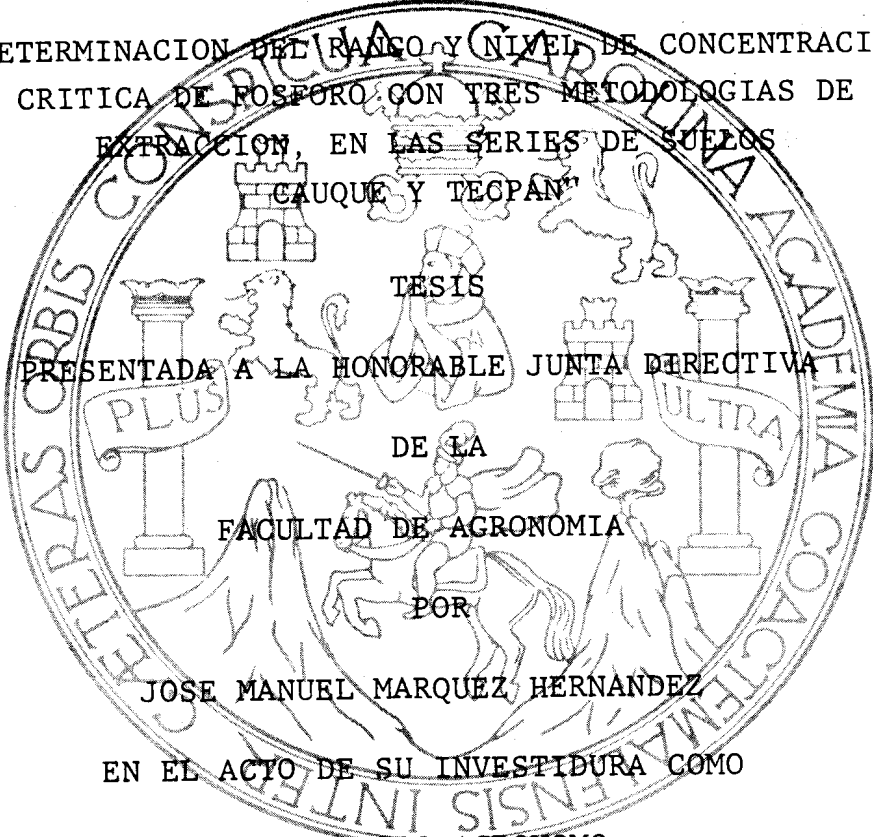


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

"DETERMINACION DEL RANCO Y NIVEL DE CONCENTRACION
CRITICA DE FOSFORO CON TRES METODOLOGIAS DE
EXTRACCION, EN LAS SERIES DE SUELOS
CAUQUE Y TECPAN"



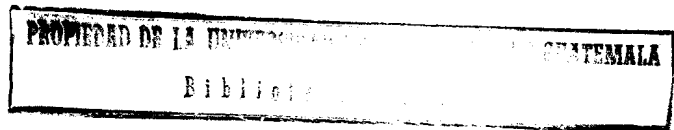
TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA
POR

JOSE MANUEL MARQUEZ HERNANDEZ

EN EL ACTO DE SU INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO

EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Febrero de 1987.



DL
01
T(966)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. Roderico Segura Trujillo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. César Augusto Castañeda S.
VOCAL I:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez Gómez
VOCAL II:	Ing. Agr. Jorge E. Sandoval Illescas
VOCAL III:	Ing. Agr. Mario Melgar Morales
VOCAL IV:	Br. Luis Molina Monterroso
VOCAL V:	Prof. Carlos E. Méndez Mijangos
SECRETARIO:	Ing. Agr. Luis Alberto Castañeda A.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Agr. César Augusto Castañeda S.
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez Gómez
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Edil Rodríguez Quezada
EXAMINADOR:	Ing. Agr. Marco Antonio Nájera C.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez Palma



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto
.....

Guatemala,
Noviembre de 1986.

Ingeniero Agrónomo
Aníbal B. Martínez Muñoz
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 José Manuel Márquez Hernández, Titulado: "DETERMINACION DEL RANGO Y NIVEL DE CONCENTRACION CRITICA DE FOSFORO CON TRES METODOLOGIAS DE EXTRACCION, EN LAS SERIES DE SUELOS CAUQUE Y TECPAN", el cual reúne la calidad científica y características que la Facultad exige como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Por lo anterior, con todo respeto solicito a usted su autorización para que dicho trabajo sea publicado como tesis de grado.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr.  José Jesús Chonay P.
Asesor.

JJChP/.
c.c. Archivo.

Guatemala,
Febrero de 1987.

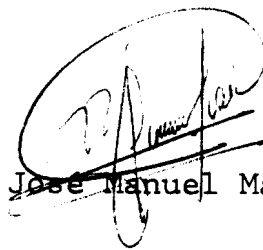
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

"DETERMINACION DEL RANGO Y NIVEL DE CONCENTRACION CRITICA DE FOSFORO CON TRES METODOLOGIAS DE EXTRACCION, EN LAS SERIES DE SUELOS CAUQUE Y TECPAN".

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

Atentamente,



José Manuel Márquez Hernández

ACTO QUE DEDICO

A DIOS TODO PODEROSO.

A MIS PADRES:

José Pedro Márquez Morales
Andrea Hernández de Márquez

A MIS HERMANOS:

José Pedro, Carlos Enrique,
Luis Américo, Martín Alfredo,
María Teresa, Silvia Esperanza.

A MIS ABUELAS:

Andrea Reyes (Q.E.P.D.)
Isidra Morales (Q.E.P.D.)

A MIS TIOS.

A MIS PRIMOS.

A MIS CUNADAS.

A MIS SOBRINOS.

TESIS QUE DEDICO

A: GUATEMALA.

A: LA ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPEQUEZ.

A: LA FACULTAD DE AGRONOMIA, USAC.

A: LA SUBAREA DE CIENCIAS QUIMICAS.

A MIS AMIGOS
Y COMPANEROS:

Especilamente a: Edgar Velásquez,
Luis Felipe Méndez, Billy Estrada,
Rony Espinoza y compañeros del
IX Curso de Adiestramiento en Producción
Agrícola, ICTA, Jutiapa 1986.

SINCEROS AGRADECIMIENTOS

- AL: Ing. Agr. José Jesús Chonay P., por su
 valiosa orientación.
- A: La Subárea de Ciencias Químicas y su ex-
 Coordinador Lic. Oscar Cóbar Pinto, por
 su desinteresada colaboración en los
 análisis químicos.
- A: Oscar Esquivel Rodas, por su valiosa
 colaboración en el presente trabajo.
- A: Todas las personas que me brindaron su
 apoyo en especial a: Doris Lisbeth Alemán.

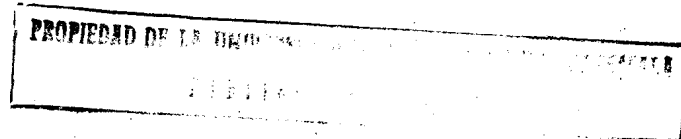
CONTENIDO

PAGINA

	INDICE DE CUADROS.	
	INDICE DE FIGURAS.	
	INDICE DE APENDICE.	
	RESUMEN.	i
I.	INTRODUCCION.	1
II.	HIPOTESIS.	2
III.	OBJETIVOS.	2
IV.	REVISION DE LITERATURA.	3
	A. Sorción del fósforo.	3
	B. El fósforo en suelos volcánicos.	4
	C. Metodologías de extracción de fósforo y estudios de correlación.	4
	D. Nivel y rango de concentración crítica.	6
	E. Método gráfico de Cate-Nelson para determinar el nivel crítico.	8
V.	MATERIALES Y METODOS.	9
	A. Ubicación del área experimental.	9
	B. Características del material experimental.	9
	C. Recolección y preparación de las muestras de suelo.	9
	D. Caracterización física y química de las muestras de suelo.	10
	E. Estudio de sorción y determinación de las curvas de fijación.	11
	F. Niveles de fósforo a evaluar.	12
	G. Planta indicadora.	13

CONTENIDO

	<u>PAGINA</u>
I. Metodología del experimento.	13
J. Análisis de datos.	14
K. Manejo del experimento.	14
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.	16
A. Serie Cauqué.	16
1. Características físicas y químicas.	16
2. Peso de materia seca para cada uno de los tratamientos.	18
3. Fósforo extraído con cada solución extractora.	20
4. Rango y nivel de concentración crítica de fósforo.	23
5. Correlaciones.	25
B. Serie Tecpán.	27
1. Características físicas y químicas.	27
2. Peso de materia seca para cada uno de los tratamientos.	27
3. Fósforo extraído con cada solución.	29
4. Rango y nivel de concentración crítica de fósforo.	33
5. Correlaciones.	35
VII. CONCLUSIONES.	37
VIII. RECOMENDACIONES.	39
IX. APENDICE.	40
X. BIBLIOGRAFIA.	45

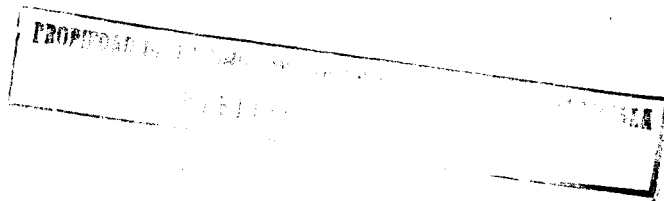


INDICE DE CUADROS

<u>CUADRO No.</u>		<u>PAGINA</u>
1.	Metodologías de extracción de fósforo.	5
2.	Rangos y niveles de concentración de fósforo en las series de suelos Tempisque y Sinaneque, respecto a dos metodologías de extracción.	7
3.	Tratamientos del estudio de sorción de fósforo en los suelos de la serie Cauqué y Tecpán, para determinar la curva de fijación.	12
4.	Nivel de fósforo evaluado para cada sitio en las series de suelo Cauqué y Tecpán.	12
5.	Componentes de la solución de micronutrientes.	15
6.	Características físicas y químicas de la serie Cauqué.	17
7.	Análisis de varianza del rendimiento de biomasa para la serie Cauqué.	18
8.	Fósforo extraído con las soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en la serie Cauqué.	21
9.	Análisis de varianza de las metodologías de extracción de fósforo, en la serie de suelos Cauqué.	22
10.	Rango de concentración crítica de fósforo para la serie Cauqué, según cada metodología de extracción.	23
11.	Coefficiente de correlación entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en la serie Cauqué.	25
12.	Coefficiente de correlación entre el fósforo nativo y los macronutrientes en plántula, en la serie Cauqué.	26

INDICE DE CUADROS

<u>CUADRO No.</u>		<u>PAGINA</u>
13.	Características físicas y químicas de la serie Tecpán.	28
14.	Análisis de varianza del rendimiento de biomasa para la serie de suelos Tecpán.	29
15.	Fósforo extraído con las soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en la serie Tecpán.	31
16.	Análisis de varianza de las metodologías de extracción de fósforo, en la serie de suelos Tecpán.	32
17.	Rango de concentración crítica de fósforo para la serie Tecpán, según cada metodología de extracción.	33
18.	Coefficiente de correlación entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en la serie Tecpán.	35
19.	Coefficientes de correlación entre el fósforo nativo y los macronutrientes en plántula, en la serie Tecpán.	36



INDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA No.</u>		<u>PAGINA</u>
1.	Fósforo del suelo, extraído con NaHCO_3 0.5 M en relación al rendimiento relativo de papa.	8
2.	Respuesta en rendimiento de materia seca a la aplicación de fósforo, en la serie Cauqué.	19
3.	Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras de Carolina del Norte, Olsen Modificado y Bray P-1, en la serie Cauqué.	24
4.	Respuesta en rendimiento de materia seca a la aplicación de fósforo, en la serie Tecpán.	30
5.	Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras de Olsen Modificado, Carolina del Norte y Bray P-1, en la serie Tecpán.	34

INDICE DE APENDICE

<u>APENDICE No.</u>		<u>PAGINA</u>
1.	Distribución de los sitios de muestreo para la serie de suelos Cauqué.	41
2.	Distribución de los sitios de muestreo para la serie de suelos Tecpán.	42
3.	Curvas típicas de sorción de fósforo, observadas en la serie de suelos Cauqué.	43
4.	Curvas típicas de sorción de fósforo, observadas en la serie de suelos Tecpán.	44

RESUMEN.

El fósforo es un elemento que sufre una serie de reacciones y transformaciones en el suelo, lo que limita la disponibilidad y causa deficiencias en los cultivos. Además, la mayoría de suelos de Guatemala son de origen volcánico, lo que causa mayores problemas a la disponibilidad de fósforo debido a los procesos de fijación que llevan a cabo los minerales de alófono. Los estudios de correlación son parte de un proceso ordenado de evaluación de la fertilidad que permite orientar los programas de fertilización.

El propósito de este trabajo es el estudio de correlación de metodologías de análisis de fósforo con el rendimiento relativo para establecer el nivel y rango de concentración crítica en las series de suelos Cauqué y Tecpán. Además, seleccionar la metodología de análisis de fósforo.

La metodología consistió en recolectar 15 muestras de suelo con diferente manejo respecto al uso y método de aplicación de fertilizante para cada serie, a las cuales se realizó un análisis físico, químico y determinación de fósforo disponible con las soluciones extractoras de Carolina del Norte, Olsen Modificado y Bray - P-1.

La determinación de los niveles de fósforo a evaluar en invierno fue en base a la curva de fijación de fósforo, la planta indicadora que se utilizó fue sorgo (Sorghum bicolor) crecido en macetas de un litro de capacidad con 500 ml de suelo.

Para darle respuesta a los objetivos se utilizó el diseño experimental completamente al azar de estructura jerárquica 2 x 15 con 30 tratamientos por serie de tres repeticiones.

El rango y nivel de concentración crítica de fósforo para la serie

Cauqué es la siguiente: Con la solución extractora de Carolina del Norte el rango de concentración es de 6.62 a 8.14 ppm y el nivel crítico de 7.4 ppm. Para Olsen Modificado el rango de concentración es de 3.00 a 3.40 ppm y el nivel crítico de 3.20 ppm y con Bray P-1 el rango de concentración es de 5.00 a 6.40 ppm y el nivel crítico de 5.70 ppm.

El rango y nivel de concentración crítica de fósforo para la serie Tecpán es la siguiente: Con Carolina del Norte el rango de concentración es de 8.14 a 9.66 ppm y el nivel crítico de 8.90 ppm. Para Olsen Modificado el rango de concentración es de 4.70 a 6.00 ppm y el nivel crítico de 5.35 ppm, y con Bray P-1 el rango de concentración es de 2.40 a 2.60 ppm y el nivel crítico de 2.50 ppm.

En base al coeficiente de correlación para análisis de fósforo en la serie de suelos Cauqué se recomienda utilizar la metodología de Carolina del Norte u Olsen Modificado. Para la serie de suelos Tecpán, la metodología a recomendar es Olsen Modificado.



I. INTRODUCCION.

La dinámica del fósforo en el suelo incluye una serie de reacciones y transformaciones que se hace necesario analizar, el fósforo en solución, la solubilidad de los fosfatos existentes en el suelo y el fósforo adsorbido en la superficie de las partículas de la fracción arcillosa. El fósforo en solución reacciona con cationes de calcio, hierro y aluminio, para formar fosfatos de baja solubilidad que disminuye su disponibilidad y causan deficiencias (9).

Palencia (11), en un estudio de 113 experimentos de campo, realizados en distintas regiones agrícolas de Guatemala, para revisar y ajustar los niveles críticos de fósforo y potasio, encuentra que un 48% de los suelos analizados presentan un contenido inferior a 7 ppm de fósforo, lo cual minifiesta deficiencia.

Las series de suelos Cauqué y Tecpán se han desarrollado sobre ceniza volcánica en la altiplanicie central de los Departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Chimaltenango, con extensiones de 58,901 y 23,907 hectáreas respectivamente y problemas notables de disponibilidad de fósforo y bases intercambiables (13). La actividad agrícola se basa en cultivos anuales de maíz, frijol, trigo y hortalizas, sin embargo, no incluyen prácticas para mejorar y mantener la fertilidad de los suelos.

Ante las consideraciones anteriores, el propósito de este trabajo es proporcionar información sobre el análisis de suelo para fósforo al utilizar tres metodologías de extracción, y su correlación con las respuestas de rendimiento relativo, así como seleccionar la metodología efectiva de análisis y establecer el rango y nivel de concentración crítica de fósforo a nivel de invernadero para cada serie Cauqué y Tecpán.

II. HIPOTESIS.

1. El rango y nivel de concentración crítica de fósforo es variable para cada serie de suelos, con cada metodología de extracción.
2. Al menos una metodología de extracción es efectiva para el análisis de fósforo y predecir respuestas a su aplicación en las series de suelos Cauqué y Tecpán.

III. OBJETIVOS.

1. Determinar el rango y nivel de concentración crítica de fósforo para las series de suelos Cauqué y Tecpán, mediante el uso de las soluciones extractoras de Carolina del Norte, Olsen Modificado y Bray P-1.
2. Seleccionar la metodología de extracción efectiva para el análisis de fósforo y predicciones de respuesta a su aplicación, en las series de suelos Cauqué y Tecpán.

IV. REVISION DE LITERATURA.

A. Sorción de fósforo.

El fósforo se encuentra en el suelo en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos pero su baja solubilidad causa deficiencias para las plantas (7).

El fósforo es absorbido en forma de H_2PO_4^- , HPO_4^{-2} y PO_4^{-3} , sin embargo, el H_2PO_4^- lo absorben más rápidamente las plantas y es por ello que debe renovársele constantemente en la solución del suelo (9).

Los fosfatos aplicados al suelo son objeto de fijación, fenómeno que Sánchez (12), lo define como el proceso de transformación de fosfatos monocálcicos solubles, en fosfatos menos solubles de calcio, aluminio o hierro. La mineralogía de los suelos determina la fijación ya que en suelos con mineralogía oxidica la mayor parte del fósforo se fija como fosfato de hierro, en caoliníticas y minerales de alófana la fijación es en fosfatos de aluminio. Además, en suelos ácidos el aluminio y hierro son más abundantes y reaccionan con el fósforo para formar fosfatos de aluminio y hierro, mientras que en suelos calcáreos los iones fosfato son precipitados por el calcio y magnesio (10).

Respecto a los estudios de sorción, Fox y Kamprath, citados por Sánchez (12), reportan que la relación entre la cantidad de fósforo inorgánico que se añade y la concentración de fósforo en equilibrio en la solución del suelo, es un indicador de la cantidad de fertilizante fosfatado que debe agregarse para alcanzar un nivel deseado de fósforo en dicha solución. Estas relaciones se conocen como isotermas de fijación y evalúan el grado de fijación y de liberación de fósforo al mismo tiempo, en el suelo bajo estudio.

Yufera y Carrasco (16), indican que suelos de América Central retienen entre 25 y 35% del fósforo aplicado, el cual se libera lentamente en relación a la solubilidad de los compuestos formados. El fósforo muestra una solubilidad máxima cuando el pH se encuentra entre valores de 6.5 a 7.5 (8).

B. El fósforo en suelos volcánicos.

El contenido total de fósforo varía respecto al material parental y al grado de desarrollo de los suelos, en suelos oxisoles y ultisoles de Venezuela se reportan valores de 18 mg de P/kilogramo de suelo, en tanto que para suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central se han encontrado valores de 3,300 mg de p/kilogramo de suelo (1). El fósforo total no es un índice de la cantidad disponible en un suelo ya que es relativamente estable, y en América Central el fosfato de calcio y fosfato ocluido son formas predominantes, aunque también es significativa la presencia de aluminio amorfo, el cual se explica a través de las interacciones que realizan los minerales arcillosos amorfos como la alófana, que es abundante en estos suelos (7).

C. Metodologías de extracción de fósforo y estudios de correlación.

Existen métodos efectivos que se usan ampliamente para extraer fósforo del suelo, algunos de ellos se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Metodología de extracción de fósforo.

Metodología	Solución extractora
Olsen	NaHCO_3 0.5 N a pH 8.5
Truog	H_2SO_4 0.002 N a pH 3.0
Carolina del Norte	H_2SO_4 0.025 N + HCl 0.05 N
HCl	HCl 0.3 N
Bray P-1	NH_4F 0.03 N + HCl 0.025 N
Bray P-2	NH_4F 0.3 N + HCl 0.025 N
Schoefield	CaCl_2 0.01 M
Morgan	NaOAc + HOAc
EDTA	Na_2 -EDTA 0.02 N

Fuente: Sánchez, P.A. (12).

El Programa Internacional de Fertilidad y Mejoramiento del Suelo (ISFEIP), mencionado por Sánchez (12), manifiesta que la adición de EDTA al método Olsen lo transforma en Olsen Modificado y mejora su efectividad para extraer tanto fósforo como K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu y NH_4 . Las metodologías de Carolina del Norte, Bray P-2, HCl 0.3 N y NaEDTA se dice que son efectivas para extraer fosfatos de calcio y aluminio, en tanto que Olsen Modificado extrae incluso los fosfatos de hierro.

La metodología de Carolina del Norte es ampliamente usada en suelos con pH menores de 6.5, en tanto que Olsen Modificado es usada tanto en suelos ácidos como alcalinos (3).

Mascarreño, citado por Díaz Moscoso (4), en un estudio de calibración y correlación de metodologías en diferentes suelos de México, reporta coeficientes de correlación logarítmica de 0.732 para Olsen Modificado, 0.700 para Bray P-1 y 0.288 para Peech, con lo cual deduce que la metodología de Olsen Modificado y Bray P-1 son efectivas para el análisis de fósforo y dar recomendaciones de fertilización fosfatada.

Balerdi et al (1), en un estudio similar en suelos de Centro América recomienda sustituir la metodología de Carolina del Norte por Olsen Modificado debido a que correlaciona mejor con el rendimiento relativo.

Díaz Moscoso (4), en un estudio de correlación en las series de suelos, clasificadas por Simmons, Tarano y Pinto como: Ixtán, Culman y Chicaj en Guatemala, reporta que con Carolina del Norte los coeficientes de correlación fueron de -0.4654 para la serie Ixtán, -0.497 en la serie Culman y -0.3303 en la serie Chicaj; en tanto que con el extractante de Olsen Modificado los coeficientes fueron de -0.565, -0.766 y -0.817 respectivamente. Concluye que Olsen Modificado debe ser la metodología para el análisis de fósforo en estas series.

Sánchez (12), al analizar estudios de correlación de metodologías de extracción realizados por Tyner y Davide en Filipinas, Chang y Juo en Taiwan, Balerdi en América Central, Srivastava y Pathak en India, Chotikul y Tyner en Thailandia, llega a la conclusión de que no existe una solución extractora universal que sea efectiva para el análisis en todos los suelos debido a la variabilidad en las propiedades del suelo.

D. Nivel y rango de concentración crítica.

El nivel crítico del análisis de suelo es un 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 (2).

El nivel crítico es un punto que es difícil establecer experimentalmente, por ello Dow y Roberts indican que es más conveniente hablar de un rango de concentración crítica que de una sola concentración. Se interpreta que por encima de este rango de concentración crítica el cultivo es ampliamente suplementado por el nutriente en consideración, y abajo del cual, el cultivo no es abastecido adecuadamente (6).

En Guatemala, para ajustar los niveles críticos de fósforo y potasio de invernadero a condiciones de campo, Palencia (11), realiza experimentos en distintas regiones agrícolas del país; la solución extractora utilizada es Carolina del Norte, y establece que el nivel crítico de fósforo es de 5.7 ppm y para potasio de 54 ppm.

Espinoza Navarro (5), al estudiar el fósforo en las series de suelos Tempisque y Sinaneque de la Fragua, Zacapa, con dos metodologías de extracción, reporta los rangos y niveles de concentración crítica que se observan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Rangos y niveles de concentración crítica de fósforo en las series de suelos Tempisque y Sinaneque, respecto a dos metodologías de extracción.

Serie de Suelo	Metodología de Extracción	Rango crítico ppm P.	Nivel crítico ppm P.
Tempisque	Carolina del Norte	10.0 - 16.0	13.0
	Olsen Modificado	2.80- 4.0	3.40
Sinaneque	Carolina del Norte	23.0 - 28.0	25.0
	Olsen Modificado	3.0 - 3.5	3.45

Fuente: Espinoza Navarro (5).

En el estudio se concluye que ambas metodologías son eficientes para el análisis de fósforo en la serie Tempisque y Sinaneque.

E. Método gráfico de Cate-Nelson para determinar el nivel crítico.

El método gráfico se basa en un diagrama de dispersión, que se obtiene al marcar con puntos los rendimientos relativos en función del contenido del nutriente. Sobre el diagrama se coloca una hoja transparente dividida en cuadrantes por líneas horizontales y verticales, de tal manera que el máximo número de puntos se ubiquen en los dos cuadrantes positivos, tal como se observa en la Figura 1.

La línea horizontal separa a los suelos que muestran una respuesta alta al nutriente aplicado de aquellos que muestran una respuesta baja. El punto en que la línea vertical corta al eje "x" identifica al nivel crítico para el método de análisis de suelo que se utilice (2).

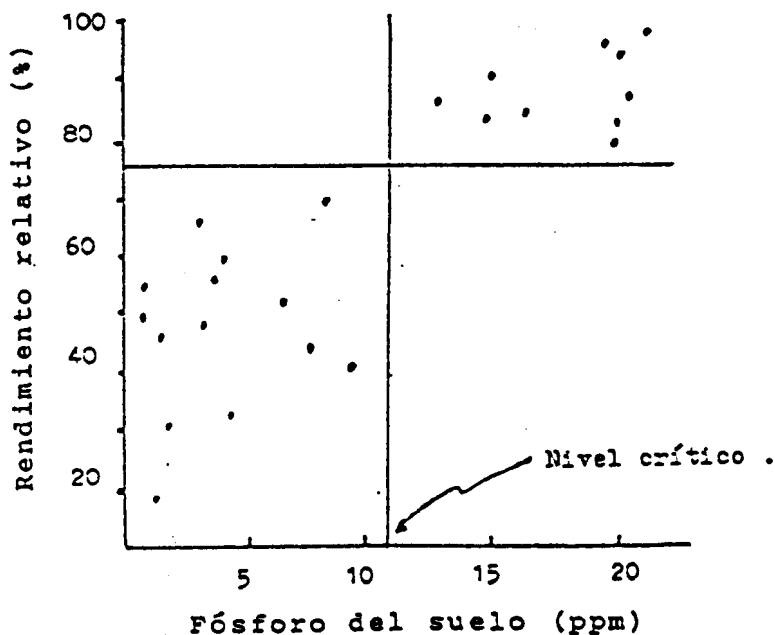


Figura 1. Fósforo del suelo extraído con NaHCO_3 0.5 M en relación al rendimiento relativo de papa. Datos tomados de ensayos experimentales conducidos por el Ministerio de Agricultura de Bolivia.

V. MATERIALES Y METODOS.

A. Ubicación del área experimental.

El trabajo de investigación se condujo en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicado a una altitud de 1502.32 metros sobre el nivel del mar, coordenadas de latitud norte 14° 35' 11", longitud oeste 90° 31' 58" (6).

B. Características del material experimental.

Los suelos bajo estudio corresponden a las series Cauqué y Tecpán, que se localizan en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Chimaltenango. De acuerdo a Simmons, Tarano y Pinto (13) las características son las siguientes:

1. Serie Cauqué:

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica firme y gruesa, ocupan relieves ondulados a inclinados en donde el declive dominante es de 10-20%, su fertilidad natural es alta al igual que la susceptibilidad a la erosión. Comprenden 58,901 hectáreas que representan el 0.541 por ciento del área total de la República.

2. Serie Tecpán:

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, de fertilidad natural media, ocupan relieves casi planos a ondulados con declive dominante de 1 a 5%. La susceptibilidad a la erosión es baja y comprenden 23,907 hectáreas, que representan el 0.22% del área de la República.

C. Recolección y preparación de las muestras de suelo.

La recolección y preparación de las muestras se realizó en base al criterio de Waugh y Fitts (15).

Para el muestreo de cada serie se seleccionaron 15 puntos con diferente manejo, cuya ubicación se presenta en el Apéndice 1 y 2. Se recolectaron 20 kilogramos de suelo en cada sitio, de la capa arable, luego fueron secadas al aire, homogenizadas y tamizadas a 2 mm previo al análisis físico-químico y estudio de invernadero.

D. Caracterización física y química de las muestras de suelo.

Las características físicas y químicas de la serie Cauqué y Tecpán se detallan en los Cuadros 6 y 12 respectivamente. Esta información fue indispensable para el manejo del ensayo de invernadero e interpretar los resultados.

El análisis de las muestras se llevó a cabo según las siguientes metodologías:

i. Características físicas:

La granulometría; determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucos y la clase textural en base a la escala USDA modificada.

El color del suelo superficial; con la escala de Munssell.

La densidad aparente; por el método de la probeta.

ii. Características químicas:

Materia orgánica; por el método de combustión húmeda de Walkley-Black por reducción del dicromato ácido.

La capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables; extraídos con acetato de amonio 1 N, pH 7.0. Los cationes

Ca y Mg por titulación con EDTA, en tanto que Na y K por fotómetro de llama.

pH potenciométrico, con relación suelo: agua de 1: 2.5.

iii. Metodologías de extracción de fósforo:

La determinación del contenido de fósforo por el método azul de Fosfomolibdeno y leído en el colorímetro Spectronic 20.

Las soluciones de extracción de fósforo utilizadas son:

1. Carolina del Norte o de doble ácido diluidos; HCl 0.05 N + H₂SO₄ 0.025 N.
2. Bray P-1; solución de HCl 0.025 N + NH₄F 0.03 N.
3. Olsen Modificado; solución de bicarbonato de sodio, NaHCO₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M y superfloc 127, a pH 8.5.

E. Estudio de sorción y determinación de las curvas de fijación.

Las muestras de cada sitio correspondiente a la serie en estudio fueron sometidas al análisis de sorción, según la técnica propuesta por Díaz y Hunter (3), la cual consiste en adicionar niveles progresivos de fósforo al suelo, tal como se detalla en el Cuadro 3, para que posteriormente se determine la cantidad que es disponible en cada tratamiento. En base a este análisis se elaboró una curva de fijación que evalúa el grado de fijación y de liberación de fósforo al mismo tiempo, tal como se aprecia en el Apéndice 3 y 4.

Cuadro 3. Tratamientos del estudio de sorción de fósforo en los suelos de la serie Cauqué y Tecpán, para determinar la curva de fijación.

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

Fuente : Díaz y Hunter 1978 (3) .

F. Niveles de fósforo a evaluar.

A través de la curva de fijación de cada sitio se determinó el nivel de fósforo a evaluar en el ensayo de invernadero.

Los niveles de fósforo se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Nivel de fósforo evaluado para cada sitio en las series de suelo Cauqué y Tecpán .

Sitio de muestreo	Manejo al momento del muestreo	Serie Cauqué fósforo ppm.	Manejo al momento del muestreo	Serie Tecpán fósforo ppm.
1	maíz	280	Pasto	280
2	Bosque	280	Maíz	140
3	Maíz	200	Maíz	140
4	Bosque	140	Maíz	200
5	Frijol	200	Pasto	200
6	Maíz	200	Bosque	200
7	Hortalizas	140	Papa	200
8	Maíz	200	Maíz	280
9	Hortalizas	200	Bosque	200
10	Maíz	140	Bosque	200
11	Bosque	280	Maíz	280
12	Maíz	200	Pasto	200
13	Maíz	140	Papa	200
14	Bosque	280	Maíz	200
15	Frijol	200	Bosque	200

G. Planta indicadora.

Para el estudio de invernadero se utilizó sorgo (Sorghum bicolor) de la variedad Pioneer 8244 como planta indicadora debido a que es sensitiva a la mayoría de las deficiencias, crece rápido y tiene habilidad para crecer normalmente bajo las condiciones de luz y temperatura que predominan en un invernadero (3).

H. Variables de respuesta a evaluar.

Las características evaluadas para responder al propósito de la investigación son las siguientes:

1. Niveles de fósforo y rendimiento relativo.
2. Cantidades de fósforo extraída con las soluciones de Carolina del Norte, Bray P-1 y Olsen Modificado.
3. Porcentaje de N, P, Ca, K y Mg en plántulas.

I. Metodología experimental.

Para el análisis de variables de respuesta se utiliza el diseño experimental completamente al azar, con estructura jerárquica 2 x 15, con 30 tratamientos por serie y con tres repeticiones.

Para el análisis de rendimiento de biomasa se utiliza el siguiente modelo lineal estadístico (14).

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

De donde:

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 i.

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

- i = 1,2,3..... 15 sitios.
- j = 1,2, niveles de fósforo dentro del sitio
- k = 1,2,3, repeticiones.

La unidad experimental consiste en macetas de polyetileno de 1 litro de capacidad, con 500 ml de suelo tamizado a 2 mm.

J. Análisis de datos.

Los análisis realizados corresponden a los siguientes:

1. Análisis de varianza para el rendimiento de materia seca.
2. Comparación múltiple de medias de rendimiento de materia seca con el estadístico de Tukey al 5% de probabilidad.
3. Método gráfico Cate-Nelson para determinar el nivel crítico de fósforo.
4. Modelo matemático discontinuo de dos medias para determinar el rango de concentración crítica de fósforo.
5. Correlación lineal entre el contenido de fósforo extraído con las soluciones extractoras y rendimiento relativo.
6. Correlación lineal entre el fósforo adicionado al suelo y el contenido de macronutrientes en plántula.

K. Manejo del experimento.

Las unidades experimentales recibieron el nivel de fósforo que aparece en el Cuadro 4, adicionado en forma de H_3PO_4 al 85% y además, 50 ppm de nitrógeno en forma de NH_4NO_3 .

Los micronutrientes se adicionaron en base al criterio propuesto por Waugh y Fitts (15), que indica aplicar 25 ml de la solución descrita en el Cuadro 5, cada semana durante el período de crecimiento.

Cuadro 5. Componentes de la solución de micronutrientes.

Compuesto	gramos/litro	ppm de micronutriente
H_3BO_3	1.55	271 de B.
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	0.99	250 de Mn.
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.58	132 de Zn.
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.08	20 de Cu.

Fuente: Waugh y Fitts (15).

Se sembraron 10 semillas de sorgo por unidad experimental para luego realizar el entresaque a los 7 días de germinadas y dejar cinco plántulas.

Para el riego se utilizó agua destilada y su aplicación se hizo en base al método de pesada.

A los 12 días de germinadas las plántulas se hizo una segunda aplicación de nitrógeno con dosis de 100 ppm, como lo recomiendan Díaz y Hunter (3).

A los 37 días después de la siembra se realizó el corte de plántulas a 1 centímetro por encima de la superficie del suelo, las cuales fueron secadas en horno con 70°C.

VII. RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados obtenidos para las series de suelo Cauqué y Tecpán se presentan a continuación en base a los aspectos siguientes:

Características físicas y químicas.

Peso de materia seca.

Cantidad de fósforo extraído con cada solución extractora.

Rango y nivel de concentración crítica de fósforo.

Correlación entre las soluciones extractoras de fósforo con el rendimiento relativo.

Correlación entre el fósforo nativo en el suelo y el contenido de macronutrientes en plántula.

A. Serie Cauqué:

1. Características físicas y químicas.

En el Cuadro 6, se presentan las características físicas y químicas de los sitios muestreados.

Las clases texturales corresponden a franco-arenoso, franco, franco-arcilloso-arenoso y arcilla.

Los valores de pH varían entre 6.2 a 6.5, considerado como ligeramente ácido y sin problemas para la disponibilidad de nutrientes.

La materia orgánica varía entre 2.52 y 7.44 por ciento, que corresponde a niveles bajos y ligeramente bajos.

La capacidad de intercambio catiónico tiene valores de 18.52 a 35.32 meq/100 g, considerada de adecuada a medianamente alta. Esta CIC muestra una correlación con el contenido de materia orgánica y el contenido de arcilla.

El contenido de bases intercambiables, calcio, sodio y potasio es en general, bajo, mientras que el magnesio varía entre niveles bajos a adecuados.

SITIO	GRANULOMETRIA			CLASE TEXTURAL	COLOR		DENSIDAD	pH	MATERIA ORGANICA	CATIONES INTERCAMBIABLES meq/100 g suelo					Σ SATURACION DE BASES
	ARCILLA %	LIMO %	ARENA %		SECO	HUMEDADO	APARENTE			CIC	Ca	Mg	Na	K	
							g/cc								
1	21.50	33.34	45.16	Franco	Pardo	Gris	1.03	6.2	6.85	29.69	12.93	2.40	0.15	3.09	63.55
2	17.00	29.78	53.22	Franco arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	1.00	6.5	7.44	26.42	7.37	4.08	0.05	1.55	49.39
3	27.68	26.72	45.60	Franco arcillo arenoso	Pardo-pardo oscuro	Pardo muy oscuro	1.00	6.5	4.76	29.92	13.16	2.36	0.12	3.05	62.67
4	19.78	32.19	48.03	Franco	Pardo Amarillento claro	Pardo grisáceo	1.06	6.2	3.24	27.83	9.66	1.07	0.25	2.47	48.33
5	28.26	26.74	45.00	Franco arcillo arenoso	Pardo	Pardo oscuro	1.22	6.2	2.73	18.52	6.44	1.93	0.31	0.45	49.30
6	26.92	25.40	47.68	Franco arcillo arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	1.10	6.4	4.07	23.17	8.20	1.85	0.11	1.67	51.05
7	24.94	29.78	45.28	Franco	Pardo-pardo oscuro	Pardo muy oscuro	1.10	6.4	3.56	21.15	7.85	2.13	0.11	1.57	55.13
8	19.10	19.68	61.22	Franco arenoso	Pardo	Gris muy oscuro	1.14	6.2	2.52	20.30	7.77	3.11	0.12	1.94	63.56
9	20.60	25.40	54.00	Franco arcillo arenoso	Amarillo claro	Pardo grisáceo	1.09	6.2	4.10	25.86	8.44	3.13	0.19	0.98	49.26
10	22.00	21.72	56.28	Franco arcillo arenoso	Pardo-pardo oscuro	Pardo muy oscuro	1.22	6.4	2.97	18.52	7.08	1.55	0.14	0.75	51.40
11	22.48	30.82	46.70	Franco	Pardo amarillento	Pardo amarillento oscuro	0.94	6.4	4.85	35.32	9.41	0.70	0.15	2.24	35.39
12	25.90	25.44	48.66	Franco arcillo arenoso	Pardo	Pardo grisáceo	1.08	6.4	3.54	28.91	6.91	5.59	1.14	1.10	51.92
13	21.54	23.86	54.60	Franco arcillo arenoso	Pardo-pardo oscuro	Pardo grisáceo	1.06	6.4	3.24	19.43	7.12	4.61	0.76	1.08	69.84
14	60.43	17.05	22.52	Arcilla	Pardo	Pardo grisáceo	1.04	6.4	3.33	29.18	9.00	1.36	0.16	1.99	12.87
15	18.10	23.90	58.00	Franco arenoso	Pardo-pardo oscuro	Pardo muy oscuro	1.10	6.5	6.16	21.57	6.68	1.75	0.28	1.06	45.29

Cuadro 6. Características físicas y químicas de la serie Cauqué.

El porcentaje de saturación de bases se considera bajo, debido a que el valor más alto es de 70%, y ello se debe a que los niveles de las bases intercambiables no satisfacen la capacidad de intercambio de los suelos.

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

En el Cuadro 7, se observa el análisis de varianza para el rendimiento de materia seca obtenido en función del nivel adicionado de fósforo. Se concluye que no existe diferencia entre sitios de muestreo, sin embargo, si existe diferencia significativa al 1% de probabilidad entre los niveles evaluados dentro de cada sitio.

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

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Sitios de Muestreo	14	6.31	0.96 NS	2.40
Niveles/sitio	15	6.59	28.65 **	2.35
Error	60	0.23		
Total	89			

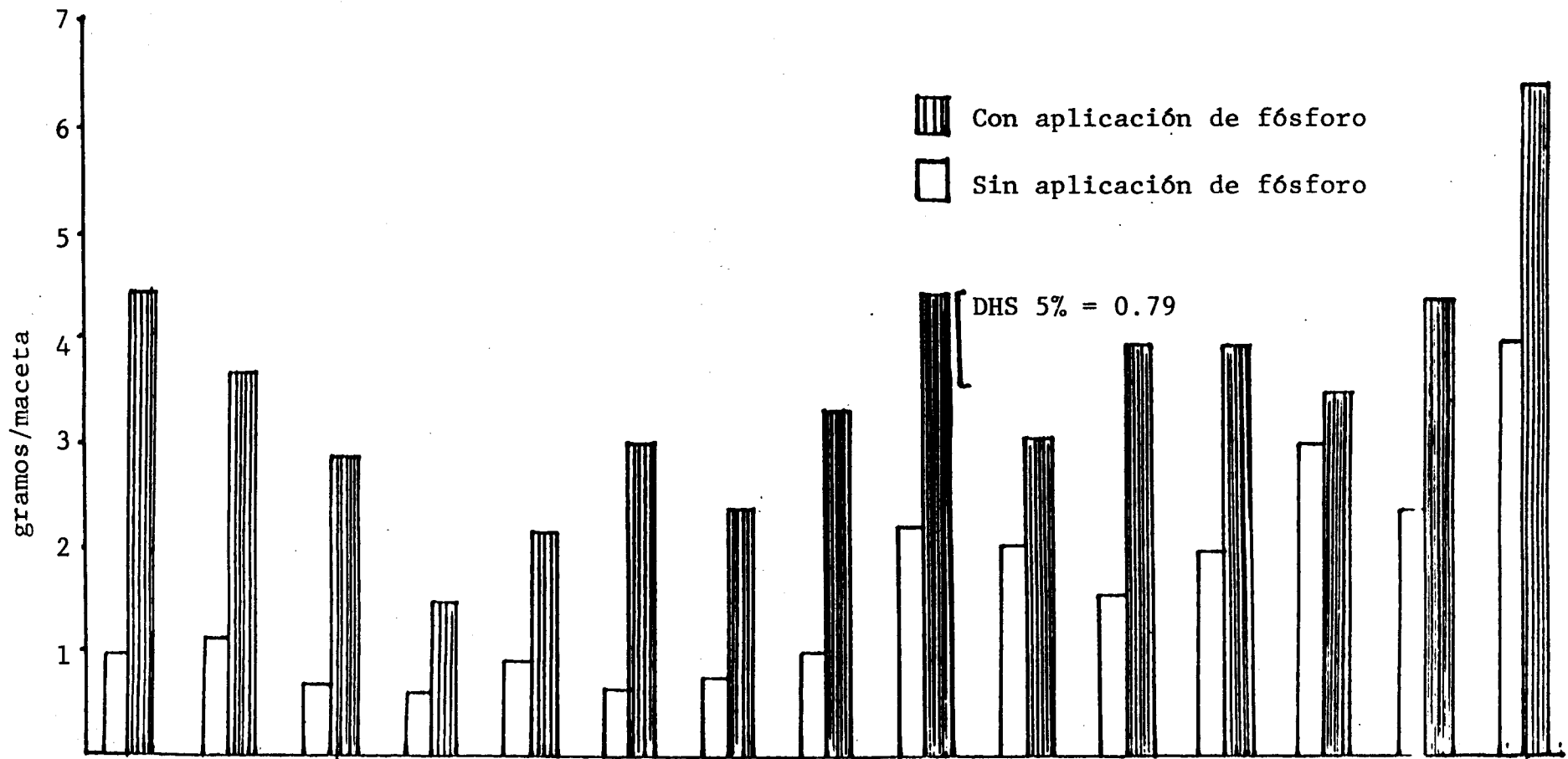
NS = No Significativo.

** = Significancia al 1% de probabilidad.

C.V. = 18.09%

En la Figura 2, se observa la respuesta en rendimiento de materia seca a la adición de fósforo, para cada sitio. En general existe un incremento en el rendimiento al adicionar fósforo al suelo.

Quando el fósforo se extrae con la solución de Carolina del Norte, la mayor probabilidad de respuesta significativa ocurre en los sitios cuyo contenido es de 0 a 20 ppm. Con la solución



Carolina del Norte	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	2.06	2.06	6.62	8.14	9.66	14.22	15.74	20.30	26.28	27.90
Olsen Modificado	1.50	3.00	1.70	2.00	2.30	2.40	2.30	2.60	3.00	3.40	3.45	4.15	6.50	4.10	5.90
Bray P-1	2.00	1.60	2.80	2.00	1.60	2.60	2.40	3.80	3.00	2.80	5.00	3.00	6.40	5.60	8.80

FOSFORO EXTRAIDO - ppm.

Figura 2. Respuesta en rendimiento de materia seca a la aplicación de fósforo, en la serie Cauqué.

extractora Olsen Modificado, la probabilidad de respuesta significativa es de 0 a 4.5 ppm y con la solución Bray P-1, de 0 a 5.0 ppm de fósforo.

3. Fósforo extraído con cada solución extractora.

En el Cuadro 8, se presentan las concentraciones de fósforo nativo que extrae cada solución extractora, así como el porcentaje de rendimiento relativo. Existen diferencias entre las cantidades extraídas, en tanto que los porcentajes de rendimiento relativo tienden a ser bajos y ello indica que los suelos de la serie Cauqué tienen una alta probabilidad de responder a la aplicación de fósforo.

Cuadro 8. Fósforo extraído con las soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en la serie de suelos Cauqué.

Uso del sitio al momento del muestreo	Carolina del Norte	Bray P-1	Olsen Modificado	Porcentaje rendimiento relativo <u>1/</u>
	ppm			
Maíz	27.90	8.80	5.90	60.84
Bosque	0.54	2.00	1.50	20.40
Maíz	9.66	2.80	3.40	65.38
Bosque	2.06	2.60	2.40	18.75
Frijol	0.54	1.60	3.00	30.82
Maíz	2.06	2.40	2.30	30.17
Hortalizas	6.62	3.80	2.60	29.20
Maíz	26.38	5.60	4.10	52.85
Hortalizas	14.22	5.00	3.45	39.12
Maíz	15.74	3.00	4.15	49.47
Bosque	0.54	2.80	1.70	24.10
Maíz	0.54	2.00	2.00	34.23
Maíz	8.14	3.00	3.00	50.72
Bosque	0.54	1.60	2.30	35.93
Frijol	20.30	6.40	6.50	85.88

1/ = $\frac{\text{rendimiento sin fósforo}}{\text{rendimiento con fósforo}} \times 100$

En el Cuadro 9, se aprecia el análisis de varianza para las metodologías de extracción de fósforo. Se concluye que existe diferencia significativa al 5% de probabilidad entre las metodologías y por lo tanto el valor del rango y nivel de concentración crítica de fósforo será diferente con Carolina del Norte, Olsen Modificado y Bray P-1.

Cuadro 9.

Análisis de varianza de las metodologías de extracción de fósforo, en la serie de suelos Cauqué.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 5%
Sitios	14	55.28	0.34 NS	2.06
Metodologías	2	160.72	7.09 *	3.34
Error	28	22.65		
Total	44			

NS = No Significativo.

* = Significancia al 5% de probabilidad.

C.V.= 90%.



4. Rango y nivel de concentración crítica de fósforo.

En el Cuadro 10, se presenta el rango de concentración crítica. Con la metodología de Carolina del Norte el rango crítico es de 6.62 a 8.14 ppm, con Olsen Modificado es de 3.00 a 3.40 ppm y la metodología de Bray P-1 reporta de 5.00 a 6.40 ppm.

Cuadro 10. Rango de concentración crítica de fósforo para la serie Cauqué, según cada metodología de extracción.

Metodología de extracción	Rango de concentración crítica de fósforo. ppm.
Carolina del Norte	6.62 - 8.14
Olsen Modificado	3.00 - 3.40
Bray P-1	5.00 - 6.40

En la Figura 3, se aprecia el método gráfico de Cate-Nelson que determina el nivel crítico respecto a cada metodología de extracción. Con la metodología de Carolina del Norte el nivel crítico es de 7.40 ppm, con Olsen Modificado es de 3.20 ppm, en tanto que con Bray P-1 es de 5.70 ppm.

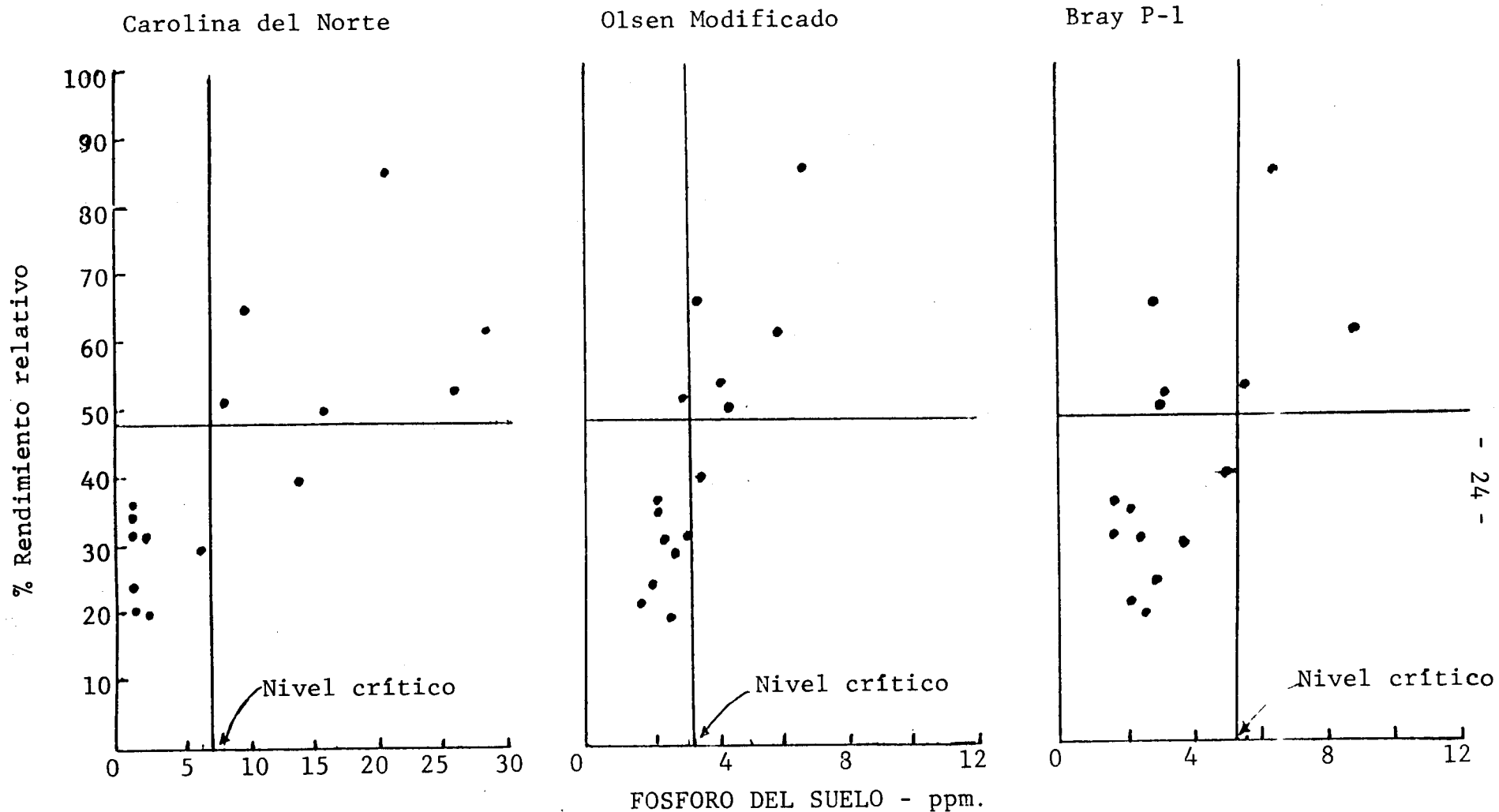


Figura 3. Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras de Carolina del Norte, Olsen Modificado y Bray P-1, en la serie Cauqué.

5. Correlaciones.

5.1. Correlación entre el fósforo extraído con las soluciones de extracción y el rendimiento relativo.

En el Cuadro 11, se observan los coeficientes de correlación entre el fósforo que extrae cada metodología y el rendimiento relativo. La solución de Carolina del Norte presenta un coeficiente de correlación lineal de 0.745, Olsen Modificado de 0.658 y Bray P-1 de 0.634. Los coeficientes que corresponden a Carolina del Norte y Olsen Modificado son significativos al 1% de probabilidad, por lo que se concluye que ambas metodologías pueden utilizarse para el análisis de fósforo en los suelos Cauqué.

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

Metodología de extracción de fósforo	Rendimiento relativo %	r Tabulada 1%
Carolina del Norte	0.745 **	0.641
Olsen Modificado	0.658 **	
Bray P-1	0.634 NS	

** = Significancia al 1% de probabilidad.

NS = No Significativo.

5.2. Correlación entre el fósforo nativo y el contenido de macronutrientes en plántula.

En el Cuadro 12, se presentan los coeficientes de correlación lineal entre el fósforo nativo y el contenido de macronutrientes en plántula. Se aprecia que el fósforo, potasio y rendimiento de biomasa manifiestan una correlación significativa al 1% de probabilidad con los niveles de fósforo nativo encontrados en las muestras de la serie Cauqué, en tanto que el nitrógeno y magnesio muestran una correlación negativa y no significativa.

Cuadro 12. Coeficientes de correlación entre el fósforo nativo y los macronutrientes en plántula, en la serie Cauqué.

Nutriente	Análisis de plántula					Rendimiento Biomasa.	r Tabulada 1%
	N	P	K	Ca	Mg		
Fósforo nativo	-0.175 NS	0.664 **	0.650 **	0.134 NS	-0.446 NS	0.892 **	0.641

** = Significancia al 1% de probabilidad.

NS = No Significativo.

B. Serie Tecpañ.

1. Características físicas y químicas.

En el Cuadro 13, se observan las características físicas y químicas de los sitios muestreados.

Las clases texturales encontradas para la serie corresponden a franco-arenoso, franco-arcillo-arenoso, franco-arcillo-limoso y franco.

El análisis químico indica que el pH es ligeramente ácido con valores de 6.2 a 6.6, lo que es adecuado para la buena disponibilidad de nutrientes.

La materia orgánica varía en un intervalo de 1.50 a 4.72 por ciento, que corresponden a niveles bajos y medianamente bajos.

La capacidad de intercambio catiónico se reporta de 14.66 a 37.43 meq/100 g, y es variable ya que los sitios 1, 4, 5, 7 y 8 presentan valores bajos, mientras que el resto reporta valores adecuados y medianamente altos. Este comportamiento se demuestra por la correlación que guarda con el contenido de arcilla, no así con la materia orgánica.

Las bases intercambiables, calcio, magnesio, sodio y potasio se encuentran en niveles bajos, a excepción de los sitios 2, 3 y 9 que reportan niveles adecuados de magnesio.

El porcentaje de saturación de bases se considera bajo debido a que los niveles de las bases no satisfacen la capacidad de intercambio que muestran los suelos.

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

En el Cuadro 14, se observa el análisis de varianza para el rendimiento de materia seca en función del nivel adicionado de fósforo. Se concluye que no existe diferencia significativa al 1% de probabilidad entre sitios, pero sí entre los niveles evaluados dentro de cada sitio. Este comportamiento se debe al contenido inicial de fósforo de cada muestra.

SITIO	GRANULOMETRIA			CLASE TEXTURAL	COLOR		Densidad aparente g/cc	pH	% Materia Orgánica	CATIONES INTERCAMBIABLES meq/100 g suelo					% Saturación de Bases
	ARCILLA	LIMO	ARENA		SECO	HUMEDO				CIC	Ca	Mg	Na	K	
	%	%	%												
1	10.34	18.48	71.18	Franco arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	1.02	6.6	2.98	17.64	6.74	1.50	0.12	0.55	50.51
2	24.36	25.64	50.00	Franco arcillo-arenoso	Pardo-pardo oscuro	Pardo muy oscuro	1.31	6.4	2.05	22.33	7.45	3.80	0.27	0.48	52.56
3	17.94	27.53	54.53	Franco arenoso	Pardo Amarillento	Pardo oscuro	1.23	5.6	1.50	21.53	8.29	2.76	0.29	1.42	59.00
4	10.08	11.45	78.47	Franco arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	1.23	6.4	2.20	15.89	4.39	0.80	0.08	1.16	40.46
5	18.31	22.43	59.21	Franco arenoso	Pardo Amarillento	Pardo muy oscuro	1.18	6.5	2.78	16.56	5.86	0.71	0.11	0.75	44.36
6	21.36	22.40	56.24	Franco arcillo-arenoso	Pardo Amarillento	Pardo oscuro	1.00	6.5	3.18	27.32	9.46	2.03	0.21	1.32	47.56
7	16.60	17.03	66.37	Franco arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	1.21	6.4	2.60	17.87	5.53	0.53	0.09	0.97	39.84
8	12.67	15.96	71.37	Franco arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	1.29	6.4	2.06	14.66	4.87	0.53	0.08	0.35	39.77
9	35.63	46.32	18.00	Franco arcillo-arenoso	Pardo	Pardo oscuro	0.87	6.4	4.72	36.26	12.67	3.34	0.13	2.67	51.37
10	16.85	18.65	64.50	Franco arenoso	Pardo-pardo oscuro	Pardo Oscuro	0.98	6.4	2.80	20.42	5.88	1.74	0.11	0.78	41.67
11	24.30	22.92	52.78	Franco arcillo-arenoso	Pardo-pardo oscuro	Pardo muy oscuro	1.02	6.4	3.70	30.00	9.14	2.55	0.12	1.10	43.03
12	23.02	21.40	50.58	Franco arcillo-arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	1.00	6.2	3.10	24.46	6.94	1.70	0.08	1.41	41.11
13	30.85	25.54	43.61	Franco arcillo-arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	1.02	6.4	3.13	27.71	8.45	1.88	0.20	1.45	43.23
14	30.31	28.02	41.67	Franco arcillo-arenoso	Pardo	Pardo muy oscuro	0.97	6.5	4.20	37.43	12.20	2.74	0.13	2.06	45.77
15	18.13	31.80	50.07	Franco	Pardo Amarillento	Pardo muy oscuro	1.13	6.5	3.19	26.28	7.05	1.86	0.18	1.20	39.16

Cuadro 13. Características físicas y químicas de la serie Tecpán.

Cuadro 14. Análisis de varianza del rendimiento de biomasa, para la serie de suelos Tecpán.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Sitios de muestreo	14	2.27	0.17 NS	2.40
Niveles/sitio	15	13.05	93.88 **	2.35
Error	60	0.139		
Total	89			

NS = No Significativo.

** = Significancia al 1% de probabilidad.

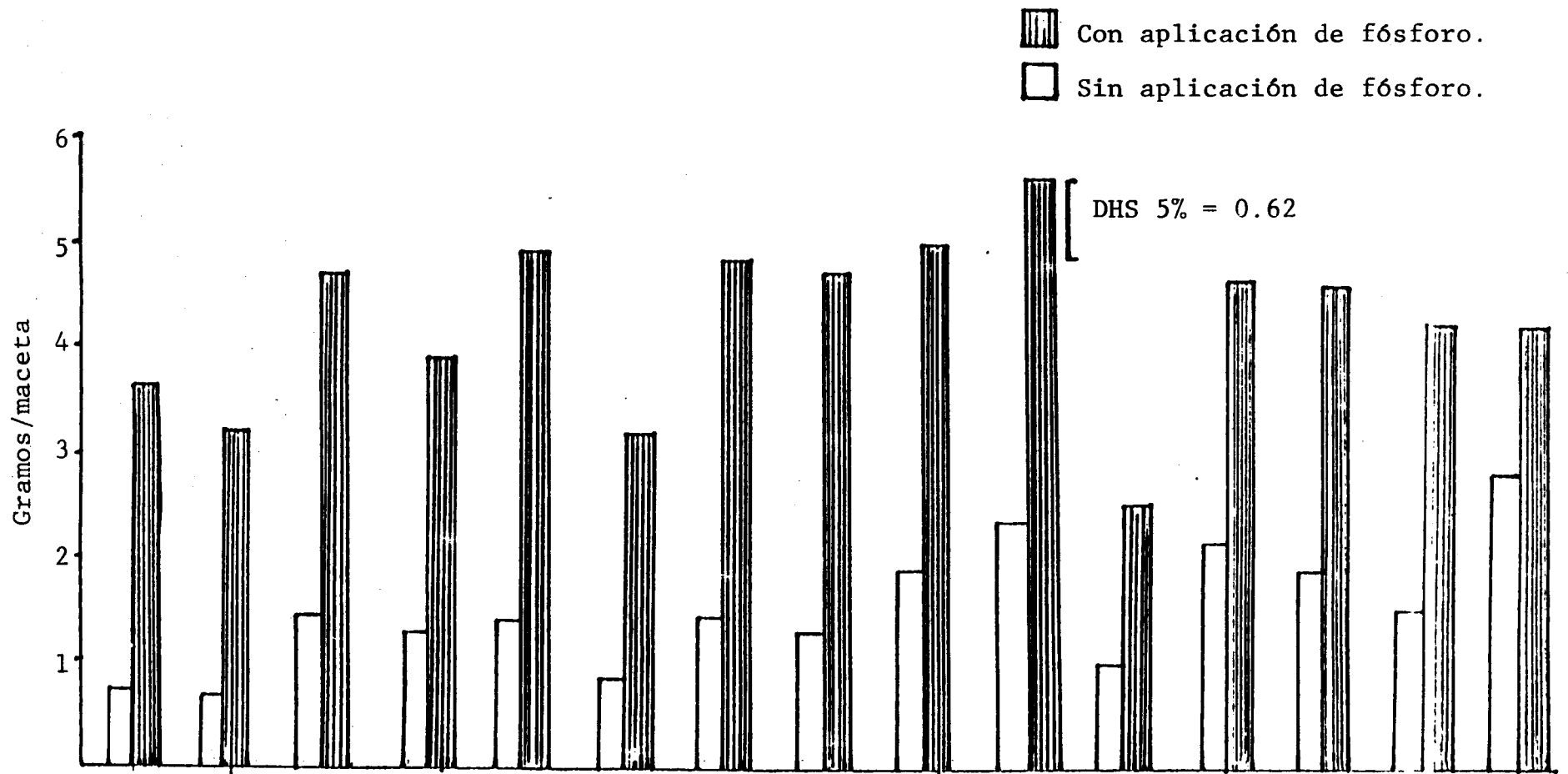
C.V.= 13.26 %

En la Figura 4, se observa la respuesta en rendimiento de materia seca a la adición de fósforo, para cada sitio. En términos generales, todos los sitios incrementaron su rendimiento al aplicar fósforo al suelo.

Se deduce que cuando el fósforo se extrae con la solución de Olsen Modificado la mayor probabilidad de respuesta significativa ocurre en los sitios cuyo contenido de fósforo es de 0 a 7 ppm. Con la solución de Carolina del Norte, la probabilidad de respuesta significativa se presenta de 0 a 15 ppm y con la solución Bray P-1 se presenta de 0 a 5 ppm.

3. Fósforo extraído con cada solución.

En el Cuadro 15, se presentan las concentraciones de fósforo nativo, extraído con cada solución extractora, así como el porcentaje de rendimiento relativo. Se aprecian diferencias en las cantidades que extrae cada solución, en tanto que el rendimiento relativo varía entre 19 a 64%, los cuales son considerados bajos y manifiestan que los suelos de la serie Tecpán tienen una alta probabilidad de responder a la aplicación de fósforo.



Olsen Modificado	1.50	2.00	2.60	3.80	3.80	4.00	4.20	4.60	4.70	6.00	6.00	6.20	6.70	6.80	9.20
Carolina del Norte	8.14	2.06	0.54	12.70	12.70	2.06	12.70	20.30	2.06	6.22	6.22	9.66	9.66	14.22	14.22
Bray P-1	4.60	2.40	2.40	5.60	6.10	3.40	6.10	6.40	2.60	3.40	3.40	5.40	2.00	6.60	2.60

FOSFORO EXTRAIDO - ppm.

Figura 4. Respuesta en rendimiento de materia seca a la aplicación de fósforo, en la serie Tecpán.

Cuadro 15. Fósforo extraído con las soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en la serie de suelos Tecpán.

Uso del sitio al momento del muestreo	Carolina del Norte	Bray P-1 ppm	Olsen Modificado	Porcentaje de rendimien to relativo
Pasto	12.70	5.60	3.80	30.26
Maíz	14.22	2.60	9.20	64.46
Maíz	9.66	2.00	6.70	41.40
Maíz	20.30	6.40	4.60	25.93
Pasto	9.66	5.40	6.20	46.93
Bosque	6.22	3.40	6.00	41.35
Papa	12.70	6.10	4.20	26.72
Maíz	8.14	4.60	1.50	19.68
Bosque	2.06	2.60	4.70	37.10
Bosque	2.06	2.40	2.00	19.13
Maíz	2.06	3.40	4.00	23.34
Pasto	6.62	3.40	6.00	36.19
Papa	12.70	6.10	3.80	26.86
Maíz	14.22	6.60	6.80	34.96
Bosque	0.54	2.40	2.60	19.81

En el Cuadro 16, se observa el análisis de varianza para las metodologías de extracción de fósforo, se concluye que existe diferencia significativa al 5% de probabilidad entre las metodologías de extracción, por lo tanto, el valor del rango y nivel de concentración crítica de fósforo será diferente con Carolina del Norte, Olsen Modificado y Bray P-1.

Cuadro 16.

Análisis de varianza de las metodologías de extracción de fósforo, en la serie de suelos Tecpán.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 5%
Sitios	14	20.65	0.21 NS	2.06
Metodologías	2	99.09	10.53 *	3.34
Error	28	9.41		
Total	44			

NS = No Significativo.

* = Significancia al 5% de probabilidad.

C.V. = 51%.

4. Rango y nivel de concentración crítica de fósforo.

En el Cuadro 17, se presenta el rango de concentración crítica en función de la metodología de extracción. Con la metodología de Carolina del Norte el rango crítico es de 8.14 a 9.66 ppm. Con Olsen Modificado es de 4.70 a 6.00 ppm y con la metodología de Bray P-1 es de 2.40 a 2.60 ppm.

Cuadro 17. Rango de concentración crítica de fósforo para la serie de suelos Tecpán, según cada metodología de extracción.

Metodología de extracción	Rango de concentración crítica de fósforo. ppm.
Carolina del Norte	8.14 - 9.66
Olsen Modificado	4.70 - 6.00
Bray P-1	2.40 - 2.60

En la Figura 5, se observa el nivel crítico respecto a cada metodología de extracción. Con la metodología de Olsen Modificado el nivel crítico es de 5.35 ppm, para la metodología de Carolina del Norte es de 8.90 ppm, en tanto que con Bray P-1 es de 2.5 ppm.

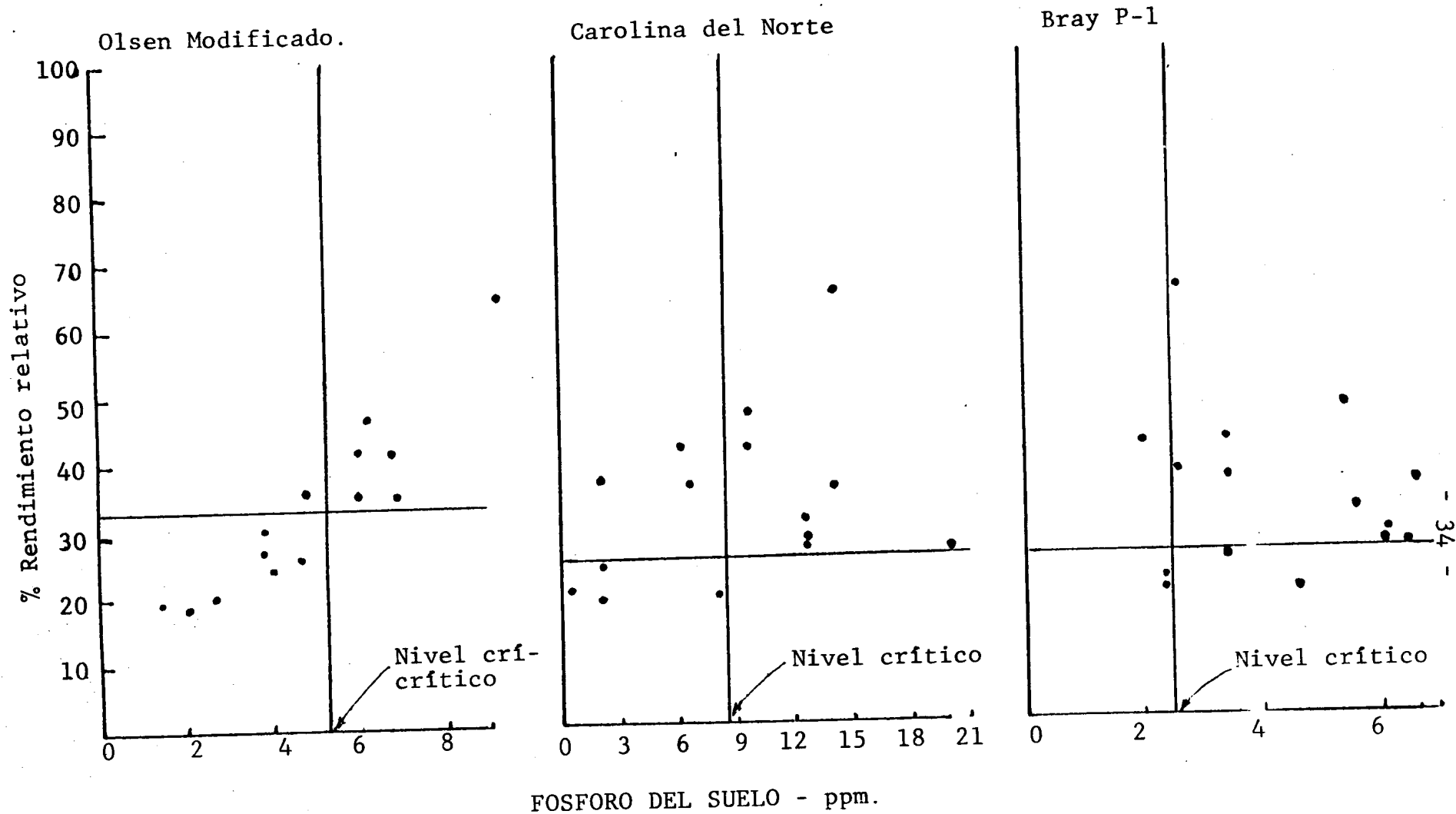


Figura 5. Nivel crítico de fósforo con las soluciones extractoras de Olsen Modificado, Carolina del Norte y Bray P-1, en la serie Tecpán.

5. Correlaciones.

5.1. Correlación entre el fósforo extraído con las soluciones de extracción y el rendimiento relativo.

En el Cuadro 18, se presentan los coeficientes de correlación lineal entre el fósforo que extrae cada metodología y el rendimiento relativo. La solución de Olsen Modificado reporta un coeficiente de 0.922, el cual es significativo al 1% de probabilidad, Carolina del Norte 0.265 y Bray P-1 de -0.189.

Se concluye que Olsen Modificado correlaciona mejor la disponibilidad de fósforo en los suelos Tecpán con el rendimiento relativo, y puede utilizarse para el análisis de este elemento.

Cuadro 18. Coeficientes de correlación entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en la serie de suelos Tecpán.

Metodología de extracción de fósforo.	Rendimiento relativo. %	r Tabulada 1%
Olsen Modificado	0.922 **	0.641
Carolina del Norte	0.265 NS	
Bray P-1	-0.189 NS	

** = Significancia al 1% de probabilidad.

NS = No Significativo.

5.2. Correlación entre el fósforo nativo y el contenido de macronutrientes en plántula.

En el Cuadro 19, se presentan los coeficientes de correlación lineal entre el fósforo nativo y el contenido de macronutrientes en plántula. Se observa que existe una estrecha relación entre la disponibilidad de fósforo, que presentan las muestras de suelo de la serie, con el fósforo foliar y el rendimiento de biomasa, tal como lo muestran los coeficientes de correlación significativos al 1% de probabilidad. El nitrógeno, potasio, calcio y magnesio no muestran un grado de asociación significativo.

Cuadro 19. Coeficientes de correlación entre el fósforo nativo y los macronutrientes en plántula, en la serie de suelos Tecpán.

Nutriente	Análisis de plántula					Rendimiento biomasa.	r Tabulada 1%
	N	P	K	Ca	Mg		
Fósforo nativo	-0.097 NS	0.810 **	-0.043 NS	-0.322 NS	-0.208 NS	0.814 **	0.641

** = Significancia al 1% de probabilidad.

NS = No Significativo.

VII. CONCLUSIONES.

Al analizar los resultados se concluye:

1. Para la serie Cauqué, el rango y nivel de concentración crítica de fósforo es el siguiente:

Con Carolina del Norte el rango de concentración es de 6.62 a 8.14 ppm y el nivel crítico de 7.4 ppm.

Con Olsen Modificado el rango de concentración es de 3.00 a 3.40 ppm y el nivel crítico de 3.20 ppm.

Con Bray P-1 el rango de concentración es de 5.00 a 6.40 ppm y el nivel crítico de 5.70 ppm.

2. Para la serie Tecpán, el rango y nivel de concentración crítica de fósforo es el siguiente:

Con Carolina del Norte el rango de concentración es de 8.14 a 9.66 ppm y el nivel crítico de 8.90 ppm.

Con Olsen Modificado el rango de concentración es de 4.70 a 6.00 ppm y el nivel crítico de 5.35 ppm.

Con Bray P-1 el rango de concentración es de 2.40 a 2.60 ppm y el nivel crítico de 2.50 ppm.

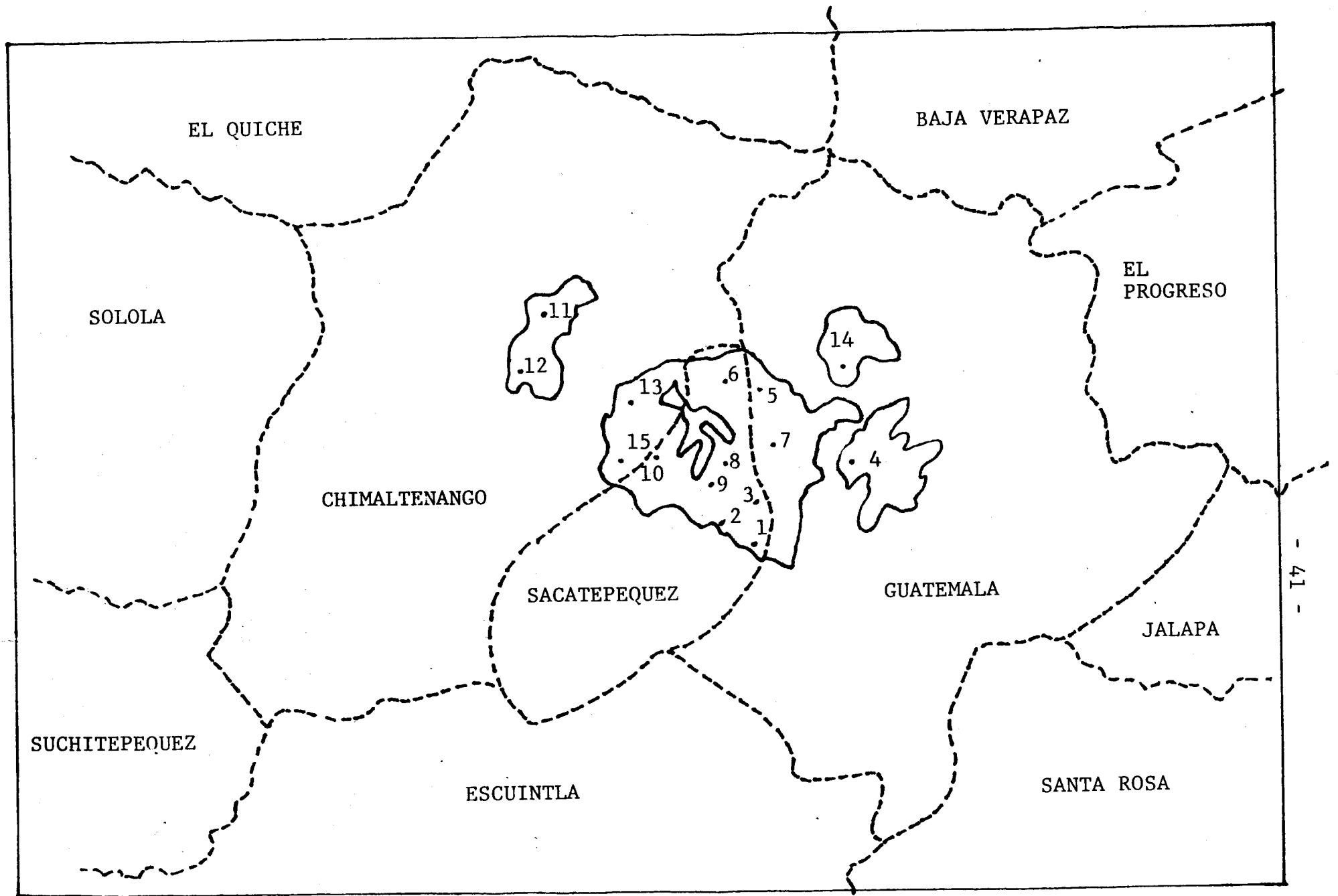
3. Para la serie de suelos Cauqué, las metodologías de extracción de Carolina del Norte y Olsen Modificado reportaron coeficientes de correlación de 0.745 y 0.658 respectivamente, los que son significativos al 1% de probabilidad. Se concluye que se pueden utilizar cualesquiera de las dos metodologías para el análisis de fósforo.

4. Para la serie de suelos Tecpán, la metodología de extracción de fósforo Olsen Modificado presenta un coeficiente de correlación lineal de 0.922, significativo al 1% de probabilidad; por lo tanto es la que se debe utilizar para el análisis de fósforo y predicciones de respuesta a la fertilización fosfatada.

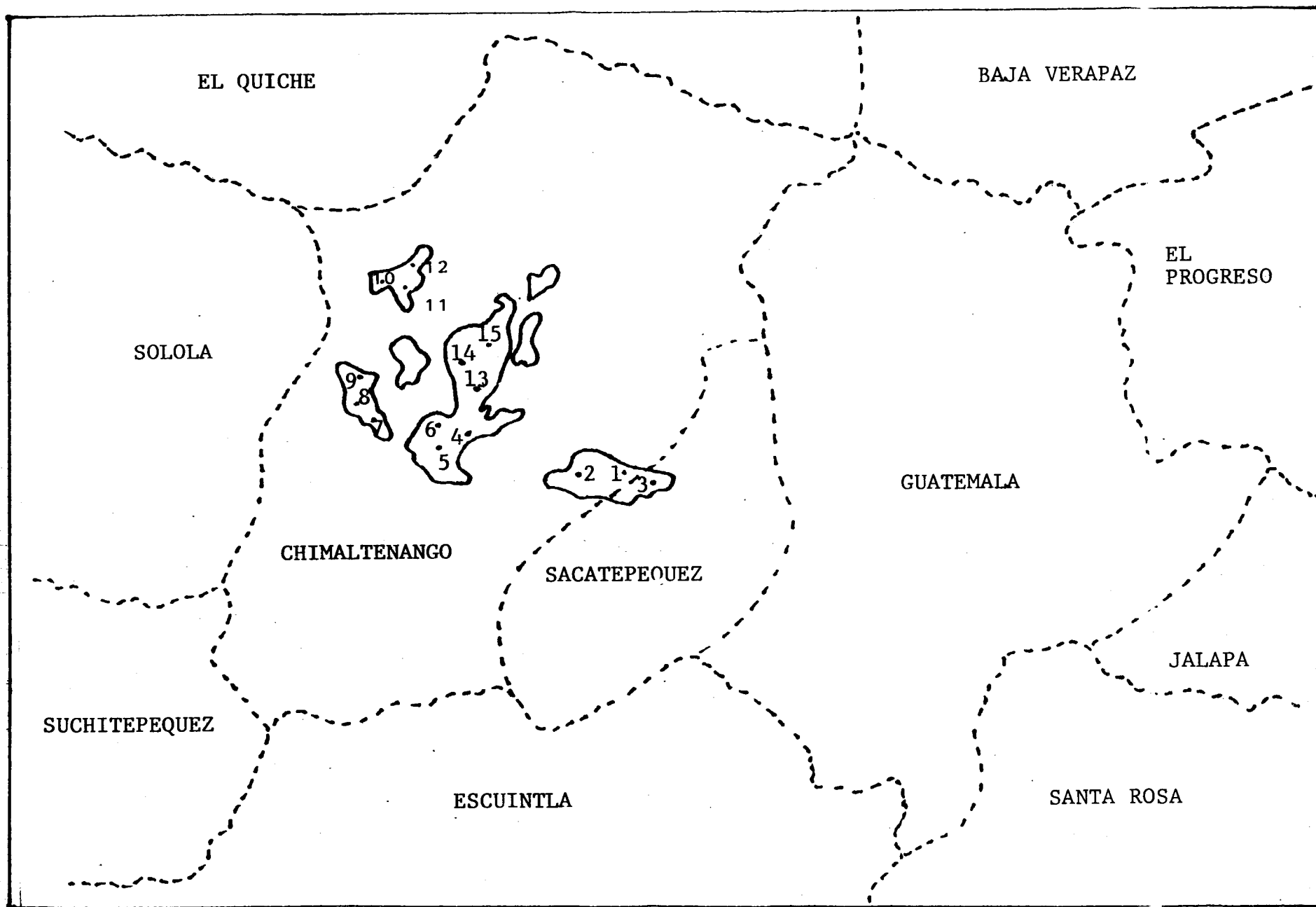
VIII. RECOMENDACIONES.

1. Calibrar el valor de rango y nivel de concentración crítica de fósforo para la serie de suelos Cauqué y Tecpán, en condiciones de campo y en diferentes cultivos, con las soluciones extractoras de Carolina del Norte y Olsen Modificado, respectivamente.
2. Realizar estudios de fraccionamiento de fósforo y determinar niveles críticos para Potasio, Calcio y Magnesio, en las series de suelos Cauqué y Tecpán

IX. APENDICE.



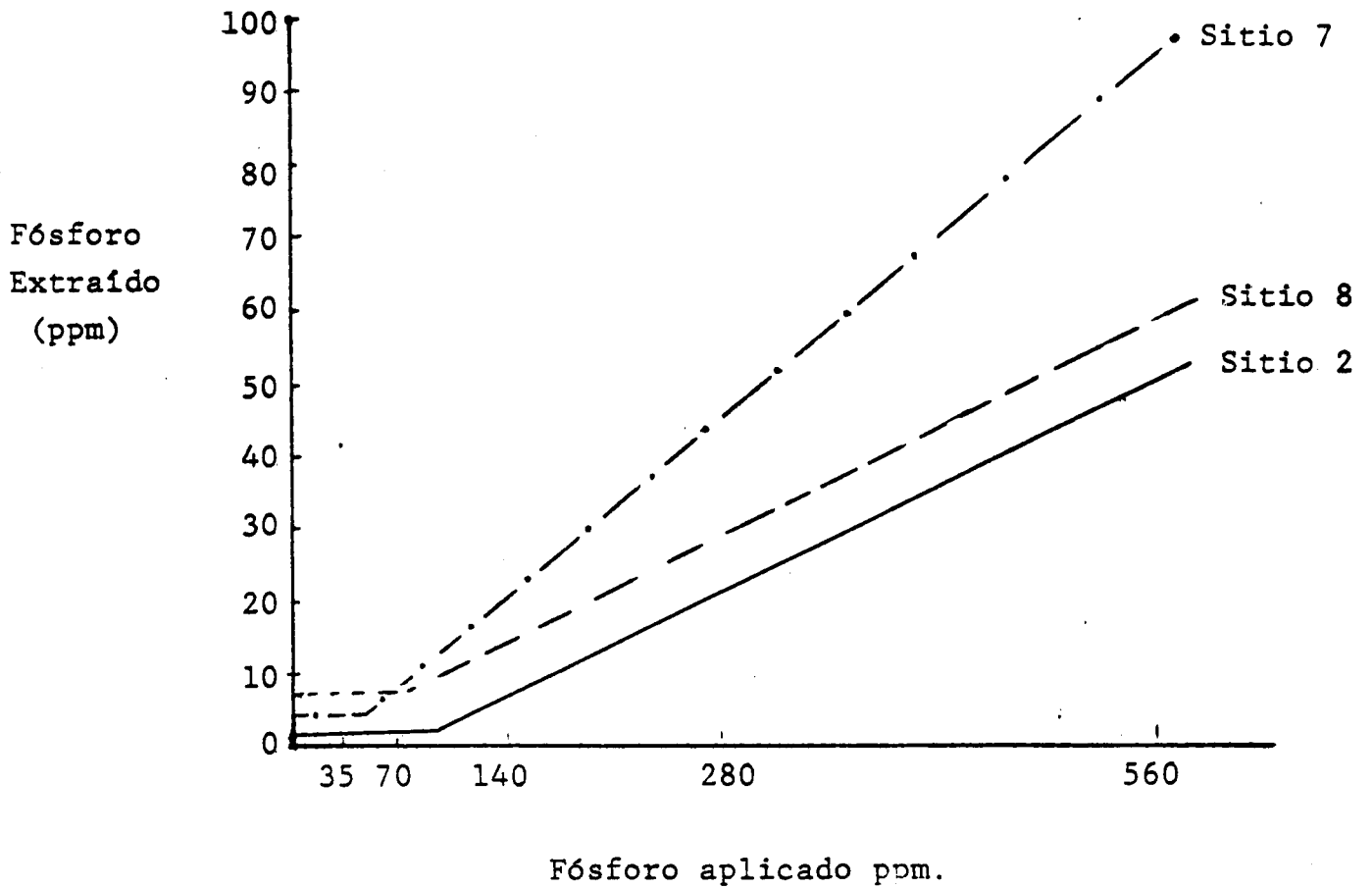
Apéndice 1. Distribución de los sitios de muestreo para la serie de suelos Cauqué.



Apéndice 2. Distribución de los sitios de muestreo para la serie de suelos Tecpán.

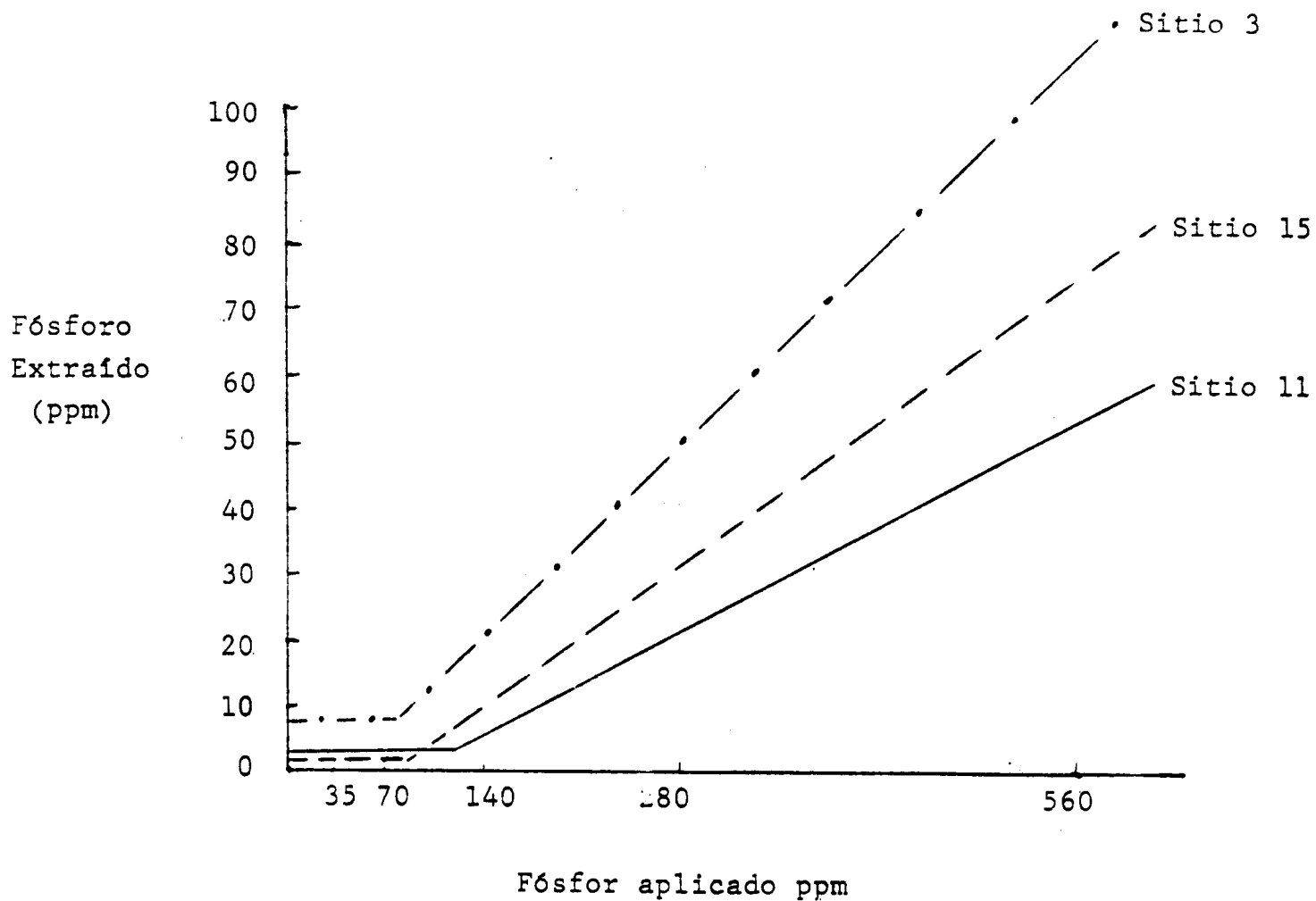
Apéndice 3.

Curvas típicas de sorción de fósforo, observadas en la serie de suelos Cauqué.



Apéndice 4.

Curvas típicas de sorción de fósforo, observadas en la serie de suelos Tecpán.



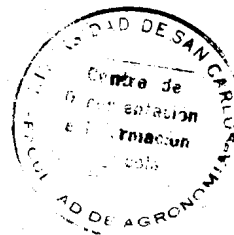
X. BIBLIOGRAFIA.

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. 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).
3. DIAZ, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 68 p.
4. DIAZ MOSCOSO, M.R. Comportamiento del fósforo, extraído con Carolina del Norte y Olsen Modificado en tres series de suelo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1984. 88 p.
5. ESTRADA ORTIZ, H.L. Determinación del nivel crítico de potasio por análisis foliar en dos estados fenológicos del maíz (Zea mays L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1984. 43 p.
6. ESPINOZA NAVARRO, R.É. Determinación del nivel crítico de fósforo con dos metodologías de extracción en las series de suelos Tempisque y Sinaneque, la Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1986. 37 p.
7. FASSBENDER, H.W. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA; 1980. 398 p.
8. GUERRERO, R. El diagnóstico químico de la fertilidad. In Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Cali, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencias del Suelo, 1979. pp. 141-143.
9. MALAVOLTA, E. et al. La nutrición natural en algunas cosechas tropicales. Sao Paulo, Brasil, Universidad, Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1964. -- 163 p.

10. PACHECO, R. La nutrición fosfórica en suelos de diferente fertilidad. Tesis Ing. Agr. Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1977. 20 p.
11. PALENCIA, J.A. Correlación para análisis de fósforo y potasio en suelo; programa de nutrición vegetal. Guatemala, ICTA, 1974. pp. 5-14.
12. SANCHEZ, P.A. Suelos del trópico; características y manejo. Trad. por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA, 1981. 660 p.
13. SIMMONS, CH., TARANO, M. y PINTO, J. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra, 1959. 1000 p.
14. STEEL, R. y TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.
15. WAUGH, D.L. y FITTS, J.W. Estudios de interpretación de análisis de suelo; laboratorio de análisis de suelo y planta. Carolina del Norte, Universidad, Estación Experimental Agrícola, 1966. 13 p. (Boletín Técnico, no. 3).
16. YUFERA, P.E. y CARRASCO, J.M. Química agrícola, suelos y fertilizantes. Madrid, Alhambra, 1973. v. 1, 470 p.

Vo. Bo.

Patuallé



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia _____
Asunto _____

~~IMPRESIONES DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA~~
~~UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA~~



ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.
DECANO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central