13
1. Características físicas y químicas .....	13
2. Peso de la materia seca para cada uno de los tratamientos .....	16
3. Rango y nivel de concentración crítica de fósforo .....	16
4. Fósforo extraído con cada solución extractora .....	18
5. Correlaciones .....	21
B. Serie Sinaneque .....	22

	Página
1. Características físicas y químicas .....	22
2. Peso de la materia seca para cada uno de los tratamientos .....	22
3. Rango y nivel de concentración crítica de fósforo .....	25
4. Fósforo extraído con cada solución extractora .....	27
5. Correlaciones .....	29
VII. Conclusiones .....	31
VIII. Recomendaciones .....	32
IX. Bibliografía .....	33
X. Anexo .....	36

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Metodologías de extracción de fósforo . . . . .	6
2 Tratamientos de sorción . . . . .	10
3 Nivel de fósforo evaluado para cada sitio en las series Tempisque y Sinaneque . . . . .	10
4 Composición de la solución de micronutrientes . . . . .	12
5 Características físicas de la serie Tempisque . . . . .	14
6 Características químicas de la serie Tempisque . . . . .	15
7 Análisis de varianza del rendimiento de biomasa, para la serie Tempisque . . . . .	16
8 Rango de concentración crítica de fósforo para la serie Tempisque con cada metodología de extracción . . . . .	18
9 Fósforo extraído con las soluciones extractoras, en la serie Tempisque . . . . .	20
10 Métodos de extracción y categorías de fertilidad, en la serie Tempisque . . . . .	20
11 Coeficientes de correlación entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en la serie Tempisque . . . . .	21
12 Coeficientes de correlación entre el fósforo adicionado al suelo y los macronutrientes en la plántula, en la serie Tempisque . . . . .	21
13 Características físicas de la serie Sinaneque . . . . .	23
14 Características químicas de la serie Sinaneque . . . . .	24
15 Análisis de varianza del rendimiento de biomasa, para la serie Sinaneque . . . . .	25
16 Rango de concentración crítica para la serie Sinaneque, con cada metodología de extracción . . . . .	27
17 Fósforo extraído por las soluciones extractoras, en la serie Sinaneque . . . . .	27
18 Métodos de extracción y categorías de fertilidad, en la serie Sinaneque . . . . .	29
19 Coeficientes de correlación entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en la serie Sinaneque . . . . .	29
20 Coeficientes de correlación entre el fósforo adicionado al suelo y los macronutrientes en la plántula, en la serie Sinaneque . . . . .	30

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Análisis de datos de caña de azúcar de pernambulo, Brasil, por el método, Cate-Nelson .....	7
2	Respuesta al fósforo de la serie Tempisque respecto al rendimiento .....	17
3	Nivel crítico de fósforo con las soluciones Extractoras Carolina del Norte y Olsen Modificado, en la serie Tempisque .....	19
4	Respuesta al fósforo de la serie Sinaneque respecto al rendimiento .....	26
5	Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras Carolina del Norte y Olsen Modificado, en la serie Sinaneque .....	28
6	Curvas de sorción de fósforo para la serie Tempisque .....	36
7	Curvas de sorción de fósforo para la serie Sinaneque .....	37

## RESUMEN.

La creciente demanda de información básica que permita orientar los programas de fertilización, tanto a nivel de finca, como a nivel regional y nacional, constituye en nuestro medio un problema de primera necesidad.

Entre los elementos nutritivos del fósforo en los suelos de Guatemala es deficiente en la mayor parte del país. Además, se carece de información básica para efectuar recomendaciones técnicas del fósforo, tomando en cuenta que éste es estable y presenta problemas de fijación que limitan su disponibilidad para las plantas.

En el presente estudio se determinaron los rangos y niveles de concentración crítica de fósforo en las series de suelos Tempisque y Sinaneque mediante el uso de las soluciones extractoras de Carolina del Norte y Olsen Modificado. Así mismo, se seleccionó la metodología de extracción de fósforo de mejor correlación con el rendimiento relativo en las series estudiadas.

Los factores evaluados fueron analizados mediante un diseño experimental completamente al azar y tratamientos independientes para cada sitio de muestreo.

Las dos metodologías de extracción de fósforo correlacionaron en dichos suelos, por lo que se pueden usar indistintamente tomando en cuenta los niveles y rangos de concentración crítica para ambas series.

Para la serie Tempisque, el rango y nivel de concentración crítica de fósforo es el siguiente: Con la metodología de Carolina del Norte, el rango de concentración crítica es de 10 a 16 ppm y el nivel crítico es de 13 ppm. Con la metodología de Olsen Modificado, el rango de concentración crítica es de 2.8 a 4 ppm y el nivel crítico es de 3.4 ppm.

Para la serie Sinaneque, el rango y nivel de concentración crítica de fósforo es el siguiente: Con la metodología de Carolina del Norte, el rango de concentración crítica es de 23 a 28 ppm y el nivel crítico es de 25 ppm. Con la metodología de Olsen Modificado, el rango de concentración crítica es de 3 a 3.5 ppm y el nivel crítico es de 3.45 ppm.

## I. INTRODUCCION.

El fósforo en los suelos de Guatemala se encuentra deficiente en más de un setenta y cinco por ciento de un total de treinta mil muestras de suelos analizados en el Laboratorio de suelos de la Dirección General y Extensión Agrícola; actualmente disciplina de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), ( 8 ).

La extracción de fósforo total no es un índice para evaluar la cantidad de fósforo disponible de un suelo, este nutriente es relativamente estable debido a la baja solubilidad, la que limita su disponibilidad y causa deficiencia para las plantas. Esto puede evitarse en parte, a través de una fertilización fosfatada, pero los fosfatos aplicados al suelo pueden ser objeto de fijación.

En distintos países se hace uso de diferentes soluciones extractoras para la evaluación del fósforo; por lo tanto, es necesario seleccionar la o las soluciones que correlacionen con los rendimientos para recomendar el uso de fertilizante y obtener rendimientos aceptables por unidad de superficie. No existe una solución extractora universal que correlacione con todos los suelos y cultivos, por lo que es necesario hacer estudios de calibración y correlación de metodologías para los suelos de una región o país.

Las series de suelos Tempisque y Sinaneque son variables en su contenido de fósforo y presentan en mayor o menor grado el problema de fijación de dicho elemento. Ocupan relieves casi planos, con extensiones de 1,314 y 927 hectáreas respectivamente, que representan el 17.04 por ciento del Valle Central de la Fragua, Zacapa. Las lluvias son menores de 500 mm anuales para el área en estudio (9). Las aguas superficiales de la región son utilizadas para riego, contando en la actualidad con un sistema de riego por gravedad para 2,500 ha. (9). Esta región se dedica a cultivos de tomate, sandía, melón, tabaco, pastos, chiles, berengena, pepino y okra

El objetivo de este trabajo es correlacionar dos metodologías de extracción de fósforo, seleccionar una solución extractora y obtener los rangos de concentración crítica de fósforo, que sirvan de criterios para recomendar fertilizante en las series de suelos Tempisque y Sinaneque.

**II. OBJETIVOS.**

- A. *Determinar el nivel y rango crítico de fósforo para las series de suelos Tempisque y Sinaneque mediante el uso de las soluciones extractoras Carolina del Norte y Olsen Modificado.*
- B. *Seleccionar la metodología de extracción de fósforo que correlacione con el rendimiento relativo en los suelos de las series Tempisque y Sinaneque.*

**III. HIPOTESIS.**

- A. *El nivel y rango crítico de fósforo en el suelo es diferente para cada serie, con cada metodología de extracción.*
- B. *Al menos una metodología de extracción de fósforo correlaciona con la disponibilidad de este nutriente en cada serie de suelo, respecto al rendimiento relativo.*

#### IV. REVISION DE LITERATURA.

##### A. Fijación de fósforo.

El contenido de fósforo total no es un índice para evaluar la cantidad de fósforo de un suelo, dado a que una pequeña fracción corresponde al fósforo disponible para la planta. Malavolta (11), indica que la fracción pequeña se encuentra en forma de  $H_2PO_4$  que es la absorbida por las raíces.

En suelos alcalinos, la mayor fijación de fósforo sucede como fosfatos de calcio y magnesio y en suelos ácidos como fosfatos de hierro y aluminio (6).

El origen del suelo afecta la fijación de fósforo; según Swndale (17), en suelos derivados de cenizas volcánicas la fijación es una característica debido a la formación de Taranakita, mientras que Birrell y Kobo (2), indican que la fijación es resultante de la actividad de los aluminofosfatos. Palencia (12), en la caracterización de algunos suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas de Centro América, encontró una correlación negativa entre el contenido de fósforo disponible y el aluminio extraíble y el  $Fe_2O_3$ . Esta se debe al efecto de fijación de fósforo por la formación de fosfatos de hierro y aluminio.

El tipo de arcilla es otro factor que influye en el fenómeno de fijación. Para explicar este mecanismo de fijación de fósforo por el coloide arcilloso, el anión fosfato reemplaza al radical OH (6), o es absorbido por la micela de arcilla mediante un puente de calcio, Tisdale y Nelson (18). Los suelos con alto contenido de arcilla y arcillas de baja relación  $SiO_2/R_2O_3$ , tienen mayor poder de fijación.

##### B. Nivel Crítico.

Cate y Nelson (3), indican que el nivel crítico del análisis de suelos es el punto de inflexión en una curva de respuesta a la adición creciente de nutrientes, debajo del cual la probabilidad de respuesta económica a la adición del nutriente es alta y por encima la probabilidad es baja.

Los estudios sobre el comportamiento del fósforo son específicos para cada suelo y cultivo, por lo que su extrapolación resulta con poca confiabilidad en la predicción de respuesta; siendo además, que en una metodología pueden haber variaciones en el nivel crítico (10). Rodríguez y León, citados por Díaz Moscoso (5), mencionan que los suelos negros derivados de cenizas volcánicas de Colombia, son suelos ácidos con pH 5.1, altos en materia orgánica y bajos en fósforo aprovechable; en estos suelos los rendimientos aumen-

tan con la adición de cal y dosis de fósforo.

En suelos volcánicos de la zona cafetalera del Quindío, López, citado por Díaz Moscoso (5), establece, que el nivel crítico de fósforo con  $H_2SO_4$  0.08 N es de 25 ppm para diferentes cultivos.

En Guatemala, para ajustar los niveles críticos de fósforo y potasio de invernadero a condiciones de campo, Palencia (12), estudió 44 experimentos localizados en distintas regiones agrícolas del país, utilizó la solución extractora de HCl 0.05 N y  $H_2SO_4$  0.025 N y concluyó, que los niveles críticos corresponden a 5.7 ppm de fósforo y 54 ppm de potasio.

### C. Metodologías de extracción de fósforo.

Según Bray, citado por Sánchez (14), un método satisfactorio de laboratorio para análisis de rutina de suelos debe satisfacer tres criterios:

1. Extraer todas las formas disponibles o una parte proporcional del nutrimento, en suelos con propiedades diferentes.
2. El procedimiento debe ser rápido y preciso.
3. Las cantidades extraídas deben correlacionar con el crecimiento y respuesta de cada cultivo bajo diversas condiciones.

Díaz y Hunter (4), a través de sus experiencias, han observado que la solución de Carolina del Norte (Mehlich), es ampliamente usada para suelos con pH menores de 6.5 y la solución de Olsen Modificado para suelos con amplio rango de pH, desde ácido hasta alcalino. En el Cuadro 1, se mencionan algunas soluciones extractoras de fósforo.

Cuadro 1. Metodologías de extracción de fósforo.

Metodología	Solución, concentración y pH	Relación suelo: solución Ext.	Tiempo de agitación
Bray I	NH <sub>4</sub> F 0.03N, pH 3.2 HCl 0.025 N	1:5	5 min
Bray II	NH <sub>4</sub> F 0.03 N, pH 1.75 HCl 0.01 N	1:5	5 min
Olsen Modificado	NaHCO <sub>3</sub> 0.5 N, pH 8.5 EDTA 0.01 N (sal disódica) y superfloc 0.005o/o	1:10	10 min
Mehlich (Carolina del Norte)	HD1 0.05 N, pH 1.3 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.025 N	1:5	5 min

Fuente: Sánchez, P.A. 1,981 (14)

D. Estudios de correlación de metodologías de extracción de fósforo.

En estudios de fósforo realizados por Luna y Mueller, citados por Waugh (19), con dos metodologías de extracción; Mehlich y Olsen, la primera extrajo más fósforo en suelos calcareos, la segunda correlacionó con el fósforo disponible y el rendimiento relativo en todos los suelos estudiados del Perú, por lo que, recomiendan no utilizar métodos de extracción ácida.

El extractante de Carolina del Norte, se ha usado en Costa Rica y Nicaragua, pero Balerdi *et al* (1), realizaron estudios de calibración y correlación de metodologías, y concluyen que la solución de Olsen Modificado correlaciona mejor, por lo que, en los países Centroamericanos no recomiendan Carolina del Norte.

Morrillo y Fassbender, citados por Fassbender (6), evaluaron las formas y disponibilidad de fosfatos en los suelos del área baja de la cuenca del río Choluteca, Honduras, encontrando correlación en dichos suelos con la solución de Olsen Modificado.

Galiano *et al* (7), en la calibración de varios métodos para determinar el fósforo asi-

milable en suelos arroceros de Colombia, concluyen que Olsen Modificado correlaciona entre el fósforo extraíble y el porcentaje de la capacidad del suelo para suministrar fósforo, por lo que se cuantifica con mejor precisión la cantidad de fósforo aprovechable en el suelo.

E. Metodología para la determinación del nivel crítico de Cate-Nelson (14)

El método gráfico consiste en plotear con puntos los rendimientos relativos en función del contenido del nutriente, como se ilustra en la Figura 1. Se usa una hoja transparente de superposición dividida en cuadrantes por líneas horizontales y verticales. Esta hoja se sobrepone sobre los datos, de tal manera que el mayor número de puntos se ubiquen en los cuadrantes inferior izquierdo y superior derecho, y el menor número de puntos en los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho, el punto en que la línea vertical corta el eje "x" se considera el nivel crítico para el método de análisis de suelo bajo consideración. El punto en que la línea horizontal corta el eje "y" se para a los suelos de respuesta alta de los de respuesta baja.

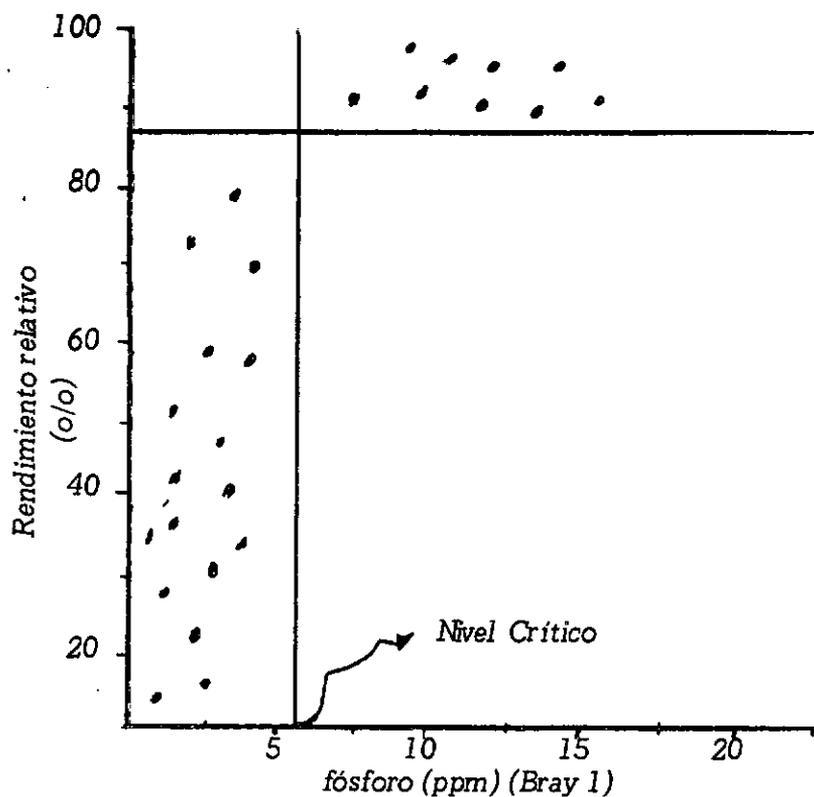


Figura 1. Análisis de datos de caña de azúcar de Pernambuco, Brasil, por el método, Cate-Nelson. Cada punto representa una parcela de campo (Fuente ISFEIP 1,967)

## V. MATERIALES Y METODOS.

### A. Ubicación del área experimental.

El trabajo de investigación se realizó en el invernadero de la Facultad de Agronomía, el cual se encuentra ubicado en la Ciudad Universitaria de la zona 12, ciudad Capital, Guatemala. Sus coordenadas son 14°35'11" latitud Norte y 90°31'58" longitud Oeste y a una altura de 1,502.32 msnm (5).

### B. Características del material experimental.

Los suelos estudiados provienen del Valle de la Fragua, Zacapa y corresponden a las series Tempisque y Sinaneque, que de acuerdo con Simmons (15), las características son las siguientes:

#### 1. Serie Tempisque.

Son de origen volcánico pomáceo, casi planos, moderadamente drenados, se tornan duros cuando se secan y pegajosos al humedecerse, su fertilidad natural es regular, con deficiencias de fósforo. Ocupan el 9.9 por ciento del área del Valle Central de la Fragua, con una extensión de 1,314 hectáreas.

#### 2. Serie Sinaneque.

De origen aluvial, con drenaje moderado, cultivables, fertilidad natural mediana, baja retención de humedad. Facilitan la penetración de raíces y agua, no son erosionables con adecuado manejo. Presentan relieves casi planos a suavemente inclinados y se encuentran en la parte sur del Valle. Ocupan un área de 927 hectáreas, que representan 7.05 por ciento.

### C. Recolección y preparación de las muestras de suelo.

Para la recolección y preparación de muestras se siguió la técnica propuesta por Fitts y Waugh (19).

Para el muestreo de cada serie se seleccionaron 15 puntos con diferente manejo, recolectándose 15 kilogramos de suelo en cada sitio, a profundidades comprendidas entre 0 a 20 centímetros. Las muestras fueron secadas y tamizadas previo a ser analizadas física y químicamente y al estudio de invernadero.

1. *Análisis físico y químico de laboratorio.*

*En los Cuadros 5, 6, 13 y 14, se detallan las características físicas y químicas de las series de suelos en estudio, cuyos datos sirvieron para tener suficientes elementos de juicio en el manejo del ensayo e interpretación de los resultados.*

*Las determinaciones analíticas, se llevaron a cabo de acuerdo a las siguientes metodologías.*

i. *Características físicas:*

*La granulometría; determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucus y la textura en base a la escala USDA modificada.*

*Densidad aparente; por el método de la probeta.*

*Color; con la escala de Munssell.*

ii. *Características químicas:*

*Materia orgánica; por el método de combustión húmeda de Walkley-Black modificado, por reducción con dicromato ácido.*

*Bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico; extraídos con acetato de amonio pH 7, 1 N, los cationes Ca y Mg por titulación con EDTA, al Na y K por fotómetro de llama, CIC semimicrokjeldhal.*

*pH; determinado por el método potenciométrico, relación suelo: agua 1:2.5.*

*Extracción de fósforo; con las soluciones extractoras bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0.5 M a pH 8.5 y el de doble ácido diluidos  $\text{HCl}$  0.05  $\text{NH}_2\text{SO}_4$  0.025 N; (Olsen Modificado y Carolina del Norte, respectivamente).*

D. *Determinación de las curvas de fijación de fósforo.*

*Las muestras recolectadas en los sitios de cada serie fueron sometidos al estudio de sorción de fósforo (4). Se adicionó niveles progresivos de fósforo al suelo como se observa en el Cuadro 2 y luego se extrajo el fósforo del suelo. Esto permitió elaborar la curva de fijación para los suelos bajo estudio y se determinó un valor aproximado de la cantidad de fósforo requerido para tener un incremento en el fósforo aprovechable por la planta. En el anexo aparece la Figura 6 y 7, que resume el comportamiento de cada serie en estudio de*

sorción.

Cuadro 2. Tratamientos de sorción.

Tratamiento de sorción	Concentración de P, en cada tratamiento de sorción ( ug/ml ).
1	0
2	35
3	70
4	140
5	280
6	560

Fuente: Hunter A.H. 1,977 (4)

Las curvas de fijación de fósforo sirvieron de base para determinar el nivel de fósforo a evaluar para cada sitio en el invernadero cuyos tratamientos se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Nivel de fósforo evaluado para cada sitio en las series Tempisque y Sinaneque.

Sitio de muestreo	Serie Tempisque fósforo ppm	Serie Sinaneque fósforo ppm
1	140	50
2	175	50
3	140	50
4	100	300
5	100	70
6	70	70
7	100	150
8	100	50
9	100	50
10	140	100
11	50	50
12	50	50
13	140	50
14	100	150
15	100	100

**E. Planta indicadora.**

En el experimento se utilizó la variedad de sorgo Spionner 8244 (Sorghum vulgare) como planta indicadora por ser sensible a la mayoría de las deficiencias, es de rápido crecimiento y tiene habilidad para crecer bajo condiciones de luz y temperatura que predominan en los invernaderos.

**F. Factores y características evaluadas.**

Para darle respuesta a los objetivos e hipótesis, se evaluaron las siguientes características:

1. Niveles de fósforo y rendimiento relativo.
2. Cantidades de fósforo extraídas con las soluciones de Carolina del Norte y Olsen Modificado.
3. La concentración de los macronutrientes en plántulas al momento de la cosecha.

**G. Metodología experimental.**

Los niveles de fósforo evaluados fueron analizados mediante el diseño experimental completamente al azar, con estructura jerárquica 2x15, con 30 tratamientos por serie y tres repeticiones. La unidad experimental consistió en una maceta de 1 litro de capacidad, con 500 ml de suelo tamizado a 2mm.

El modelo lineal estadístico para el análisis del rendimiento y biomasa es el siguiente (16).

$$Y_{ijk} = U + T_i + \alpha_j(i) + E_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta observada en la repetición  $k$  del tratamiento  $j$ .

$U$  = Efecto de la media general

$T_i$  = Efecto del  $i$  . . . ésimo sitio.

$\alpha_j(i)$  = Efecto del nivel  $j$  dentro de cada sitio.

$E_{ijk}$  = Error experimental, asociado a la  $ijk$ -ésima unidad experimental.

$i$  = 1, 2, . . . 15 sitios.

$j$  = 1, 2, niveles de fósforo dentro de sitio

$k$  = 1, 2, 3, repeticiones.

#### H. Análisis de datos.

Para darle respuesta a los objetivos e hipótesis se procesaron los datos mediante el análisis de varianza para materia seca. Comparación múltiple de medias de los rendimientos con el método estadístico de Tukey al 50/o de probabilidad, método gráfico Cate-Nelson para la determinación del nivel crítico, modelos matemáticos discontinuos de dos medias para determinar el rango de concentración crítica, correlación lineal entre el contenido de fósforo extraído con las soluciones extractoras y macronutrientes en plántulas y rendimiento relativo.

#### I. Manejo del experimento.

Antes de la siembra del sorgo se aplicó a las unidades experimentales los niveles de fósforo que anteriormente se muestran en el cuadro 3, aplicado en forma de  $H_3PO_4$ , mas 50 ppm de nitrógeno en forma de  $NH_4NO_3$ . Una segunda dosis de nitrógeno de 100 ppm fue adicionada a los 12 días. Los micronutrientes fueron aplicados en base al criterio de Waugh y Fitts (19), que recomiendan la aplicación de 25 ml de la solución que se muestra en el Cuadro 4, por semana, durante el período de crecimiento.

Cuadro 4. Composición de la solución de micronutrientes.

Compuesto	Gramos/litro
$H_3BO_3$	1.55
$MnCl_2 \cdot 4 H_2O$	0.90
$ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$	0.58
$CuSO_4 \cdot 5 H_2O$	0.08

Fuente: Waugh y Fitts.

En cada unidad experimental se sembraron 10 semillas de sorgo. A los 5 días de germinadas se realizó un entresaque para dejar cinco plántulas por maceta.

El riego se hizo con agua destilada.

Para poder evaluar el peso de materia seca y su contenido de macronutrientes, a los 37 días después de la siembra se procedió al corte de las plántulas a 1 centímetro por encima de la superficie del suelo.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las series de suelos Tempisque y Sinaneque, los cuales son discutidos en el orden siguiente:

*Características físicas y químicas.*

*Peso de materia seca.*

*Rango y nivel de concentración crítica de fósforo.*

*Fósforo extraído con cada solución extractora.*

*Correlaciones de las variables evaluadas.*

### A. Serie Tempisque:

#### 1. Características físicas y químicas.

En los Cuadros 5 y 6, se observan las características físicas y químicas de los sitios estudiados.

Las texturas encontradas para esta serie fueron franco-arcillo-arenoso, franco-arenoso y arcillo-arenoso.

La materia orgánica se reporta baja para todos los sitios estudiados.

En términos generales la reacción se considera neutra, lo cual indica que no existe problema de fijación por el pH.

La capacidad de intercambio catiónico se reporta de 10.43 a 26.47 meq/100 gr, por lo que se considera variable, considerándosele de baja a adecuada. Ello se demuestra por la correlación que guarda con la textura en función de la arcilla; no así, para la materia orgánica.

Las bases intercambiables, el calcio y el magnesio, en términos generales se considera adecuadas, mientras que el potasio fluctúa entre valores adecuados a altos.

El porcentaje de saturación de bases se considera como adecuado, observando una tendencia predominante de alta. Se observan tres sitios con un porcentaje de saturación de bases mayor del cien por ciento, esto es debido a los niveles altos de potasio.

Cuadro 5. Características físicas de la serie Tempisque.

Sitio	Granulometría			Clase textural	color		densidad apa. (gr / ml)
	o/o Arc.	o/o lim.	o/o aren.		Seco	Húmedo	
1	30.63	17.71	51.66	Franco arcillo arenoso	7.5YR 4/4 pardo y pardo oscuro	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.14
2	22.08	27.09	50.90	Franco arcillo arenoso	10YR 6/2 gris parduzco claro	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.10
3	20.52	13.31	66.17	franco arcillo arenoso	7.5YR 5/4 pardo	10 YR 2/2 pardo muy oscuro	1.13
4	22.19	21.96	55.85	franco arcillo arenoso	10YR 5/2 pardo grisáceo	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.12
5	24.23	17.12	58.75	franco arcillo arenoso	7.5YR 5/4 pardo	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.23
6	29.34	25.80	54.86	franco arcillo arenoso	7.5YR 5/4 pardo	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.18
7	21.74	21.50	56.76	franco arcillo arenoso	10YR 6/2 gris parduzco claro	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.16
8	20.87	23.63	55.50	franco arcillo arenoso	10YR 6/2 gris parduzco claro	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.03
9	23.76	19.71	56.53	franco arcillo arenoso	10YR 5/3 pardo	10YR 2/2 pardo muy oscuro	0.95
10	29.03	22.56	48.41	franco arcillo arenoso	10YR 6/4 pardo amarillento claro	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.14
11	28.54	18.14	53.32	franco arcillo arenoso	10YR 5/2 pardo grisáceo	10 YR 2/2 pardo muy oscuro	1.12
12	39.58	25.17	35.25	franco arcilloso	10YR 6/1 entre gris claro y gris	10 YR 2/2 pardo muy oscuro	1.10
13	37.82	18.16	44.02	arcillo arenoso	10YR 5/2 pardo grisáceo	10 YR 2/2 pardo muy oscuro	1.09
14	19.91	12.49	67.60	franco arenoso	7.5YR 5/4 pardo	10 YR 2/2 pardo muy oscuro	1.09
15	28.34	23.92	47.74	franco arcillo arenoso	10 YR 5/3 pardo	10 YR 2/2 pardo muy oscuro	1.15

Cuadro 6. Características químicas de la serie Tempisque.

Sitio	o/o Materia orgánica	pH	CIC	Cationes Intercambiables meq/100 gr.				o/o Saturación de Bases
				Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	
1	1.49	7.2	21.34	9.96	4.82	2.90	3.17	97.70
2	1.73	6.8	17.01	9.65	2.33	1.40	1.06	84.89
3	1.17	6.7	15.06	7.65	2.71	1.32	0.14	78.49
4	1.55	6.6	15.88	7.22	1.93	1.13	0.45	67.57
5	1.25	7.1	10.78	5.16	1.55	2.37	1.88	101.67
6	1.13	7.3	12.27	10.16	3.37	2.43	3.06	85.79
7	1.03	6.6	14.83	6.93	1.65	1.87	0.42	73.30
8	1.94	6.8	19.12	10.96	2.81	1.32	0.12	79.53
9	1.92	6.8	20.04	9.18	3.80	1.71	0.24	74.50
10	0.92	7.2	21.59	16.42	6.28	3.87	2.99	136.92
11	1.26	7.2	19.21	14.30	3.97	3.94	0.22	116.76
12	1.16	6.9	26.47	13.54	2.86	0.98	1.17	70.08
13	1.49	6.4	24.56	15.51	3.84	1.39	1.01	88.56
14	0.90	7.0	10.43	6.94	1.95	0.95	0.26	98.84
15	1.49	7.3	23.79	15.68	3.68	0.41	1.02	88.69

2. *Peso de la materia seca para cada uno de los tratamientos.*

En el Cuadro 7, se observa el análisis de varianza para el rendimiento de materia seca respecto a la adición de fósforo. Se concluye, que no existe diferencia significativa al 1o/o de probabilidad entre sitios, pero si entre los niveles evaluados para cada sitio; esta respuesta se debe al contenido inicial de fósforo de cada muestra.

Cuadro 7. *Análisis de varianza del rendimiento de biomasa, para la serie Tempisque.*

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada	F tabulada 1 o/o
Sitios de muestreo	14	7.23	0.99 NS	2.40
Niveles/sitio	15	7.30	561.54 **	2.35
Error	60	0.013		
Total	89			

NS = No significativo.

\*\* = Significancia al 1o/o de probabilidad.

C.V. = 3.18o/o

En la Figura 2, se presenta el comportamiento a la adición de fósforo, para cada sitio. La mayor probabilidad de respuesta fue en los sitios con el contenido de fósforo de 0 a 20 ppm. Los sitios con niveles mayores de 20 ppm presentan una baja probabilidad de respuesta respecto al rendimiento, estas concentraciones son extraídas con la solución extractora Carolina del Norte.

Con la solución extractora Olsen Modificado, los sitios con 0 a 3.5 ppm presentan una mayor probabilidad de respuesta. Los sitios con niveles mayores de 3.5 ppm presentan una baja probabilidad de respuesta respecto al rendimiento.

3. *Rango y nivel de concentración crítica de fósforo.*

En el Cuadro 8, se observa el rango de concentración crítica con cada metodología de extracción. Con la metodología de Carolina del Norte se encontró un rango de 10 a

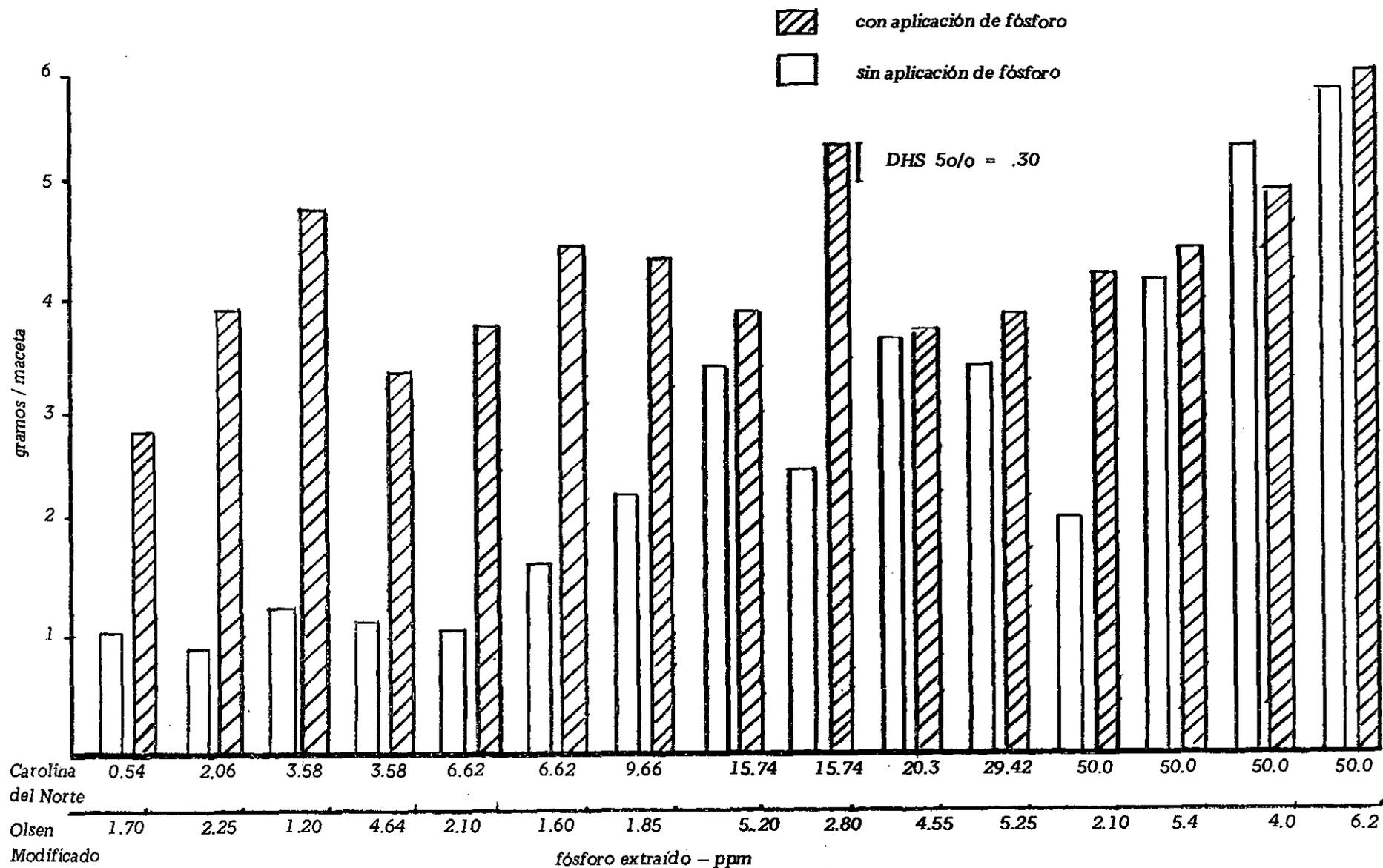


Figura 2. Respuesta al fósforo de la serie Tempisque respecto al rendimiento.

16 ppm. Para la metodología de Olsen Modificado fue de 2.8 a 4 ppm.

En la Figura 3, se detalla el nivel crítico. Para la metodología de Carolina del Norte fue de 13 ppm, en tanto que para la metodología de Olsen modificado fue de 3.4 ppm

**Cuadro 8. Rango de concentración crítica para la serie Tempisque con cada metodología de extracción.**

Metodología de extracción	Rango crítico P ppm
Carolina del Norte	10 - 16
Olsen Modificado	2.8 - 4

4. *Fósforo extraído con cada solución extractora.*

En el Cuadro 9, se presentan las concentraciones de fósforo que inicialmente se encontró en la serie extraídas con cada solución extractora, observándose diferencias en las cantidades extraídas con cada metodología.

Los valores de fósforo mayores corresponden a los suelos de los sitios manejados intensivamente.

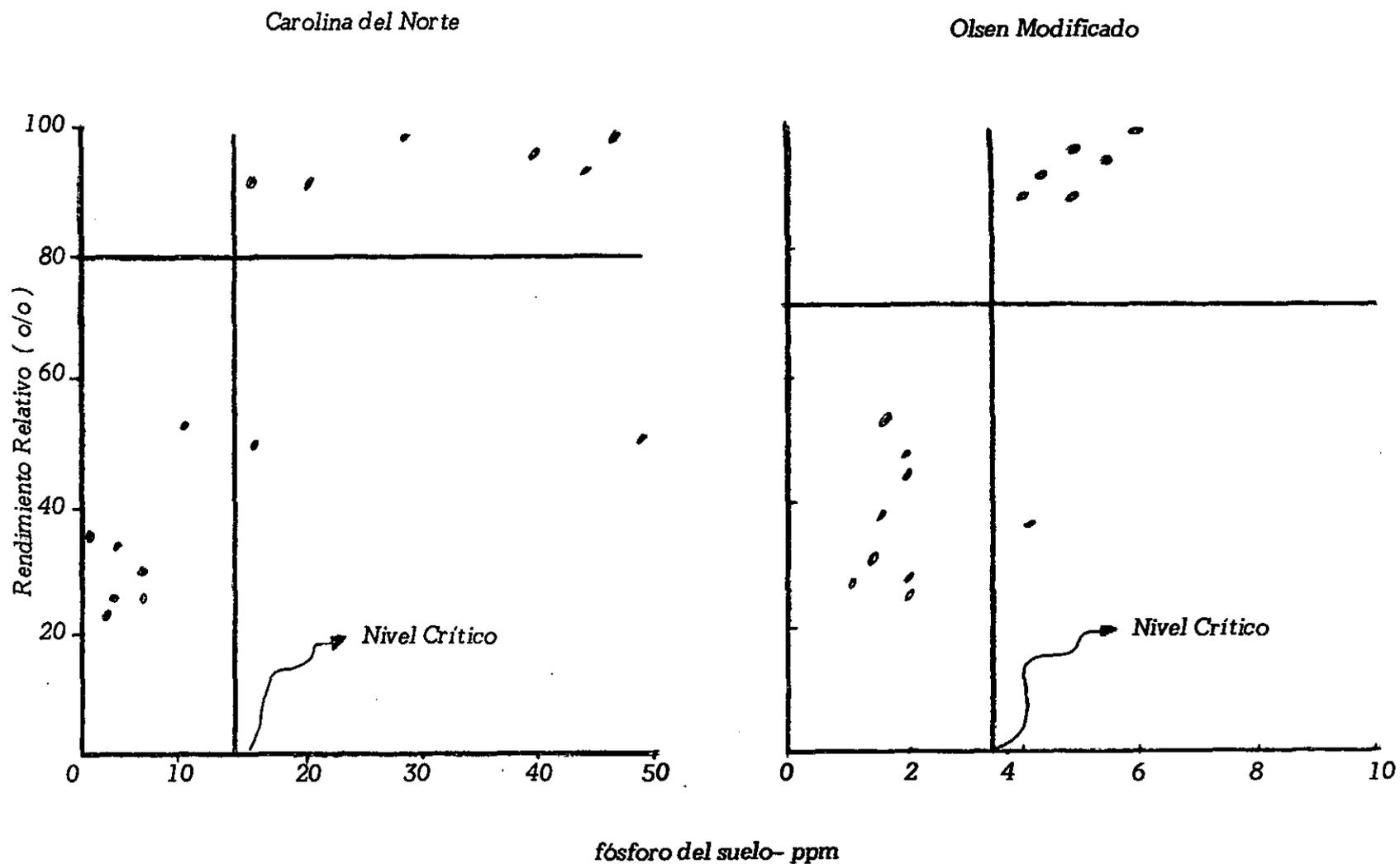


Figura 3. Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras Carolina del Norte y Olsen Modificado en la serie Tempisque.

Cuadro 9. Fósforo extraído con las soluciones extractoras, en la serie Tempisque.

Uso del sitio muestreado*	Carolina del Norte	Olsen Modificado	Rendimiento
	ppm	ppm	Relativo o/o
Pasto	15.74	5.20	88.07
Pasto	29.42	5.25	96.15
Pasto	3.50	1.20	26.77
Pasto	2.06	2.25	24.92
Pasto	0.54	1.70	37.86
Pasto	6.62	1.60	29.62
Pasto	3.58	4.65	35.67
Tomate	15.74	2.80	45.83
Melón	50.00	5.40	93.72
Melón	50.00	4.00	100.00
Pasto	6.62	2.10	26.46
Pasto	20.30	4.55	90.67
Melón	50.00	6.20	96.71
Pasto	9.66	1.85	53.08
Tomate	50.00	2.10	46.56

\* uso al momento del muestreo.

En el Cuadro 10, se muestra la clasificación de fertilidad en base al fósforo extraído con cada solución extractora. El criterio utilizado para la clasificación es la propuesta por Nelson y Tisdale (18).

Cuadro 10. Métodos de extracción y categorías de fertilidad, en la serie Tempisque.

ppm de P		Nivel de fertilidad del suelo	Probabilidad de respuesta a la adición de fósforo ( o/o )
Carolina del Norte	Olsen Modificado		
> 30	> 6	muy alta	0 - 15
20 - 30	3 - 6	alta	15 - 40
10 - 20	2 - 4	media	40 - 60
5 - 10	1 - 2	baja	60 - 85
0 - 5	0 - 1	muy baja	85 - 100

5. Correlaciones.

En el Cuadro 11, se observan los coeficientes de correlación entre rendimiento relativo y el fósforo extraído con las soluciones extractoras de Carolina del Norte y Olsen Modificado. La solución de Olsen Modificado presenta un coeficiente de correlación de 0.811, mayor en comparación a la de Carolina del Norte que es de 0.742

Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en la serie Tempisque.

Metodologías de extracción de fósforo	Rendimiento relativo
Carolina del Norte	0.742
Olsen Modificado	0.811

En el Cuadro 12, se observan los coeficientes de correlación entre el fósforo del suelo y el contenido de N, P, K, Ca, Mg y biomasa de las plántulas. Se obtuvo una correlación negativa con respecto al nitrógeno y el magnesio, en tanto que la correlación fue positiva para el fósforo, potasio, calcio y biomasa.

En el Cuadro 12, se observan los coeficientes de correlación lineal entre las adiciones de fósforo y los macronutrientes en la plántula. Los resultados muestran una correlación negativa con respecto al nitrógeno y el calcio, en tanto que la correlación es positiva para el fósforo, potasio, magnesio y biomasa.

Cuadro 12. Coeficientes de correlación entre el fósforo adicionado al suelo y los macronutrientes en la plántula, en la serie Tempisque.

Nutriente aplicado	Análisis de planta					Rendimiento
	N	P	K	Ca	Mg	
Sin P	-0.578	0.830	0.100	0.232	-0.251	0.809
Con P	-0.228	0.771	0.048	-0.641	0.036	0.332

B. Serie Sinaneque.

1. Características físicas y químicas.

En los cuadros 13 y 14, se observan las características físicas y químicas de los sitios estudiados.

Las texturas para la serie son, franco arenoso, franco y franco arcillo-arenoso.

La materia orgánica se reporta baja para todos los sitios estudiados.

En términos generales la reacción se considera neutra, con una predominancia a ligeramente ácida. Ello indica que no existe fijación por el pH.

La capacidad de intercambio catiónico se reporta de 7.53 a 17.82 meq/100 gr, lo que se considera variable, considerando los niveles de medianamente bajos a bajos, observando una correlación directa con los datos de textura en función de la arcilla, no así, para la materia orgánica.

Las bases intercambiables, el calcio se encuentra en niveles adecuados, a excepción de los sitios cinco y ocho que reportan niveles adecuados a altos. El potasio fluctúa de medianamente bajo a adecuado, predominando para este elemento la tendencia de bajo, con excepción de los sitios seis y once que se reportan altos.

El porcentaje de saturación de bases se considera de adecuado a alto, ello se debe a que los niveles de las bases satisfacen la capacidad de intercambio del suelo, lo cual se demuestra por el porcentaje de saturación de bases que sobrepasa el ochenticinco por ciento. Se observa un sitio con un porcentaje de saturación de bases mayor del cien por ciento, lo cual es debido a los niveles altos de magnesio y potasio.

2. Peso de la materia seca para cada uno de los tratamientos.

En el Cuadro 15, se observa el análisis de varianza para el rendimiento de materia seca respecto a la adición de fósforo. Se concluye, que no existe diferencia significativa al 10/o de probabilidad entre sitios, pero si, entre los niveles evaluados para cada sitio; esta respuesta se debe al contenido inicial de fósforo de cada muestra.

Cuadro 13. Características físicas de la serie Sinaneque.

Sitio	Granulometría			Clase textural	Color		densidad aparente (gr/ml)
	o/o arc,	o/o lim	o/o aren.		seco	húmedo	
1	23.54	29.84	46.62	Franco	10 YR 5/3 pardo	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.19
2	14.74	19.91	65.35	Franco arenoso	10 YR 5/3 pardo	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.31
3	16.87	16.15	69.98	franco arenoso	10 YR 4/3 entre pardo y pardo oscuro	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.22
4	15.64	18.49	65.87	franco arenoso	10 YR 4/3 entre pardo y pardo oscuro	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.25
5	13.90	12.83	73.27	franco arenoso	10 YR 4/3 entre pardo y pardo oscuro	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.32
6	15.76	14.35	68.89	franco arenoso	10 YR 5/3 pardo	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.28
7	17.69	19.73	62.68	franco arenoso	7.5 YR 4/4 entre pardo y pardo oscuro	7.5YR 2/2 pardo muy oscuro	1.27
8	14.81	14.74	70.45	franco arenoso	7.5 YR 4/4 entre pardo y pardo oscuro	7.5YR 3/2 pardo oscuro	1.31
9	16.99	16.84	66.51	franco arenoso	10 YR 5/4 pardo amarillento	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.32
10	17.96	25.57	56.47	franco arenoso	7.5 YR 4/4 entre pardo y pardo oscuro	7.5YR 2/2 pardo muy oscuro	1.24
11	17.98	22.50	59.52	franco arenoso	7.5 YR 4/4 entre pardo y pardo oscuro	7.5YR 2/2 pardo muy oscuro	1.21
12	17.09	21.29	61.61	franco arenoso	10 YR 5/3 pardo	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.25
13	12.71	19.11	68.18	franco arenoso	10 YR 4/3 entre pardo y pardo oscuro	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.30
14	20.41	19.71	59.88	franco arcillo arenoso	10 YR 4/3 entre pardo y pardo oscuro	10YR 2/2 pardo muy oscuro	1.18
15	16.78	21.01	62.21	franco arenoso	7.5 YR 4/4 entre pardo y pardo oscuro	7.5YR 2/2 pardo muy oscuro	1.28

Cuadro 14. Características químicas de la serie Sinaneque.

Sitio	o/o Materia orgánicad	pH	Cationes Intercambiables meq/100 gr				o/o Saturación de bases	
			CIC	Calcio	Magnesio	Potasio		Sodio
1	1.64	7.0	17.82	13.22	3.40	0.37	1.12	101.63
2	1.36	7.2	10.08	7.52	1.43	0.21	0.17	92.56
3	1.92	6.9	12.05	7.71	1.30	0.45	0.10	78.51
4	1.26	7.0	11.14	7.67	1.23	0.25	0.12	82.47
5	1.45	6.8	7.53	4.39	1.03	0.05	0.22	75.42
6	1.87	7.2	12.54	8.15	2.54	0.72	0.18	92.42
7	1.50	6.8	10.74	6.68	1.20	0.40	0.18	78.68
8	1.22	6.6	8.58	4.77	1.81	0.70	0.46	90.21
9	1.31	7.0	12.02	7.74	2.49	0.32	0.24	89.60
10	1.55	7.2	12.90	8.28	1.60	0.28	0.14	79.84 1.
11	1.55	7.2	12.96	7.08	2.22	1.42	0.24	87.65
12	2.25	7.0	12.58	8.99	2.19	0.42	0.20	93.80
13	1.22	6.9	10.51	6.26	1.69	0.38	0.40	83.06
14	2.06	7.4	17.84	12.24	3.69	0.41	0.40	93.83
15	1.12	6.5	11.13	5.74	2.35	0.38	0.26	78.44

Cuadro 15. Análisis de varianza del rendimiento de biomasa, para la serie Sinaneque.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada	F tabulada 1o/o
Sitios de muestreo	14	3.67	0.68 NS	2.40
Niveles/sitio	15	5.43	70.52 **	2.35
Error	60	0.077		
Total	89	89		

NS = No significancia. No sign

\*\* = Significancia al 1o/o de probabilidad.

C.V. = 8.60 o/o

En la Figura 4, se presenta el comportamiento a la adición de fósforo para cada sitio. La mayor probabilidad de respuesta fue en los sitios con el contenido de fósforo de 0 a 25 ppm. En los sitios con niveles mayores de 25 ppm-presentan una baja probabilidad de respuesta respecto al rendimiento, estas concentraciones son extraídas con la solución extractora Carolina del Norte.

Con la solución extractora de Olsen Modificado los sitios con 0 a 4 ppm, presentan una mayor probabilidad de respuesta. Los sitios con niveles mayores de 4 ppm presentan una baja probabilidad de respuesta respecto al rendimiento.

### 3. Rango y nivel de concentración crítica de fósforo.

En el Cuadro 16, se observa el rango de concentración crítica con cada metodología de extracción. Con la metodología de Carolina del Norte se encontró un rango de 23 a 28 ppm. Para la metodología de Olsen Modificado es 3 a 3.5 ppm.

En la Figura 5, se detalla el nivel crítico. Para la metodología de Carolina del Norte fue de 25 ppm, en tanto que para la metodología de Olsen Modificado fue de 3.45 ppm.

 Con aplicación de fósforo  
 sin aplicación de fósforo

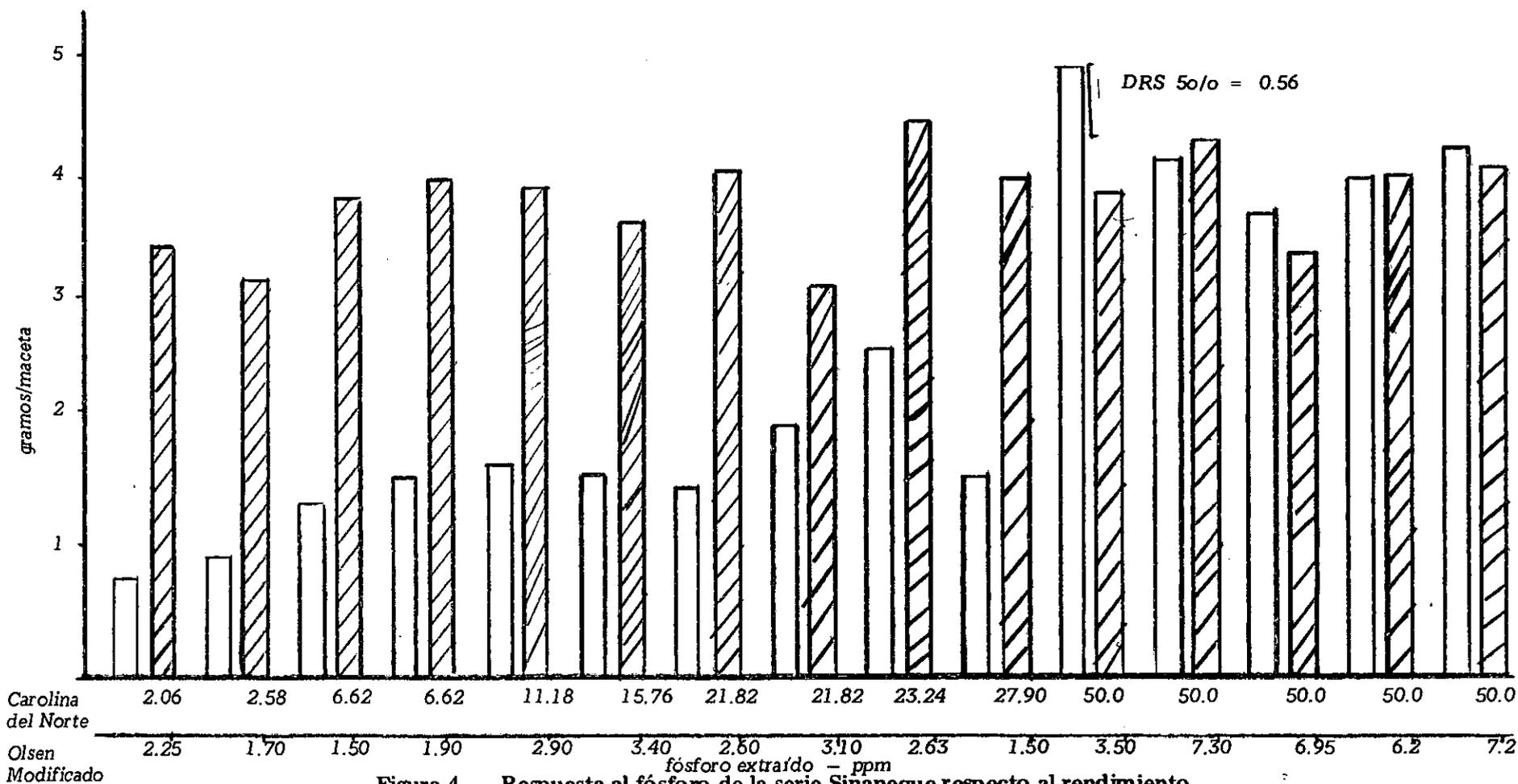


Figura 4. Respuesta al fósforo de la serie Sinaneque respecto al rendimiento.

Cuadro 16. Rango de concentración crítica para la serie Sinaneque, con cada metodología de extracción.

Metodología de extracción	Rango crítico P ppm
Carolina del Norte	23 - 28
Olsen Modificado	3 - 3.5

4. Fósforo extraído con cada solución extractora.

En el Cuadro 17, se presentan las concentraciones de fósforo que inicialmente se encontraron en la serie, extraídas con cada solución extractora, observándose diferencias en las cantidades extraídas con cada metodología.

Los valores de fósforo mayores corresponden a los sitios manejados intensivamente.

Cuadro 17. Fósforo extraído con las soluciones extractoras, en la serie Sinaneque.

Uso del sitio muestreado *	Carolina del Norte ppm	Olsen Modificado ppm	Rendimiento Relativo o/o
Maíz	50.00	3.50	100.00
Pepino	21.82	2.60	37.29
Pastos	21.82	3.10	65.14
Pastos	15.76	3.40	44.45
Pastos	6.62	1.50	36.73
Tomate	50.00	7.30	95.99
Sandía	11.18	2.90	43.24
Tomate	50.00	6.95	100.00
Maíz	23.34	2.63	59.31
Maíz	3.58	1.70	31.72
Tomate	6.62	1.90	37.81
Tomate	50.00	6.20	99.27
Tabaco	50.00	7.60	100.00
Pastos	27.90	1.50	40.00
Pastos	23.80	2.25	23.28

\* Uso al momento del muestreo.

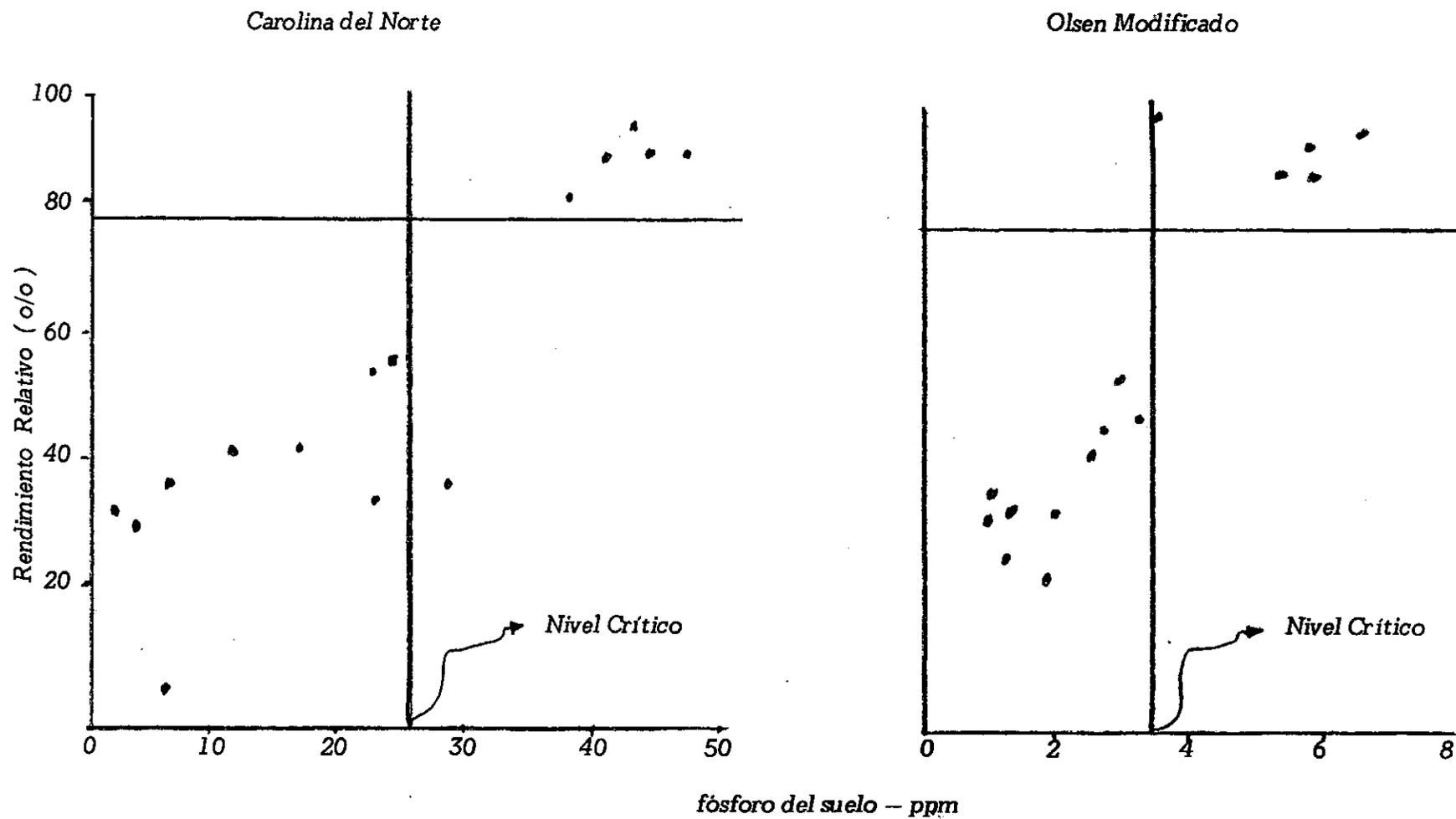


Figura 5. Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras Carolina del Norte y Olsen Modificado en la Serie Sinaneque

En el Cuadro 18, se muestra la clasificación de fertilidad en base al fósforo extraído con cada solución extractora. El criterio utilizado para la clasificación es la propuesta por Tisdale y Nelson (18).

Cuadro 18. Métodos de extracción y categorías de fertilidad, en la serie Sinaneque.

ppm de P		Nivel de fertilidad del suelo	Probabilidad de respuesta a la adición de fósforo (o/o)
Carolina del Norte	Modificado		
> 35	> 6	muy alta	0 - 15
25 - 35	4 - 6	alta	15 - 40
15 - 25	3 - 4	media	40 - 60
5 - 15	1 - 3	baja	60 - 85
0 - 5	0 - 1	muy baja	85 - 100

#### 5. Correlaciones.

En el Cuadro 19, se observan los coeficientes de correlación entre el rendimiento relativo y el fósforo extraído con las soluciones extractoras de Carolina del Norte y Olsen Modificado. La solución de Carolina del Norte presenta un coeficiente de correlación de 0.939, mayor en comparación a la de Olsen Modificado de 0.802.

Cuadro 19. Coeficientes de correlación entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en la serie Sinaneque.

Metodologías de extracción de fósforo	Rendimiento relativo
Carolina del Norte	0.939
Olsen Modificado	0.802

En el Cuadro 20, se observan los coeficientes de correlación entre el fósforo del suelo y el contenido de macronutrientes y biomasa de las plántulas. Se obtuvo una correlación negativa con respecto al nitrógeno y el potasio, en tanto que la correlación fue positiva para el fósforo, calcio, magnesio y biomasa.

En el Cuadro 20, se observan los coeficientes de correlación lineal entre las adiciones

de fósforo al suelo y los macronutrientes en la plántula. Los resultados muestran una correlación negativa con respecto al nitrógeno, fósforo, potasio y biomasa, en tanto que la correlación fue positiva para el calcio y el magnesio.

Cuadro 20. Coeficientes de correlación entre el fósforo adicionado al suelo y los macronutrientes en la plántula, en la serie Sinaneque.

Nutriente aplicado	Análisis de planta					Rendimiento
	N	P	K	Ca	Mg	
Sin P	-0.661	0.118	-0.346	0.052	0.406	0.944
Con P	-0.151	-0.146	-0.520	0.108	0.073	-0.115

## VII. CONCLUSIONES:

*Con base en los resultados y la discusión presentados en el capítulo anterior, pueden considerarse las siguientes conclusiones:*

- A. *Para la serie Tempisque, el rango de concentración y el nivel crítico de fósforo es el siguiente:*

*Con la metodología de Carolina del Norte, el rango de concentración es de 10 a 16 ppm y el nivel crítico es de 13 ppm.*

*Con la metodología de Olsen Modificado, el rango de concentración es de 2.80 a 4.0 ppm y el nivel crítico es de 3.4 ppm.*

- B. *Para la serie Sinaneque, el rango de concentración y el nivel crítico de fósforo es el siguiente:*

*Con la metodología de Carolina del Norte, el rango de concentración es de 23 a 28 ppm y el nivel crítico es de 25 ppm.*

*Con la metodología de Olsen Modificado, el rango de concentración es de 3 a 3.5 ppm y el nivel crítico es de 3.45 ppm.*

- C. *Las dos soluciones extractoras de fósforo presentan alto coeficiente de correlación; por lo tanto, se pueden utilizar cualesquiera de las dos, para las series estudiadas tomando en cuenta los niveles y rangos encontrados en dicho estudio.*

**VIII. RECOMENDACIONES:**

*De las conclusiones anteriores se puede recomendar lo siguiente:*

- A. *Hacer estudios a nivel de invernadero para afinar los resultados obtenidos en este trabajo, tomando en cuenta el fraccionamiento del fósforo presente en el suelo y la mineralogía del coloide argillico.*
- B. *Hacer estudios a nivel de campo tomando en cuenta los niveles y rangos de concentración crítica de fósforo encontrados en este trabajo orientados al uso racional de nutrientes en las series Tempisque y Sinaneque.*

IX. BIBLIOGRAFIA.

1. BALERDI, F. et al. Estudio del fósforo en suelos de América Central III; comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible. Turrialba (Costa Rica) 18(4): 348-460. 1968.
2. BIRREL, K. L. Some properties of volcanic ash soils. In F.A.O. Report No. 14 on meeting on classification and correlation of soils from volcanic ash. Tokyo, 1964. pp. 74-81.
3. CATE, R. B. Y NELSON, L. A. Un método rápido para correlación de análisis de suelo con ensayos de fertilizantes. Carolina del Norte, Universidad. Estación Experimental Agrícola, 1965. pp. 5-8. (Boletín Técnico, No. 1).
4. DIAZ, R. Y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATLE, 1978. 68 p.
5. DIAZ MOSCOSO, M. R. Comportamiento del fósforo, extraído con Carolina del Norte y Olsen Modificado en tres series de suelos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1984. 88 p.
6. FASSBENDER, H. W. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA, 1980. 398 p.
7. GALIANO, E. et al. Evaluación de varios métodos químicos para determinar el fósforo asimilable en suelos arroceros. Tecnología (Colombia) 7(34):28-42. 1964.
8. GONZALEZ SPILLARI, 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, 1970. 31 p.
9. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLAS. Unidad de riego la Fragua. Boletín Informativo (Guatemala) No. 2:1-48. 1982.
10. GUERRERO, R. El diagnóstico de la fertilidad. In Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Cali, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1979. pp. 141-193.

11. MALAVOLTA, E. *et al.* La nutrición mineral en algunas cosechas tropicales. Sao Paulo, Brasil, Universidad, Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1964. 163 p.
12. PALENCIA, J. A. Correlación para análisis de fósforo y potasio en suelo; programa de nutrición vegetal. Guatemala, ICTA, 1974. pp. 5-14.
13. . Caracterización de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de Centro América. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1969. 168 p.
14. SANCHEZ, P. A. Suelos del trópico: características y manejo. Trad. del Ingl. por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA, 1981. 660 p.
15. SIMMONS, CH. Y TARANO, J. H. Estudio y levantamiento de una carta agrológica de los suelos de la Fragua, Zacapa, Guatemala. Guatemala, ICTA, 1950. pp. 79-102.
16. STEEL, R. Y TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York, Mc Graw Hill, 1960. 481 p.
17. SWINDALE, L. D. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In Panel, sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. pp. B. 10.1-B.10.9.
18. TISDALE, S. L. Y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. del Ingl. por Jorge Balasch. México, UTEHA, 1982. 760 p.
19. WAUGH, D. L. Y FITTS, J. W. Estudios de interpretación de análisis de suelo: laboratorio. Carolina del Norte, Universidad, Estación Experimental Agrícola, 1966. 13 p. (Boletín Técnico, No. 3).

**X. ANEXOS.**

X. ANEXO.

⊗ Nivel de Fósforo evaluado.

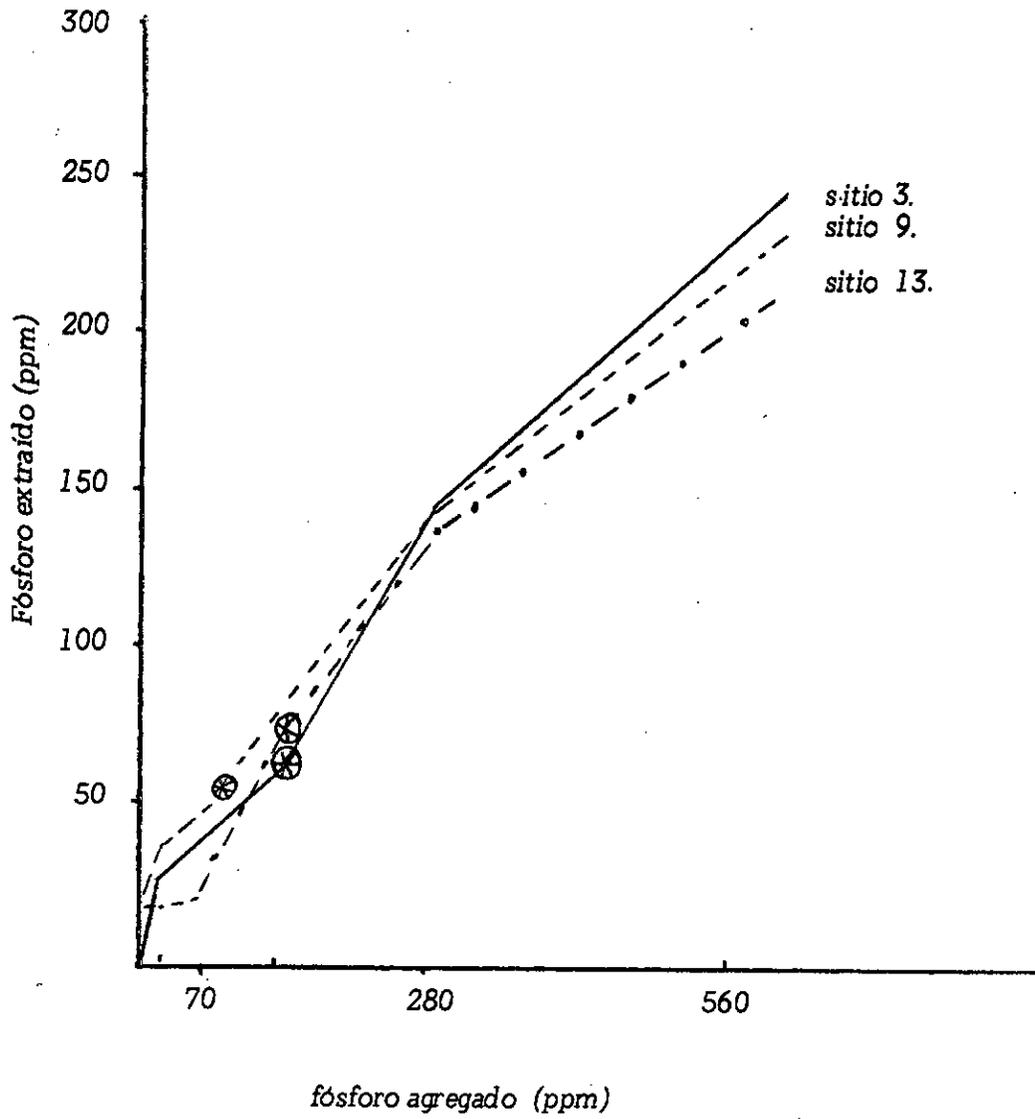


Figura 6. Curvas de sorción de fósforo, en tres sitios para la serie Tempisque.

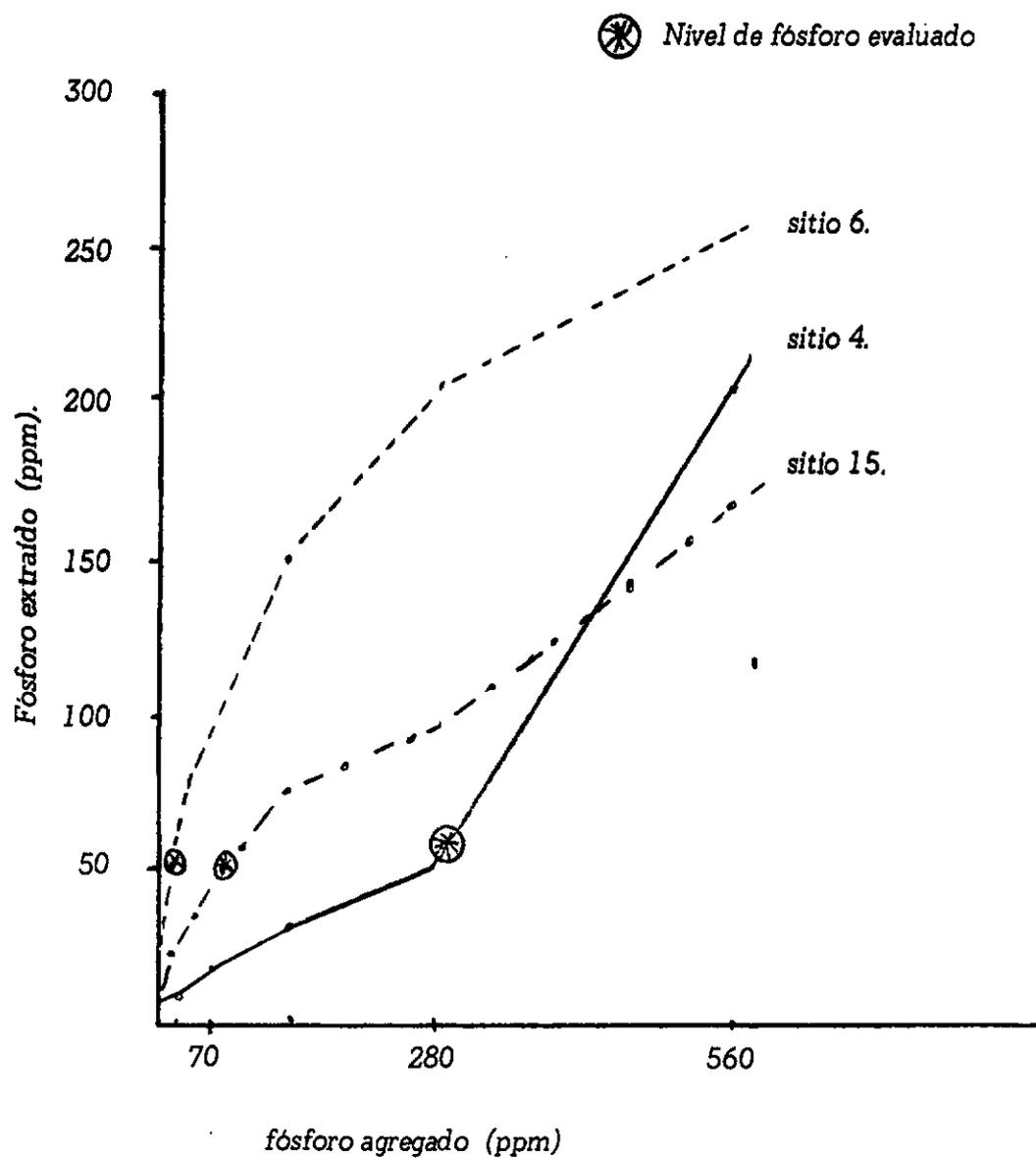


Figura 7. Curvas de sorción de fósforo, en tres sitios para la serie Sinaneque.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1845

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

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

"IMPRIMASE"

A large, stylized handwritten signature in black ink is written over a circular official seal. The seal 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