

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO EN
SUELOS DE LA SERIE CHICAJ, LA RRAGUA, ZACAPA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ciencias Agrícolas

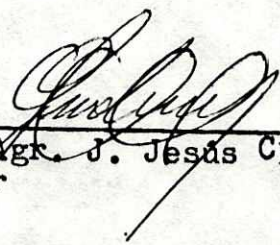
DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO EN
SUELOS DE LA SERIE CHICAJ, LA FRAGUA, ZACAPA

MARIA MARGARITA HURTARTE

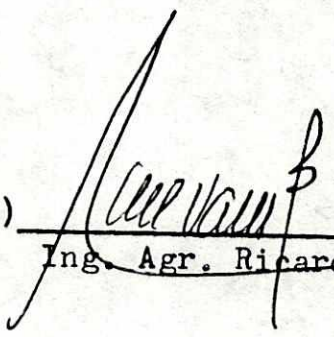
Trabajo de investigación presentado para optar
el título de Ingeniero Agrónomo en el grado de
Licenciado en Ciencias Agrícolas

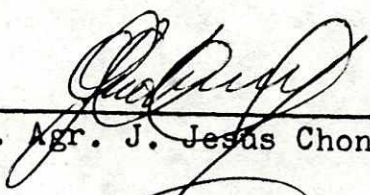
Guatemala
1984

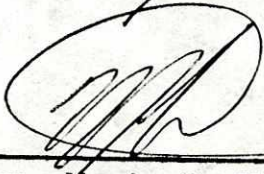
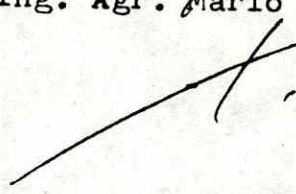
Vo. Bo.

(f) 
Ing. Agr. J. Jesús Chonay (Ms. Sc.)
Asesor

Tribunal

(f) 
Ing. Agr. Ricardo del Valle (Ms. Sc.)

(f) 
Ing. Agr. J. Jesús Chonay (Ms. Sc.)

(f) 
Ing. Agr. Mario R. Vela (Ms.Sc.)


Fecha de aprobación: 24 de agosto de 1984

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
A. Fijación de fósforo	3
B. Metodologías de extracción de fósforo	3
C. Nivel crítico	5
III. MATERIALES Y METODOS	8
A. Características del sitio experimental	8
B. Características del material experimental	8
1. Serie de suelos Chicaj	8
a. Perfil del suelo	
b. Variaciones	
c. Características físicas y químicas	
2. Sorgo	12
C. Caracterización de la serie	12
D. Extracción de fósforo	13
1. Método Olsen modificado	13
2. Método Carolina del Norte	13
E. Factores a evaluar :	14
F. Metodología experimental	14
1. Diseño de los tratamientos y del experimento	14
2. Manejo del experimento	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	17
A. Características físicas y químicas de la serie Chicaj	17
B. Determinación del nivel crítico	21
1. Materia seca expresada en gramos por maceta	21
2. Nivel crítico	23

	Página
C. Categorias de fertilidad	29
D. Còntenido de macronutrientes en la planta	29
V. CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFIA	41

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Metodologías de análisis de fósforo y su habilidad para extraer diversas fracciones de fósforo.	4
2	Características físicas de la serie Chicaj en la Fragua, Zacapa.	10
3	Características químicas de la serie Chicaj en la Fragua, Zacapa.	11
4	Características físicas de los suelos según los sitios de muestreo.	18
5	Características químicas de los suelos según los sitios de muestreo.	19
6	Fósforo extraído por las dos metodologías propuestas.	20
7	Análisis de varianza para rendimientos de materia seca por sitios de muestreo y niveles de fósforo.	22
8	Comparación de medias por el método Tuckey para materia seca en gramos por maceta, en función del fósforo extraído.	24
9	Comparación de medias por el método Tuckey para materia seca en gramos por maceta, en función del fósforo aplicado al suelo.	25
10	Correlación de las metodologías de extracción de fósforo y el rendimiento en gramos por maceta.	26
11	Categorías de fertilidad según el método de extracción Carolina del Norte.	30
12	Categorías de fertilidad según el método de extracción Olsen modificado.	30

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Esquema de la forma en que varían la concentración de nutrientes y el rendimiento con niveles de nutriente adicionado.	6
2	Curva de calibración de concentración de nutriente y el crecimiento relativo.	7
3	Curvas de fijación para la serie Chicaj según los métodos de extracción Carolina del Norte y Olsen modificado.	16
4	Nivel crítico de fósforo según el método de extracción Carolina del Norte para la serie de suelos Chicaj.	27
5	Nivel crítico de fósforo según el método de extracción Olsen modificado para la serie de suelos Chicaj.	28
6	Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 2 a 4 ppm de fósforo extraído por el método Carolina del Norte, y dosis crecientes aplicadas al suelo.	32
7	Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 4 a 9 ppm de fósforo extraído por el método Carolina del Norte, y dosis crecientes aplicadas al suelo.	33
8	Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 9 a 14 ppm de fósforo extraído por el método Carolina del Norte, y dosis crecientes aplicadas al suelo.	34
9	Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 14 a 23 ppm de fósforo extraído por el método Carolina del Norte y dosis crecientes aplicadas al suelo.	35
10	Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 0.4 a 1.0 ppm de fósforo extraído por el método Olsen modificado y dosis crecientes aplicadas al suelo.	36

Figura		Página
11	Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 1.0 a 2.0 ppm de fósforo extraído por el método Olsen modificado, y dosis crecientes aplicadas al suelo.	37
12	Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 2.0 a 2.6 ppm de fósforo extraído por el método Olsen modificado, y dosis crecientes aplicadas al suelo.	38
13	Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 2.6 a 3.0 ppm de fósforo extraído por el método Olsen modificado, y dosis crecientes aplicadas al suelo.	39

RESUMEN

Muchos suelos de Guatemala son deficientes en fósforo, por lo que es necesario hacer estudios para evaluar su fertilidad. Existen varias metodologías para la extracción del fósforo. En el presente estudio se han utilizado la de ácidos fuertes diluidos, ácido sulfúrico 0.025N ácido clorhídrico 0.05N, conocida como Carolina del Norte y la de base débil, bicarbonato de sodio 0.5M, del método Olsen modificado.

El objetivo de este trabajo fue distinguir la mejor metodología de extracción de fósforo, y determinar su nivel crítico para suelos de la serie Chicaj. Para darle respuesta a este objetivo, se midieron las siguientes características: fósforo extraído con cada una de las metodologías emleadadas, materia seca expresada en rendimiento relativo y contenido de macronutrientes en la planta.

Las muestras de suelo analizadas provienen del Valle de la Fragua, Zacapa. Según Simmons, Tárano y Pinto (11) se clasifican dentro de la serie Chicaj. Son de color gris osouro, con un pH 6.4 a 7.5. Son de textura arcillosa y franco-arcillosa.

La metodología de los ácidos fuertes diluidos extrae mayor cantidad de fósforo que el de bicarbonato de sodio. El nivel crítico obtenido con ácidos fuertes diluidos es 13.5 partes por millón (ppm) y con bicarbonato de sodio es 2.5ppm.

El contenido de fósforo y potasio foliar varía con la a-

plicación de dosis crecientes de fósforo al suelo. El calcio y el magnesio no varían.

I. INTRODUCCION

Una de las etapas importantes previas al establecimiento de un cultivo es evaluar la fertilidad del suelo. Esta se hace con el objeto de decidir recomendaciones sobre la aplicación y el manejo racional de los fertilizantes.

El fósforo ha sido uno de los elementos más estudiados desde el punto de vista de la fertilidad. Se encuentra en el suelo en forma orgánica e inorgánica. Su estado depende de factores físicos, químicos y biológicos.

En Guatemala existen suelos deficientes en fósforo, por lo que es necesaria la realización de estudios sobre su -- disponibilidad, fijación e inmovilización.

Para el presente estudio se seleccionó la serie de suelos Chicaj, localizada en el valle de la Fragua, Zacapa y en Jutiapa. Estos suelos ocupan un area total de 5,830 -- hectáreas.

Las metodologías de extracción empleadas para el estudio son:

- A. El método Carolina del Norte usando ácido sulfúrico - 0.025N y ácido clorhídrico 0.05N. Este método actualmente es utilizado por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas de Guatemala;
- B. Método de Olsen modificado, donde se utiliza bicarbonato de sodio 0.5M.

Los objetivos de este trabajo son:

- A. Determinar la metodología de extracción de fósforo más conveniente para la serie de suelos Chicaj del valle de la Fragua, Lacapa.
- B. Determinar el nivel crítico de fósforo utilizando las dos metodologías de extracción, bajo condiciones de invernadero.
- C. Evaluar el contenido de macronutrientes en la planta, bajo diferentes niveles de fósforo aplicado al suelo.

Para darle respuesta a los objetivos, se plantearon las siguientes hipótesis:

- A. Las dos metodologías de extracción de fósforo son igualmente eficientes para la extracción de fósforo en la serie de suelos evaluada.
- B. El nivel crítico de fósforo determinado es idéntico para las dos metodologías de extracción.
- C. La dosis de fósforo aplicado al suelo es independiente del contenido de macronutrientes en la planta.

II. REVISION DE LITERATURA

A. Fijación de fósforo

Tisdale y Nelson (12) definen el fósforo fijado en el suelo como la porción no extractable con ácidos diluidos y no disponible para las plantas.

Según Sánchez (10) el proceso de fijación de fósforo altera su disponibilidad. El fenómeno consiste en la transformación de fosfatos monocálcicos solubles en fosfatos de calcio menos solubles, en suelos con reacción alcalina débil. Mientras que en suelos ácidos los productos de fijación son fosfatos complejos de hierro y aluminio.

B. Metodologías de extracción de fósforo

Durante los últimos años, en América Latina se ha enfatizado en los programas de análisis químicos de suelos. Se ha encontrado en muchas áreas agrícolas tropicales el fósforo como factor limitante de la fertilidad.

Para la extracción de fósforo se utilizan soluciones a base de: ácidos fuertes, ácidos débiles, sales neutras, bases, soluciones amortiguadoras y agua. Cada una de estas soluciones extrae diferentes cantidades de fósforo.

Sobre el particular, el Cuadro 1 muestra los métodos, las soluciones extractoras más utilizadas y las fracciones extraídas con mayor eficiencia.

Cuadro 1. Metodologías de análisis de fósforo y su habilidad para extraer diversas fracciones de fósforo. Fuente: Sánchez (10)

METODO	SOLUCION EXTRACTORA	FRACCIONES EXTRAIDAS CON MAS EFICIENCIA
Olsen	NaHCO ₃ 0.5M a pH 8.5	fosfatos de hierro
Troug	H ₂ SO ₄ 0.002N a pH 3.0	fosfatos de calcio
Carolina del Norte	H ₂ SO ₄ 0.025N + HCl 0.05N	fosfatos de calcio y aluminio
HCl	HCl 0.3N	fosfatos de calcio y aluminio
Bray I	HN ₄ F 0.03N + HCl 0.025N	fosfatos de calcio y aluminio
Bray II	HN ₄ F 0.3N + HCl 0.10N	fosfatos de calcio y aluminio
Schoefield	CaCl ₂ 0.01M	
Morgan	NaOAc + HOAc	fosfatos de calcio
EDTA	Na ₂ -EDTA 0.02N	fosfatos de calcio y aluminio
Egner-Riehm	lactato de calcio 0.2N a pH 3.8	

C. Nivel crítico

Salinas y Sánchez (9) definen el nivel crítico como una concentración de nutriente que puede ser extraída del suelo y afecta positivamente el rendimiento máximo estable. A un nivel menor, la producción y la calidad del cultivo declinan significativamente.

Este criterio indica un simple punto en la curva de rendimiento; como se muestra en la figura 1.

Urlich (13) lo define como la concentración del nutriente en la planta bajo la cual la velocidad de crecimiento, el rendimiento o la calidad declinan significativamente. Lo establece en el punto donde el rendimiento o el crecimiento se reducen en un 10%, como se observa en la figura 2.

El nivel crítico de los nutrientes para las distintas especies de plantas se determina con base a pruebas de invernadero y de campo. Los resultados de estos ensayos o la cantidad de elemento extraída por las plantas se correlacionan con la concentración del nutriente en el suelo.

El nivel crítico se determina por dos métodos: el gráfico y el matemático. Estos métodos fueron propuestos por Cate y Nelson.

Para el procedimiento gráfico, en el eje de las ordenadas se localiza el rendimiento relativo, y en el eje de las abscisas los datos de los análisis de suelos. Esta figura divide la población en dos categorías e identifica el nivel crítico para el nutriente.

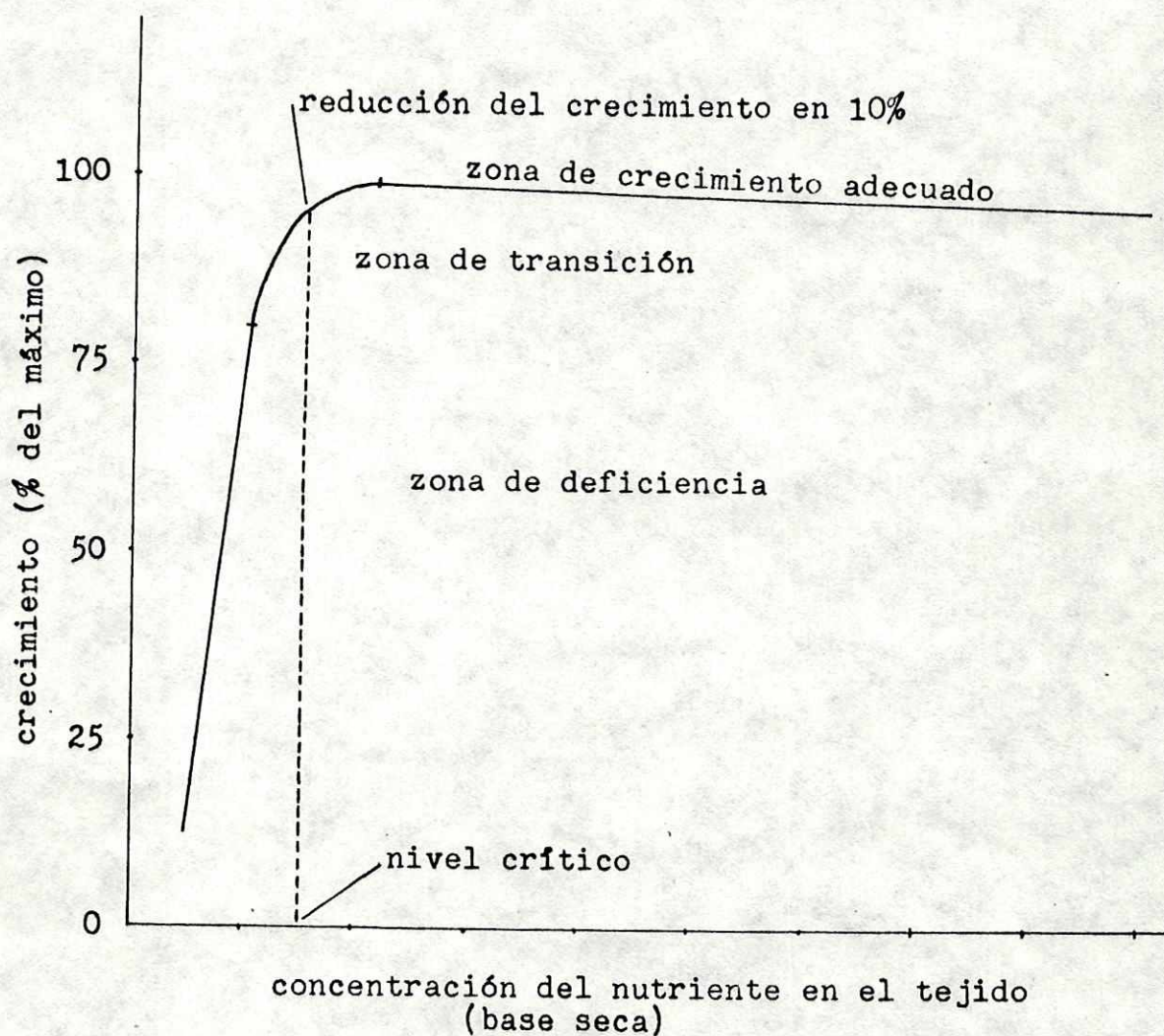


Fig. 2. Curva de calibración de concentración de nutriente y el crecimiento relativo. Fuente: Urlich (14)

III. MATERIALES Y METODOS

A. Características del sitio experimental

El trabajo de laboratorio y la prueba en invernadero se realizaron en la Universidad del Valle de Guatemala.

Las muestras de suelos fueron colectadas en quince distintos sitios del valle de la Fragua, Zacapa. Según la estación meteorológica La Fragua situada a $14^{\circ}57'51''$ latitud norte y $87^{\circ}35'04''$ longitud oeste y a 210 metros sobre el nivel del mar, la precipitación media anual es de 720 milímetros en 84 días. La temperatura promedio máxima es 34.2°C y la mínima 21.1°C . La humedad relativa es de 66%.

B. Características del material experimental

1. Serie de suelos Chicaj

Simmons, Tárano y Pinto (11) mencionan las siguientes características para la serie: poco profundos, mal drenados, desarrollados en clima seco, sobre ceniza volcánica cementada de grano fino.

La topografía del área donde se localizan es casi plana, con una pendiente del 2%. Estos suelos están asociados con las series Chirrum y Tempisque. Se distinguen fácilmente porque son grises, mientras los otros son de color pardo o pardo grisáceo.

Pertenecen a los suelos conocidos como vertisoles.

a. Perfil del suelo

El suelo superficial, a una profundidad de 20 centímetros, es arcilla plástica de color gris muy oscuro. Cuando está seco es muy duro y se forman grietas anchas y profundas. La estructura es cúbica gruesa desarrollada. La reacción es neutra.

A una profundidad de 50 centímetros las arcillas son extremadamente plásticas de color gris muy oscuro a negro. La reacción es de neutra a debilmente alcalina. En muchos lugares se encuentran unos nódulos o venas de cal segregada en la parte inferior de esta capa.

El substrato es ceniza volcánica cementada y blanca, de grano fino. La mayor parte está estratificada y parece haber sido depositada en agua.

b. Variaciones

En algunos lugares se encuentra una capa delgada, tres o cuatro centímetros de espesor de arcilla arenosa. En algunas áreas el suelo superficial es de un gris más claro que el suelo profundo.

En áreas donde el suelo es de color oscuro, la profundidad varía de 30 a 75 centímetros. En algunos sitios el material se ha mezclado con otro que no es ceniza volcánica. Esto ha producido pequeñas venas de material franco arenoso micáceo fino en el suelo.

c. Características físicas y químicas

En los cuadros 2 y 3 se presentan las características físicas y químicas de la serie.

Cuadro 2. Características físicas de la serie Chicaj en la Fragua, Zacapa. Fuente: Simmons, Tárano y Pinto (11)

Material madre		Ceniza volcánica cementada de color claro
Relieve		Casi plano
Permeabilidad		muy lenta
Suelo superficial	Color	Gris muy oscuro
	Textura y Consistencia	Arcilla, plástica
	Espesor aproximado	25 a 50 centímetros

Cuadro 3. Características químicas de la serie Chicaj en la Fragua, Zacapa. Fuente: Simmons, Tárano y Pinto (11)

N° de horizonte	1	2	3	4	
Límites del horizonte (cm)	0-25	25-55	55-75	75-90	
pH	7.8	8.2	8.5	9.2	
HE (%)	34.2	38.7	44.8	13.6	
Nitrógeno (%)	0.06	0.06	0.05	0.02	
Carbono orgánico (%)	0.5	0.5	0.5	0.1	
Materia orgánica total (%)	0.86	0.86	0.86	0.17	
Cationes intercambiables ME/100gr.	Capacidad total de Intercambio	30.14	32.71	32.65	13.84
	Calcio	28.07	27.45	33.06	15.22
	Magnesio	7.30	6.89	7.20	4.63
	Sodio	0.75	1.26	2.79	3.44
	Potasio	0.51	0.00	0.56	0.00
	Saturación de Bases	121.53	108.83	133.57	168.28
Manganeso (ppm)	15.0	21.0	11.0	40.0	
Hierro (ppm)	2.0	1.0	2.0	5.0	
Fósforo (ppm)	24.0	20.0	32.0	23.0	

2. Sorgo

Como planta indicadora se utilizó el sorgo cuyo nombre científico es Sorghum vulgare y pertenece a la familia de las gramíneas.

Sus características botánicas son: posee tallos erectos, macizos desde 0.60 a 2.50 metros de altura. En cada yema lateral se encuentra un nudo, en lados opuestos unos con otros. Los nudos llevan acanaladuras alternadas de un lado a otro, junto con las yemas laterales y las hojas.

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

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

El sorgo es una de las plantas utilizadas como indicadora en estudios de fertilidad del suelo. Es muy sensible a distintos niveles de nutrientes.

En este estudio se utilizó la variedad Guatecau. Produce grano blanco y se adapta a una altura de 1 a 1200 metros sobre el nivel del mar.

C. Caracterización de la serie

Las muestras de suelo fueron tomadas en quince puntos dentro del área de la serie Chicaj en el valle de la Fragua. Se recolectaron 15 kilogramos en cada sitio, a una profundidad de 0 a 15 centímetros.

Cada una de las muestras se identificó, secó y tamizó para determinar las siguientes características: la textura por medio del método del hidrómetro de Bouyoucos (2), el color húmedo según la escala Munsell.

La materia orgánica se determinó por medio del método de la combustión húmeda de Walkley y Black. Las bases intercambiables extraídas con acetato de amonio 1N a pH 7.0; y leídos en el espectrofotómetro. La capacidad de intercambio catiónico por titulación con ácido sulfúrico (6). El pH con el potenciómetro, utilizando una relación 1:2.5 de suelo-agua (2). Las sales solubles fueron medidas con la celda de conductividad.

D. Extracción de fósforo

1. Método de Olsen modificado

Este método utiliza como solución extractora el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) a una concentración 0.5M. Es una solución moderadamente alcalina, a pH 8.5. (6).

Este método correlaciona bien para suelo con amplio rango de pH; desde suelos ácidos hasta alcalinos. Además, su capacidad de extracción es eficiente para suelos con media a alta capacidad de intercambio catiónico; y alto porcentaje de saturación de bases (13).

2. Método de Carolina del Norte

Este método también se conoce como Mehlich o de los ácidos fuertes diluidos. Es una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido clorhídrico (HCl) a concentraciones de 0.025N

y 0.05N respectivamente (6).

Se utiliza para suelos con pH menor de 6.5, capacidad de intercambio catiónico bajo y bajas cantidades de fosfatos de calcio y carbonato de calcio (13).

E. Factores a evaluar

Los factores evaluados en el presente estudio fueron:

1. El efecto de los distintos niveles de fósforo respecto al rendimiento de materia seca de sorgo.
2. La concentración de nutrientes en la planta.

F. Metodología experimental

1. Diseño de los tratamientos y del experimento

Para evaluar el efecto de los factores en estudio, se sometieron a comparación mediante un diseño experimental completamente al azar, 60 tratamientos repetidos cada uno 3 veces. Los tratamientos se determinaron en base a las curvas de fijación presentadas en la figura 3.

Como unidad experimental se utilizaron macetas de polietileno de un litro de capacidad, con un kilogramo de suelo.

2. Manejo del experimento

Antes de la siembra del sorgo se aplicó en las unidades experimentales, 100ppm de nitrógeno en forma de urea (46% de N) y 130ppm de potasio, utilizando sulfato de potasio.

Con base a las curvas de fijación se aplicaron 40, 80 y 120 ppm de fósforo para cada muestra de suelo. La fuente de fósforo utilizada fue el triple superfosfato (46% de P_2O_5).

En cada maceta se sembraron quince semillas de sorgo. A los siete días de germinadas se realizó un entresaque para dejar diez plantas por maceta.

El riego se hizo con agua destilada.

A los 34 días de la siembra se procedió al corte de las plantas para evaluar el peso de la materia seca y su contenido de macronutrientes.

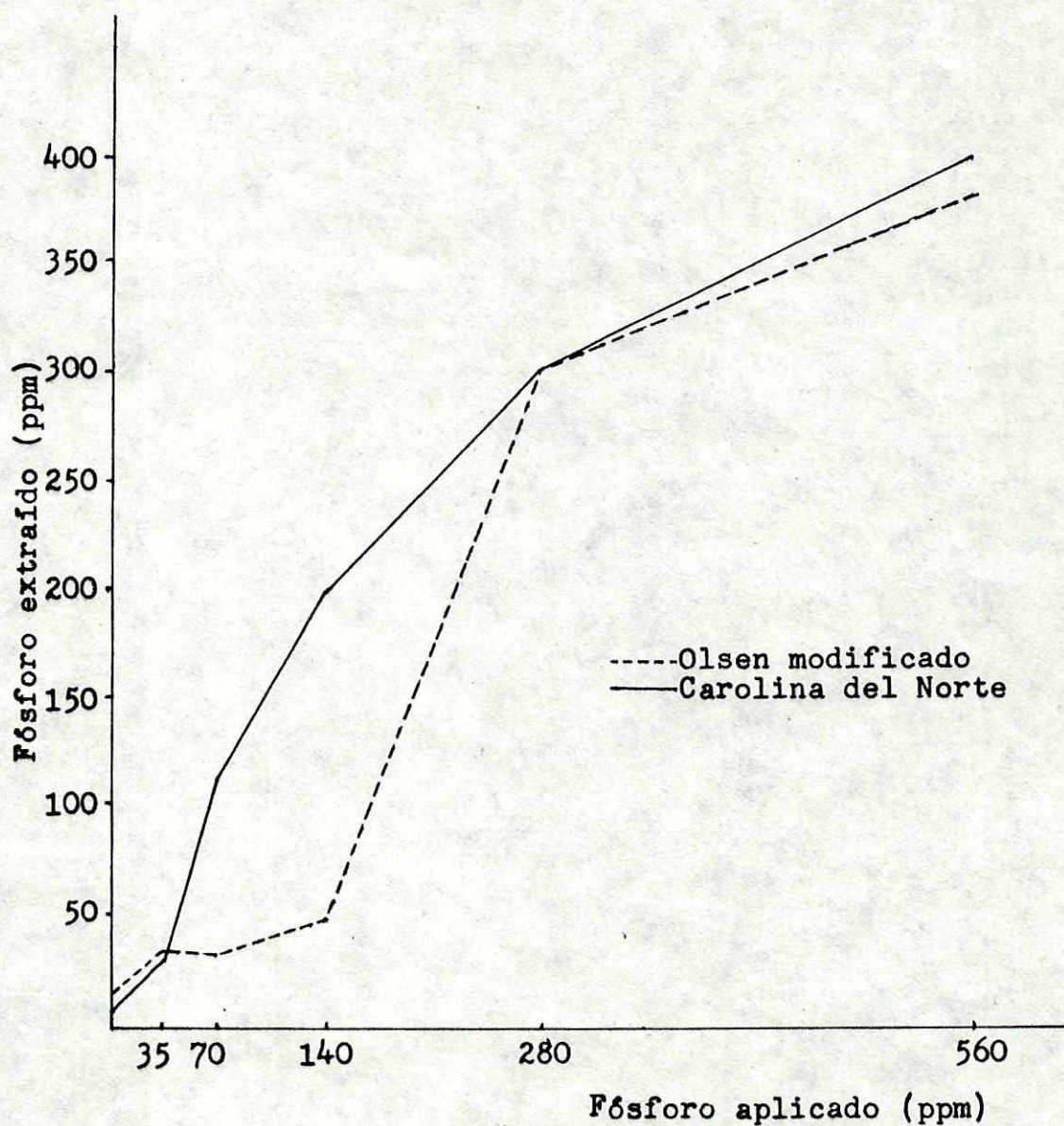


Fig.3. Curvas de fijación para la serie Chicaj según los métodos de extracción Carolina del Norte y Olsen modificado.
Fuente: Diaz M.(1)

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

La discusión de los resultados de esta investigación se presentaran en varias etapas para darle respuesta a los objetivos e hipótesis planteadas.

- A. Caracterización física y química de la serie Chicaj
- B. Determinación del nivel crítico de fósforo
- C. Categorías de macronutrientes en la planta
- D. Contenido de macronutrientes en la planta

A. Caracterización física y química de la serie Chicaj

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos realizados en el laboratorio, de los sitios de la serie de suelos en estudio. La textura arcillosa y franco arcillosa coincide con lo detallado por Simmons, Tárano y Pinto (11), como se observa en el Cuadro 2.

En el Cuadro 2 anterior, respecto al color de los suelos de la serie Chicaj es gris muy oscuro. Según la escala de Munsell los colores de las muestras analizadas corresponde a pardo oscuro, pardo muy oscuro y pardo gris muy oscuro.

El porcentaje de materia orgánica reportado por Simmons, Tárano y Pinto (11) es de 0.86%, como se observa en el Cuadro 3 anterior. El obtenido en el análisis fue de 1.35%, como promedio. El contenido de materia orgánica se considera bajo. Las variaciones de porcentajes de materia orgá

Cuadro 4. Características físicas de los suelos según los sitios de muestreo.

SITIO	ARCILLA %	LIMO %	ARENA %	TEXTURA	ESCALA MUNSELL	COLOR HUMEDO
1	41.45	30.83	27.72	arcillosa	10YR3/2	pardo oscuro
2	41.47	18.83	39.69	arcillosa	10YR3/2	pardo oscuro
3	41.45	20.82	37.73	arcillosa	10YR3/2	pardo oscuro
4	45.48	22.84	31.68	arcillosa	10YR3/2	pardo oscuro
5	33.46	22.84	43.70	franco arcillosa	10YR2/2	pardo muy oscuro
6	42.25	23.43	34.32	arcillosa	10YR3/2	pardo oscuro
7	61.82	14.80	23.38	arcillosa	10YR3/2	pardo oscuro
8	38.41	23.34	38.25	franco arcillosa	10YR3/3	pardo gris muy oscuro
9	50.15	21.53	28.32	arcillosa	10YR2/2	pardo muy oscuro
10	56.55	18.24	25.21	arcillosa	10YR2/2	pardo muy oscuro
11	30.23	33.03	36.74	franco arcillosa	10YR2/2	pardo muy oscuro
12	46.04	18.21	35.75	arcillosa	10YR2/2	pardo muy oscuro
13	51.44	26.82	21.74	arcillosa	10YR3/2	pardo oscuro
14	38.44	25.82	35.74	franco arcillosa	10YR3/2	pardo oscuro
15	45.04	15.22	39.74	arcillosa	10YR2/2	pardo muy oscuro

Cuadro 5. Características químicas de los suelos según los sitios de muestreo.

SITIO	% MATERIA ORG.	PH	CATIONES INTERCAMBIABLES meq/100gr				SODIO	% SAT. BASES	ppm SALES
			CIC b/	CALCIO	MAGNESIO	POTASIO			
1	2.12	6.7	32.89	28.69	5.76	0.97	0.44	109.03	39.68
2	1.76	7.5	30.16	21.83	8.96	0.72	0.66	106.66	292.78
3	0.75	6.8	33.65	23.95	5.84	1.53	0.66	95.05	67.84
4	2.04	7.0	37.59	27.44	7.81	1.36	0.80	99.52	81.92
5	1.59	6.7	23.04	17.22	4.52	2.30	0.55	106.72	109.44
6	0.92	7.2	14.09	11.98	3.29	1.24	0.36	119.73	68.48
7	0.58	6.4	16.52	15.72	4.28	0.72	0.80	130.03	103.68
8	0.87	6.5	10.31	6.98	1.97	0.78	0.53	99.52	76.16
9	2.55	6.8	21.67	12.23	3.04	0.66	0.29	74.85	104.32
10	1.65	7.3	31.22	13.97	5.09	2.23	1.36	72.55	52.35
11	0.73	7.1	17.43	10.73	3.37	0.78	0.29	87.03	41.60
12	0.76	7.2	20.92	22.45	4.93	0.42	1.34	139.29	65.28
13	1.57	7.5	38.55	29.44	7.49	0.92	1.63	102.15	78.08
14	0.82	7.0	18.49	10.48	2.96	1.41	1.30	87.34	24.32
15	1.52	7.2	33.34	31.69	6.25	0.89	0.53	118.06	51.26
promedio	1.35	6.9	25.33	18.98	5.04	1.13	0.86	103.17	83.81

a/ miliequivalentes por 100 gramos

b/ Capacidad de Intercambio Catiónico

Cuadro 6. Fósforo extraído por las dos metodologías propuestas.

SITIO	CAROLINA DEL NORTE ppm	OLSEN MODIFICADO ppm
1	17,6	1.0
2	8.8	1.0
3	23.4	2.6
4	12.6	0.4
5	21.6	2.6
6	3.8	2.6
7	15.0	2.8
8	2.0	1.0
9	14.0	2.6
10	17.8	2.6
11	14.0	3.0
12	3.6	0.4
13	23.4	2.6
14	2.0	1.8
15	8.8	1.4

nica entre los sitios muestreados se deben al manejo del suelo.

El pH del suelo de los sitios muestreados varía entre los valores de 6.4 a 7.5. Estos son menores a los reportados por Simmons, Tárano y Pinto (11), en el Cuadro 3.

La capacidad de intercambio catiónico reportada por los autores mencionados, Cuadro 3, es 30.14 meq/100 gr; en cambio en el presente trabajo se obtuvo un promedio de 25.33 meq/100 gr.

Las bases intercambiables, calcio, magnesio, sodio y potasio, se encontraron en cantidades adecuadas en todas las muestras. Simmons, Tárano y Pinto (11) reportan cantidades semejantes, como se muestra en los Cuadros 3 y 5.

El porcentaje de saturación de bases para la mayoría de las muestras fue mayor del 80%, pero dos muestras reportan un porcentaje menor.

Para fósforo con la metodología de extracción de Carolina del Norte, se encontraron valores en algunos sitios del Cuadro 6, semejantes a los presentados por Simmons, Tárano y Pinto (11) en el Cuadro 3 anterior. Y con la metodología Olsen modificado se encontró el fósforo en concentraciones menores.

B. Determinación del nivel crítico

1. Materia seca expresada en gramos por maceta

En el Cuadro 7 se muestra el análisis de varianza del peso seco del sorgo expresado en gramos por maceta. Se puede observar la diferencia estadísticamente significativa entre

Cuadro 7. Análisis de varianza para rendimientos de materia seca por sitios de muestreo y niveles de fósforo aplicados al suelo.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F	F _{0.01}
Sitios de muestreo	14	2.513	10.65**	2.24
Niveles de fósforo	3	8.763	37.13**	3.95
Interacción	42	0.844	3.57**	1.76
Error	120	0.236		
Total	179	0.699		

C.V. = 18.71%

** significancia al 1% de probabilidad

los sitios de muestreo, y los niveles de fósforo aplicados.

La separación de medias por el método de Tuckey se presentan en el Cuadro 8, para los 15 sitios de muestreo. El mayor rendimiento de materia seca fue de 3.45 gramos por maceta. Este rendimiento corresponde a 23.4 ppm de fósforo extraído con la metodología de Carolina del Norte, y 2.6 ppm de fósforo con el método de Olsen modificado.

El rendimiento menor fue de 1.86 gramos de materia seca por maceta. El contenido de fósforo para este sitio correspondió a 2ppm extraído con el método de Carolina del Norte y 1 ppm con el Olsen modificado.

La diferencia entre el rendimiento promedio máximo y el mínimo fue 1.59 gramos de materia seca por maceta.

Las medias de materia seca por efecto de los niveles de fósforo aplicados al suelo se presentan en el Cuadro 9. La aplicación de fósforo al suelo afecta significativamente el rendimiento de sorgo, en suelos de la serie Chicaj.

En el Cuadro 10 se puede observar que en este trabajo correlacionó en mejor forma el método de extracción de Carolina del Norte.

2. Nivel crítico

Utilizando la figura 4 se determinó el nivel crítico de fósforo para la serie Chicaj con la metodología de Carolina del Norte, siendo dicho valor de 13.5 ppm.

Con la metodología de Olsen modificado, con base en la figura 5, el nivel crítico fue de 2.5 ppm de fósforo.

Cuadro 8. Comparación de medias por el método de Tuckey para materia seca en gramos por maceta, en función del fósforo extraído.

OLSEN MODIFICADO (ppm)	CAROLINA DEL NORTE (ppm)	RENDIMIENTO PROMEDIO (gramos)	SIGNIFICANCIA	
2.6	23.4	3.45	a	
2.6	21.6	3.27	a	
0.4	12.6	3.03	a	
2.8	15.0	2.95	a	
1.0	17.6	2.78	a	
2.6	17.8	2.77	a	
3.0	14.0	2.76	a	
1.4	8.8	2.68	a	b
2.6	3.8	2.38	a	b
2.6	23.4	2.37		b
1.0	8.8	2.22		b
2.6	14.0	2.21		b
0.4	3.6	2.19		b
1.8	2.0	2.13		b
1.0	2.0	1.86	b	c

DSH = 0.69 gramos con un $\alpha = 0.05$

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad de cometer error tipo I.

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Cuadro 9. Comparación de medias por el método de Tuckey para materia seca en gramos por maceta, en función del fósforo aplicado al suelo.

FOSFORO APLICADO AL SUELO (ppm)	RENDIMIENTO PROMEDIO (gramos)	SIGNIFICANCIA
80	2.89	a
120	2.83	a
40	2.75	a
0	1.95	b

DSH = 0.27 gramos con un $\alpha = 0.05$
Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad de cometer error tipo I.

Cuadro 10. Correlación de las metodologías de extracción de fósforo y el rendimiento en gramos de materia seca por maceta.

METODOLOGIA DE EXTRACCION DE FOSFORO	COEFICIENTE DE CORRELACION
CAROLINA DEL NORTE	0.906
OLSEN MODIFICADO	0.851

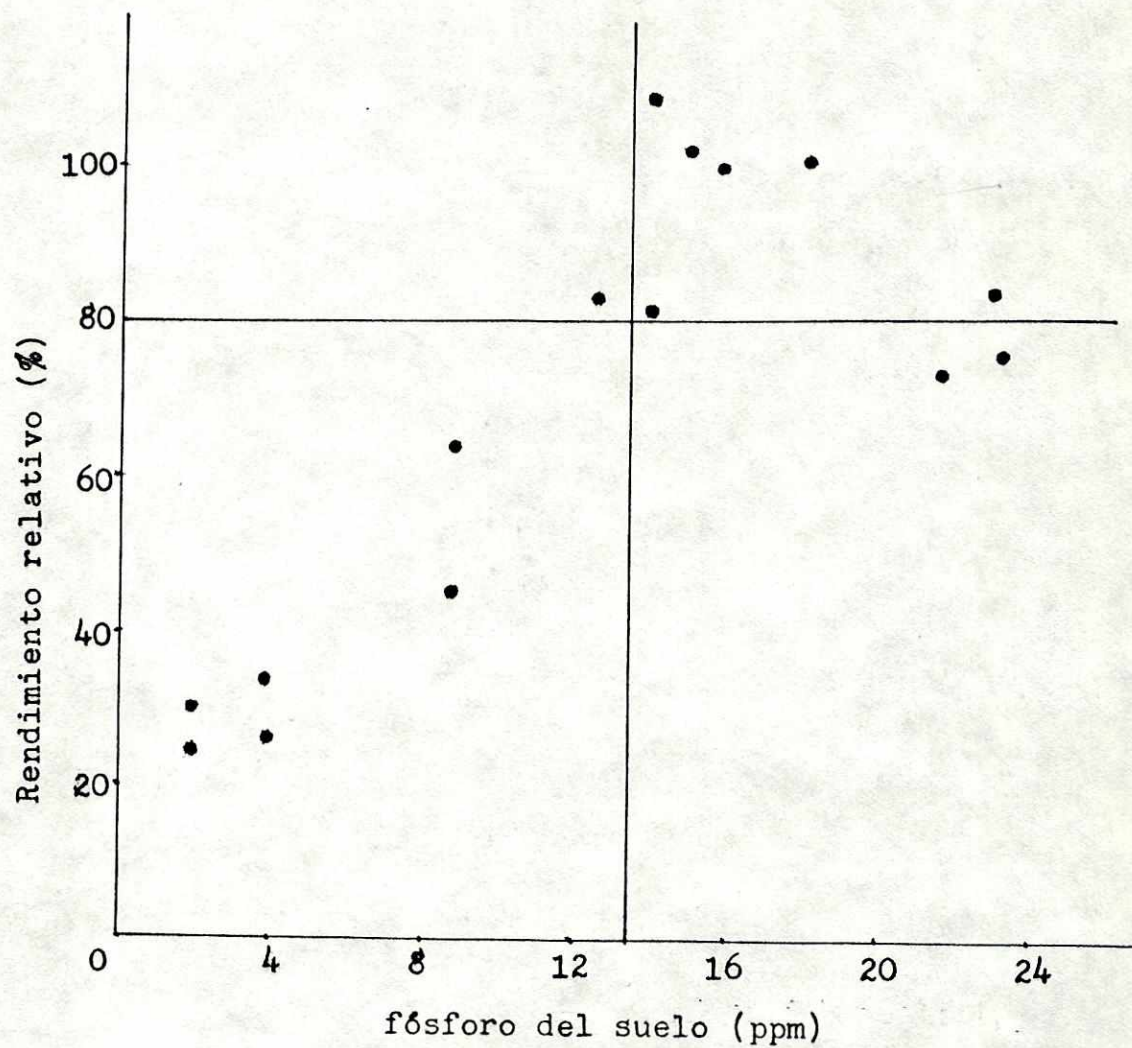


Fig. 4. Nivel crítico de fósforo según el método de extracción Carolina del Norte para la serie de suelos Chicaj.

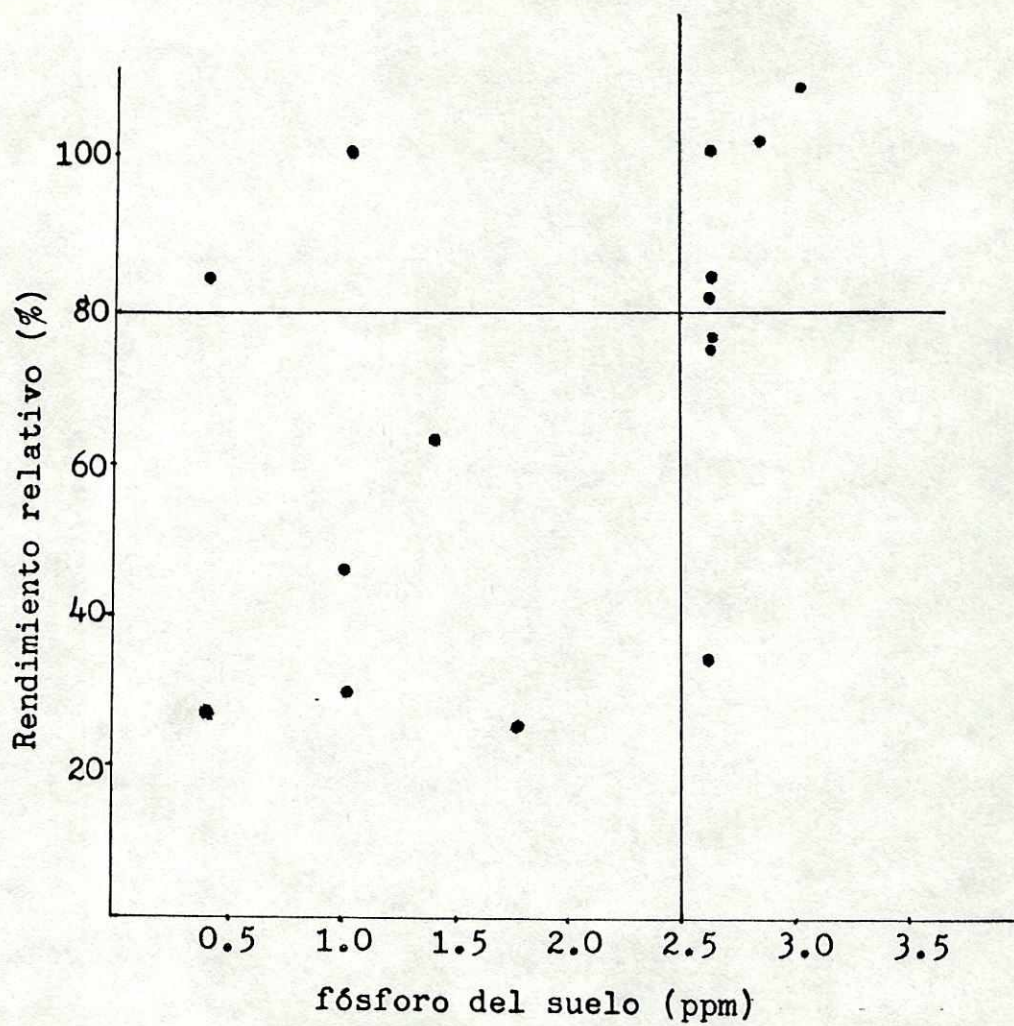


Fig. 5. Nivel crítico de fósforo según el método de extracción Olsen modificado para la serie de suelos Chicaj.

C. Categorías de fertilidad

En el Cuadro 11 se muestran las categorías de fertilidad en relación a las concentraciones de fósforo en el suelo, según la metodología de extracción de Carolina del Norte.

La concentración de fósforo del suelo, extraído con Carolina del Norte, de 14 a 23 ppm de fósforo tienen una probabilidad baja de respuesta, es decir la fertilidad del suelo es muy baja.

Para la metodología de Olsen modificado se clasificaron los grados de fertilidad según el Cuadro 12. Con 2.6 a 3.0 ppm de fósforo el grado de fertilidad es muy alto y la probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada es baja. Con 0.4 ppm o menos hay una alta probabilidad de respuesta.

D. Contenido de macronutrientes en la planta

En suelos con 2 a 4 ppm de fósforo extraído con ácidos fuertes diluidos, en la figura 6, el porcentaje de fósforo y potasio aumenta al aplicar al suelo fertilizante fosfatado en dosis crecientes.

La concentración de fósforo y potasio en suelos con 4 a 23 ppm de fósforo, figuras 7, 8 y 9, tienden a aumentar con aplicaciones hasta de 80 ppm de fósforo al suelo. A dosis mayores tiende a disminuir.

Para suelos con 0.4 a 1.0 ppm de fósforo extraído con bicarbonato de sodio, en la figura 10, el porcentaje de fósforo aumenta al aplicar dosis crecientes de ese macroe

Cuadro 11. Categorías de fertilidad según el método de extracción Carolina del Norte.

FOSFORO (ppm)	GRADO DE FERTILIDAD NATURAL	PROBABILIDAD DE RESPUESTA A APLICACIONES DE FOSFORO (%)
14 - 23	muy alta	0 - 15
9 - 14	alta	16 - 40
4 - 9	media	41 - 60
2 - 4	baja	61 - 85
< 2	muy baja	86 - 100

Cuadro 12. Categorías de fertilidad según el método de extracción Olsen modificado.

FOSFORO (ppm)	GRADO DE FERTILIDAD NATURAL	PROBABILIDAD DE RESPUESTA A APLICACIONES DE FOSFORO (%)
2.6 - 3.0	muy alta	0 - 15
2.0 - 2.6	alta	16 - 40
1.0 - 2.0	media	41 - 60
0.4 - 1.0	baja	61 - 85
< 0.4	muy baja	86 - 100

lemento. El potasio también aumenta con aplicaciones hasta de 80 ppm de fósforo. Con dosis mayores tiende a disminuir.

En suelos con 1.0 a 3.0 ppm de fósforo, figuras 11, 12 y 13, la concentración foliar de fósforo aumenta con aplicaciones crecientes al suelo, hasta 80 ppm. Con dosis mayores tiende a disminuir. La tendencia del potasio es aumentar con las dosis crecientes de fósforo aplicadas al suelo.

La concentración de calcio y magnesio en las plantas no varía con las aplicaciones crecientes de fósforo al suelo.

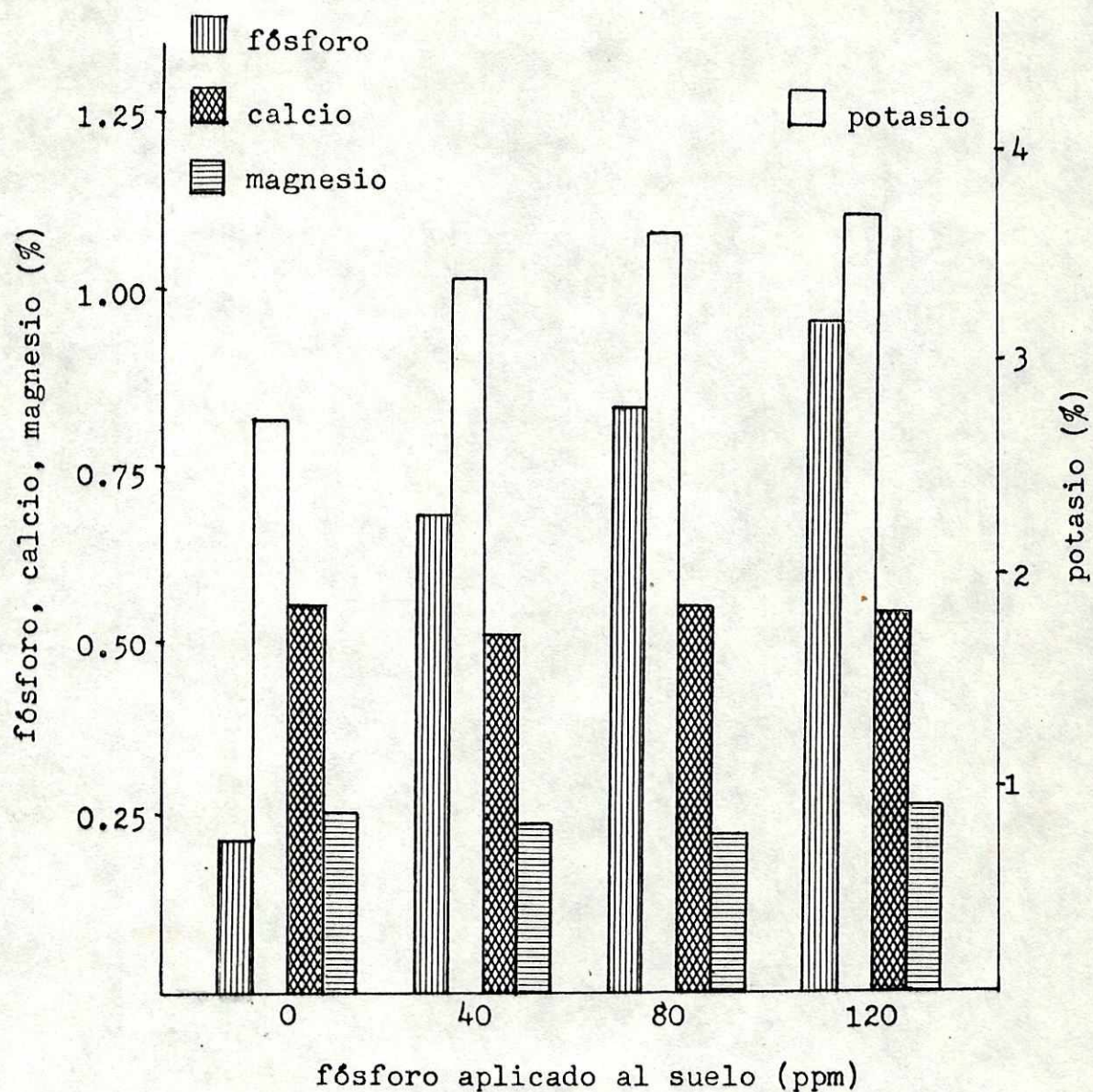


Fig. 6. Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelo con 2 a 4 ppm de fósforo extraído por el método de Carolina del Norte, y dosis crecientes aplicadas al suelo.

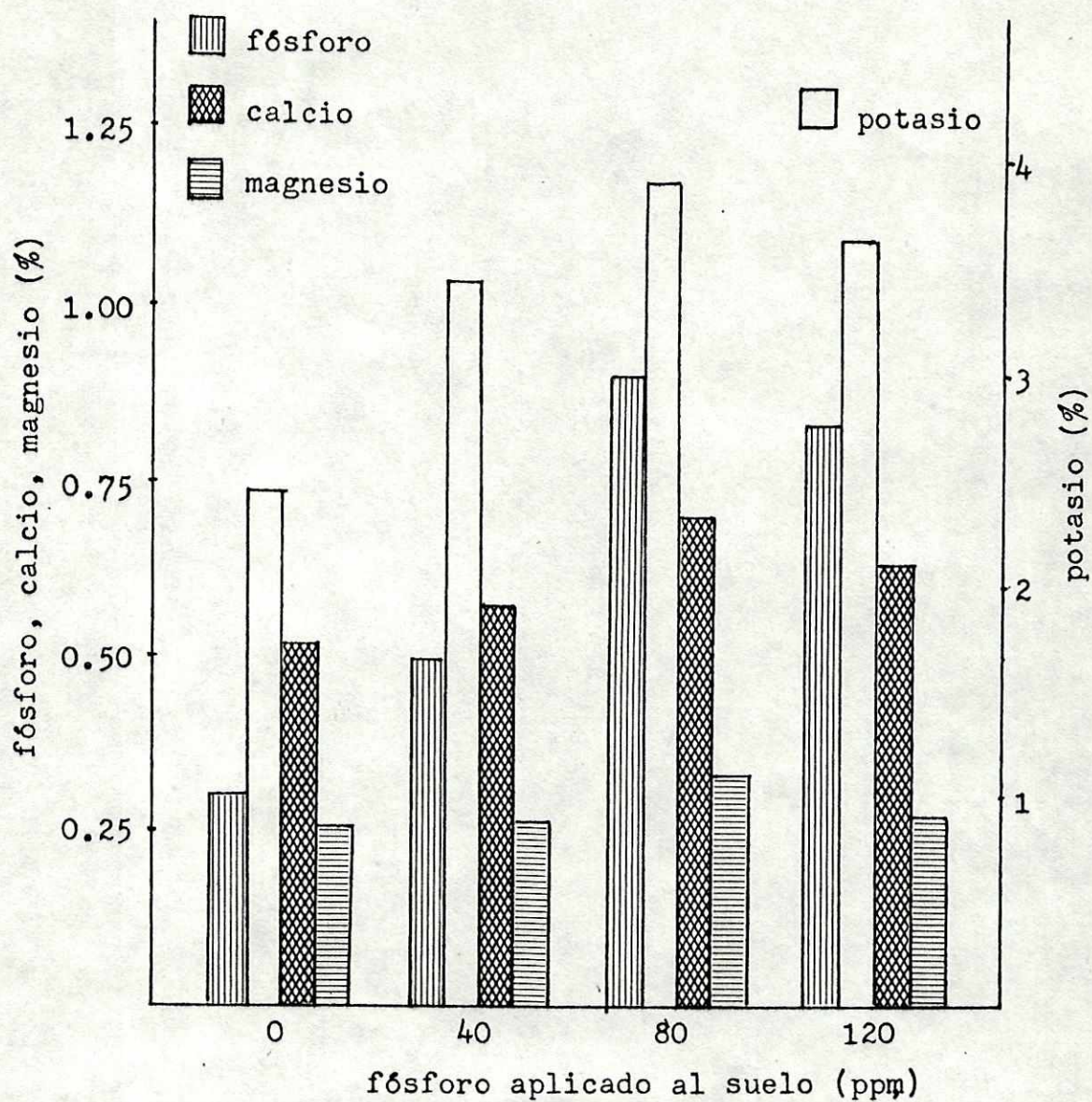


Fig. 7. Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 4 a 9 ppm de fósforo extraído por el método de Carolina del Norte, y dosis crecientes aplicadas al suelo.

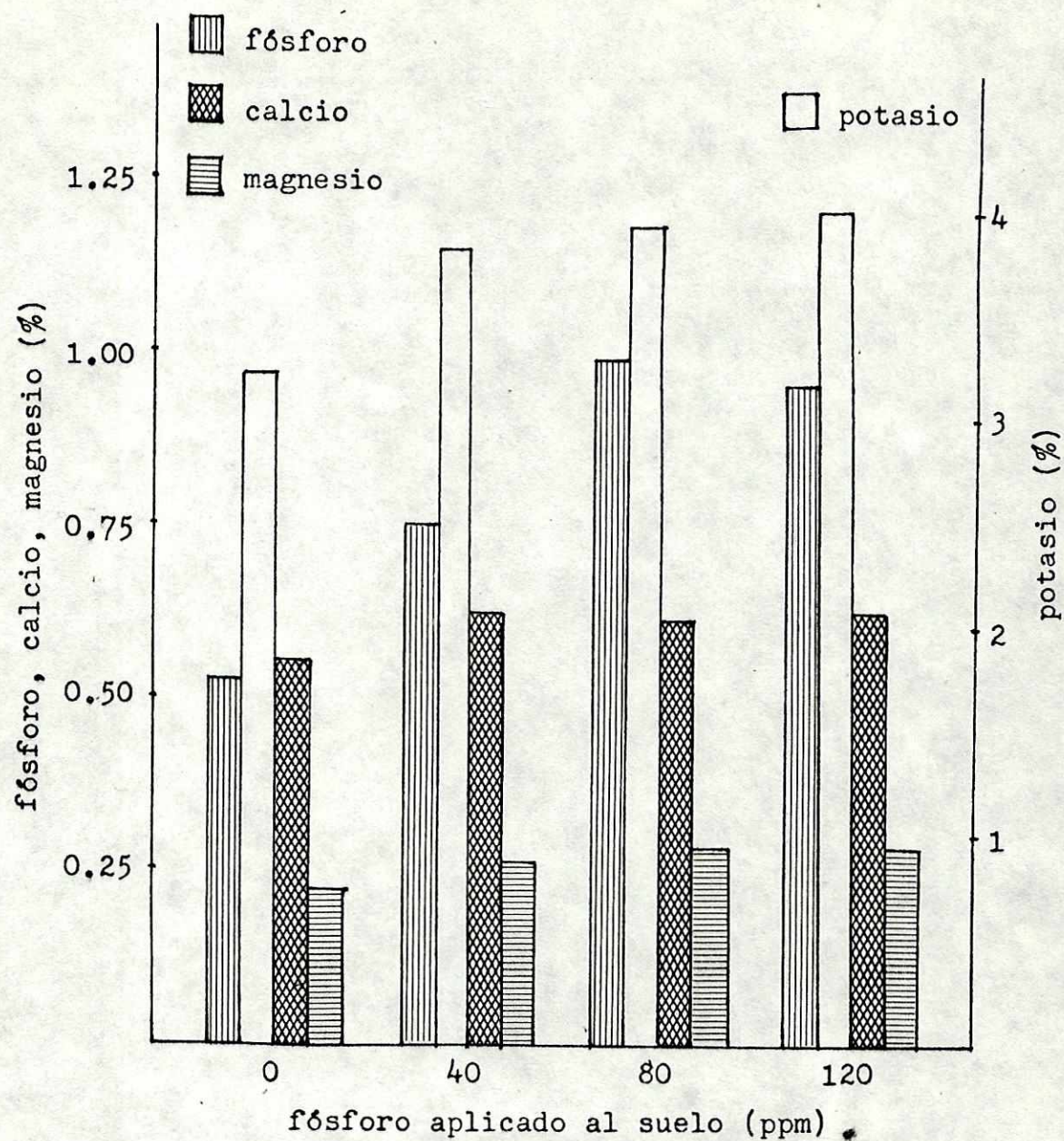


Fig. 8. Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 9 a 14 ppm de fósforo extraído por el método Carolina del Norte, y dosis crecientes aplicadas al suelo.

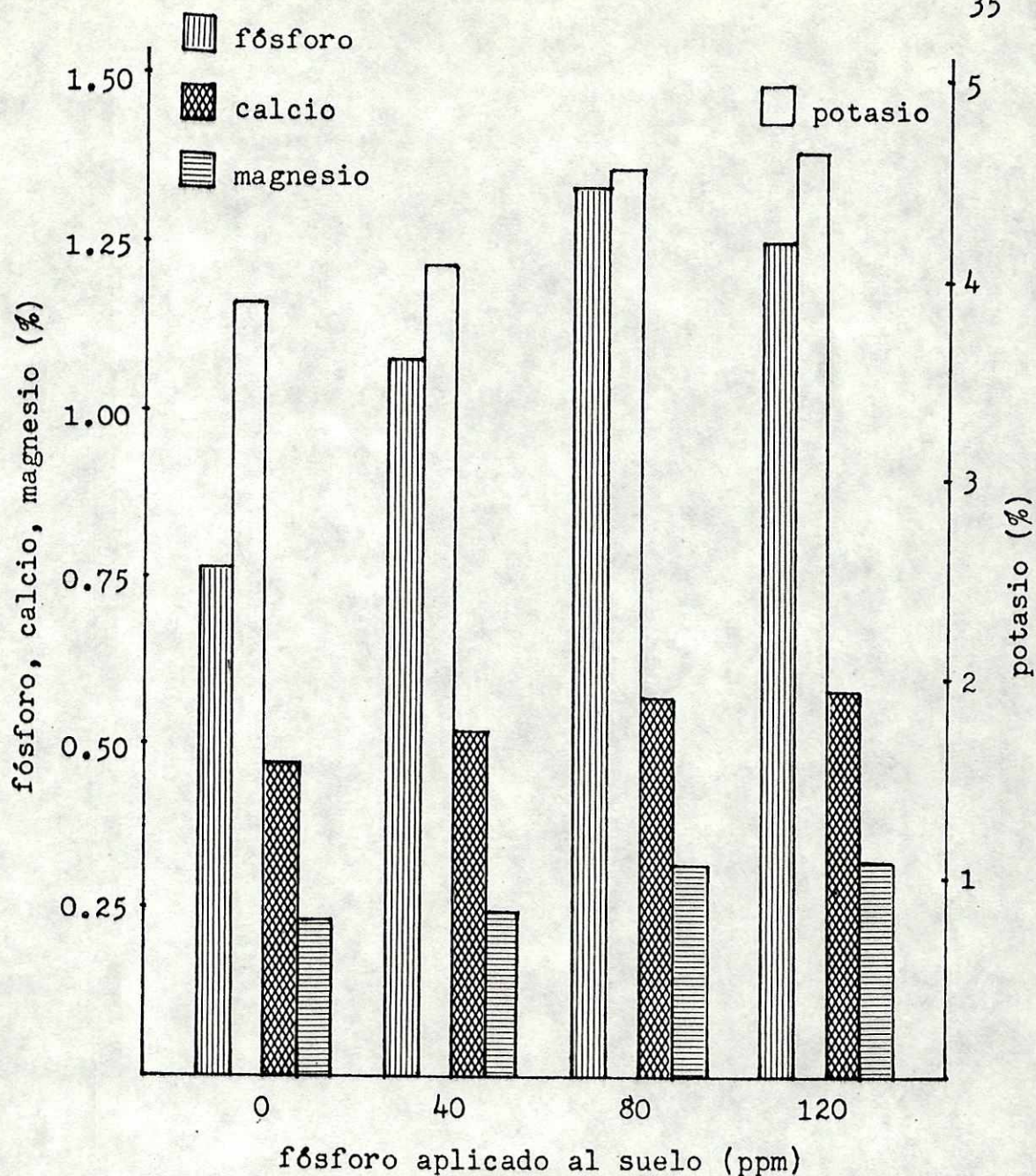


Fig. 9. Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 14 a 23 ppm de fósforo extraído por el método Carolina del Norte, y dosis crecientes aplicadas al suelo.

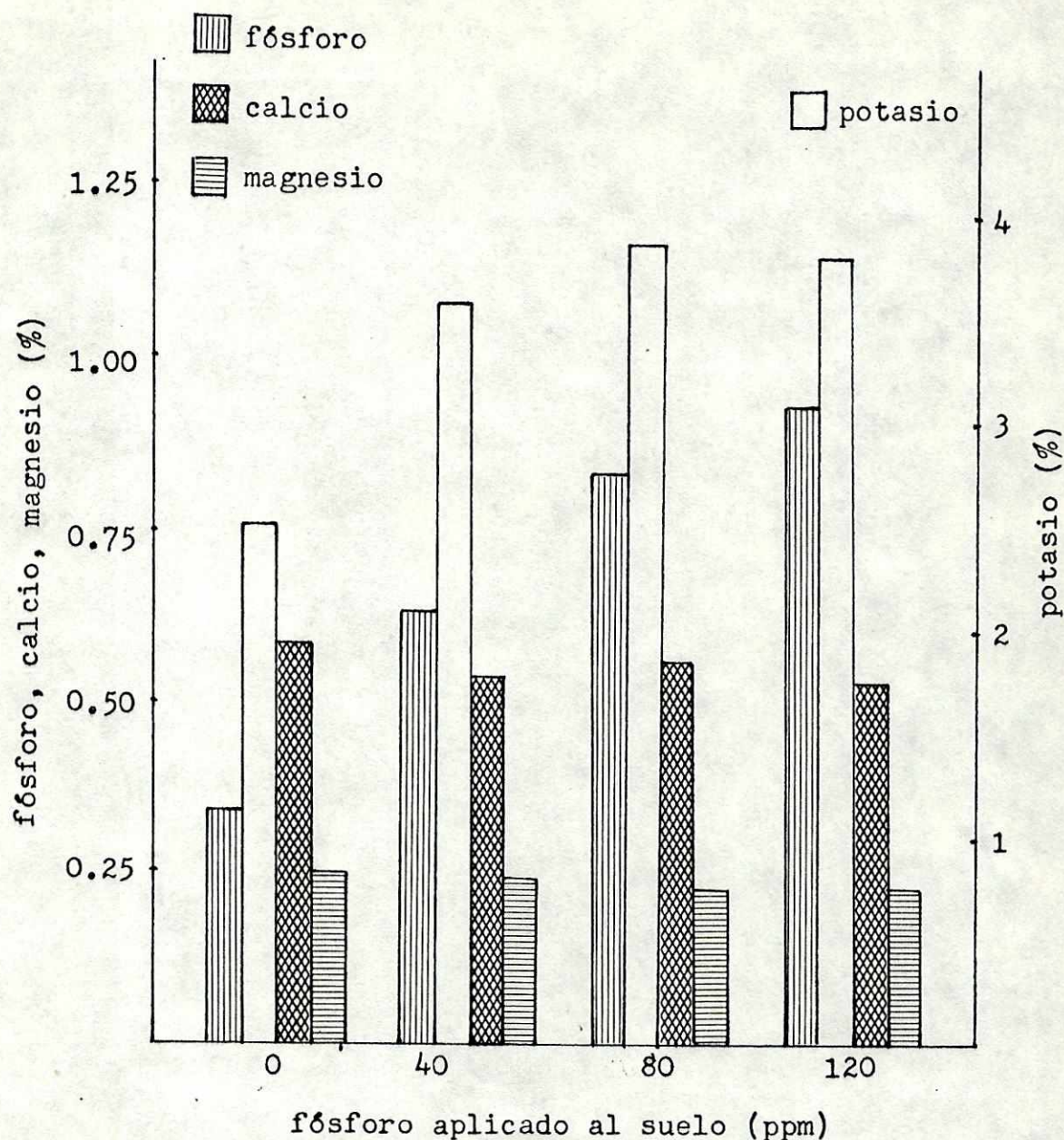


Fig. 10. Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 0.4 a 1.0 ppm de fósforo extraído por el método de Olsen modificado, y dosis crecientes aplicadas al suelo.

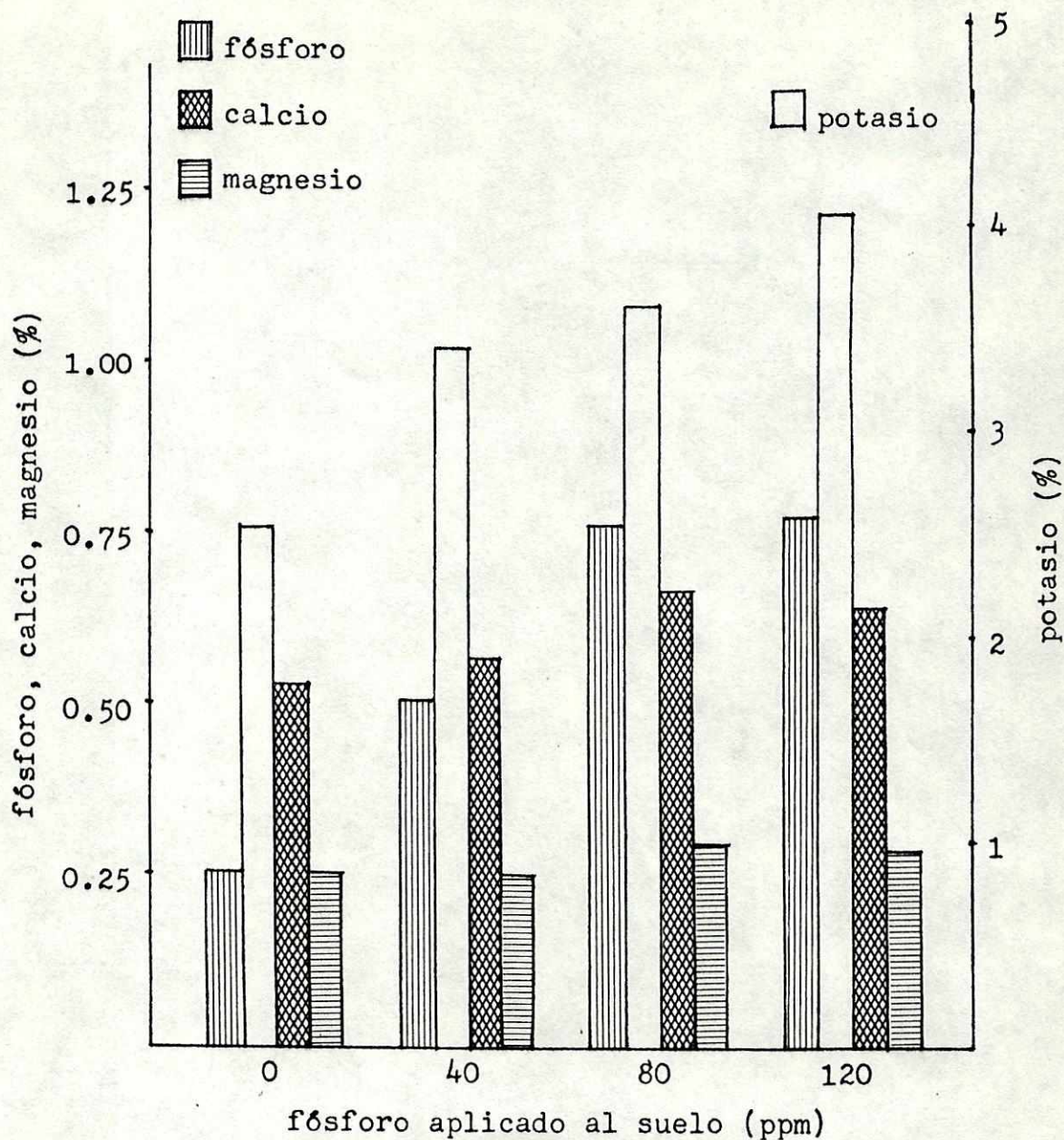


Fig. 11. Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 1.0 a 2.0 ppm de fósforo extraído por el método de Olsen modificado, y dosis crecientes aplicadas al suelo.

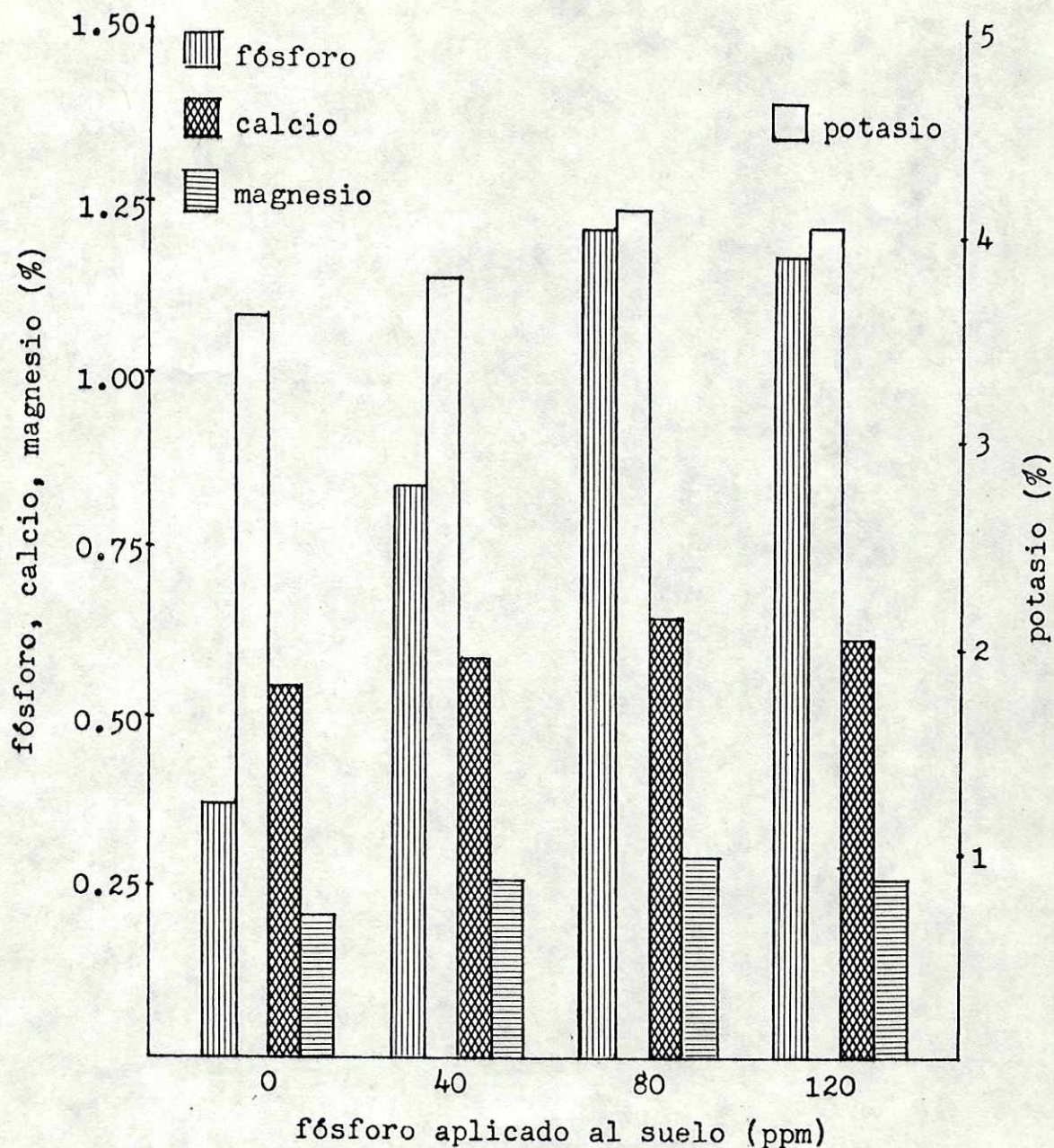


Fig. 12. Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 2.0 a 2.6 ppm de fósforo extraído por el método Olsen modificado, y dosis crecientes aplicadas al suelo.

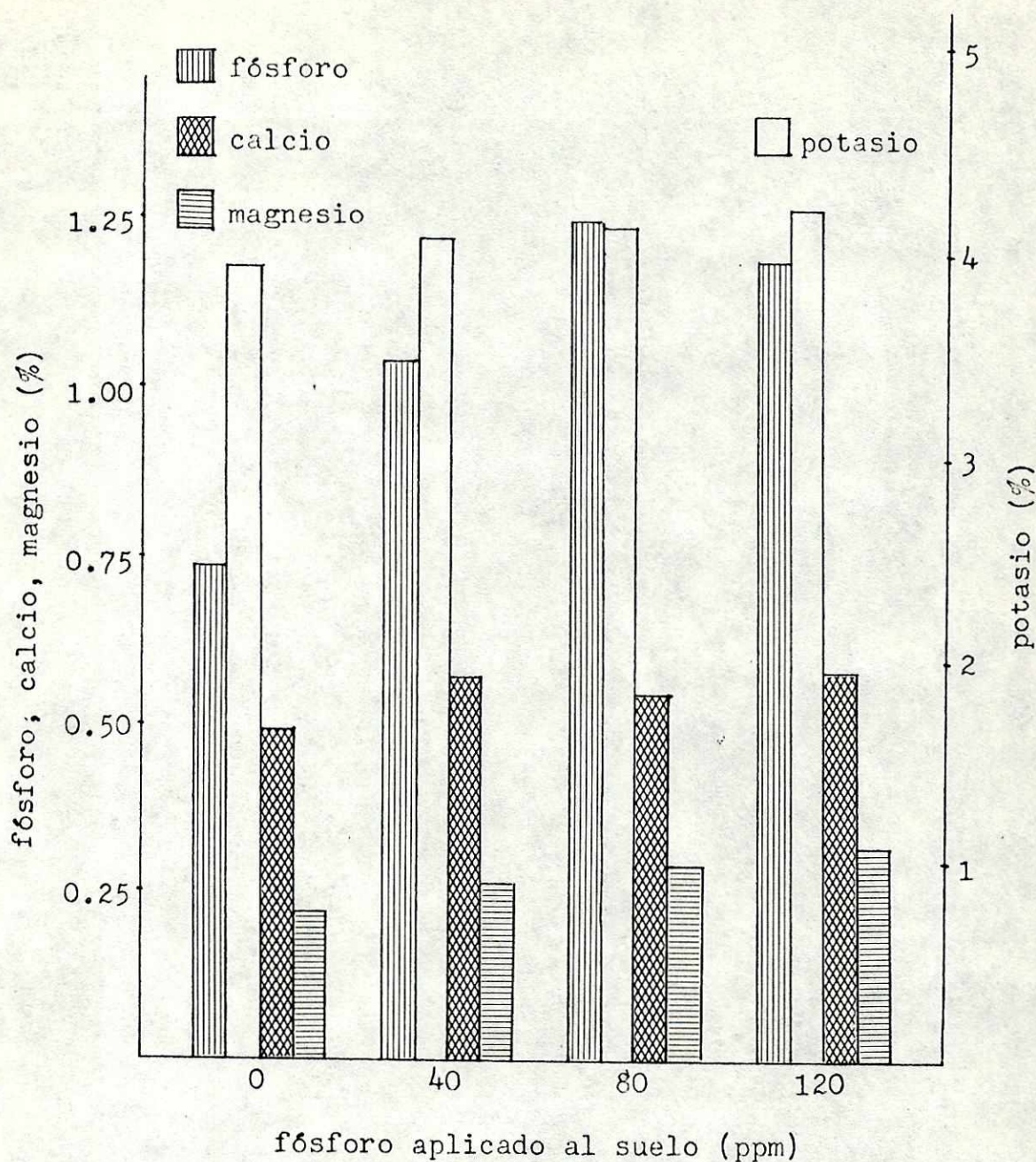


Fig. 13. Concentración de macronutrientes en plantas de sorgo en suelos con 2.6 a 3.0 ppm de fósforo extraído por el método de Olsen modificado, y dosis crecientes aplicadas al suelo.

V. CONCLUSIONES

El método Carolina del Norte tiene un coeficiente de correlación que el método Olsen modificado, cuadro 10, para la prueba de invernadero. Aunque a nivel de laboratorio, Fig. 3, el método de Olsen modificado correlaciona mejor.

El nivel crítico de fósforo para la serie Chicaj según el método de extracción Carolina del Norte es 13.5 ppm. Para Olsen modificado es 2.5 ppm.

La concentración de fósforo y potasio se incrementa con las dosis crecientes de fósforo aplicadas al suelo, con cualquiera de los dos métodos de extracción.

BIBLIOGRAFIA

1. DIAZ, M. R. Comportamiento del fósforo extraído por Carolina del Norte y Olsen modificado en tres series de suelo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad San Carlos, facultad de Agronomía. Guatemala, 1984. 88p. pp.67
2. DIAZ, R. y A. HUNTER. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernaderos. Costa Rica, CATIE, 1978. 62 p.
3. EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. New York, John Wiley and Sons Inc, 1972. 412p. pp.67
3. FASSBENDER, H. W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Primera Edición. Costa Rica, IICA, 1982. 398p.
4. GUATEMALA. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Registros climáticos. Tipografía Echeverría. Sin año de publicación. 296p. pp.294
5. JACKSON, M. L. Análisis químico de suelos. Traducción de la segunda edición en inglés por José Beltrán Martínez. España, Omega, 1970. 662p.
6. MUNSON, R. D. and W. L. NELSON. Principles and practices in plant analysis. In Soil testing and plant analysis. Revised Edition. U.S.A. Soil Science Society of America, Inc. 1982. 491p. pp.223-244
7. REYES R, M. E. Respuesta de tres variedades de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) a la fertilización con N-P-K-S en el área de Nueva Concepción. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad San Carlos, Facultad de Agronomía. Guatemala, 1978. 64p.
8. RUSSELL, E. W. Soil conditions and plant growth. 10th edition. New York, Longman Inc. 1973. 849p.
9. SALINAS, J. G. y P. A. SNACHEZ. Relaciones suelo-planta que afectan las diferencias entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Ciencia y Cultura, N° 28(2): 156-168. 1972.

10. SANCHEZ, P. A. Suelos de trópico, características y manejo. Traducido al español por Edilberto Camacho. Costa Rica. IICA, 1981. 634p. pp.308
11. SIMMONS, C. S., TARANO, M. y PINTO, J. H. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Edición en español por Pedro Tirado-Sulsona. Guatemala, Ministerio de Educación Pública, 1959. 995p. pp.462, 726-728, 748
12. TISDALE, S.L. and W. L. NELSON. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducido al español por Jorge Balasch y Carmen de Piña. México, UTEHA, 1982. 760p.
13. URLICH, A. and F. J. HILLS. Plant analysis as an aid in fertilizing sugar crops: Part I sugar beets. In Soil testing and plant analysis. Revised Edition. U.S.A. Science Society of America, Inc. 1982. 491p. pp.271-286