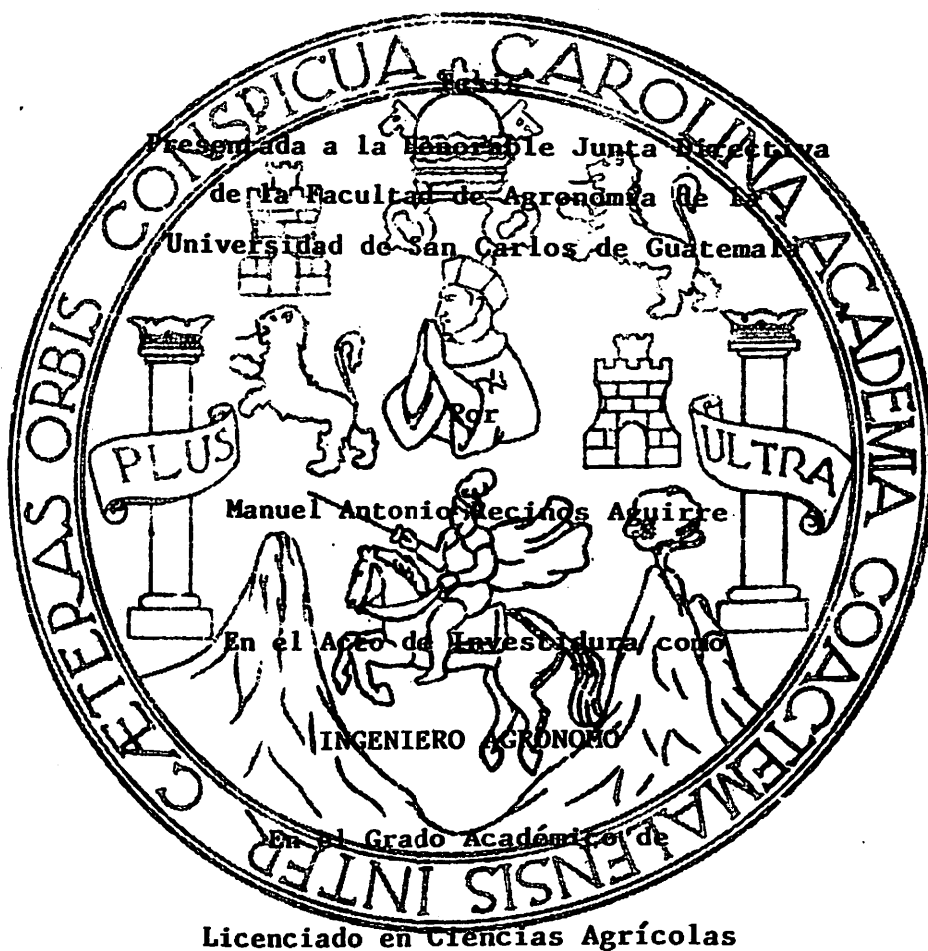


K

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

"DETERMINACION DEL NIVEL Y RANGO CRITICO
PARA FOSFORO Y POTASIO CON DIFERENTES SOLUCIONES EXTRACTORAS,
EN LA SERIE DE SUELOS CULMA"



Guatemala, Octubre de 1991

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**RECTOR**

Dr. Alfonso Fuentes Soria

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Efraín Medina G.
Vocal Primero:	Ing. Agr. Mynor Estrada
Vocal Segundo:	
Vocal Tercero:	Ing. Agr. Wotzbelí Méndez
Vocal Cuarto:	P. Agr. Alfredo Itzep
Vocal Quinto:	P. Agr. Marco Tulio Santos
Secretario:	Ing. Agr. Marco R. Estrada M.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Ing. Agr. Gustavo Méndez
Ing. Agr. Ricardo Miyares
Ing. Agr. Víctor M. Alvarez

Guatemala, agosto de 1991.

Honorable Junta Directiva y Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

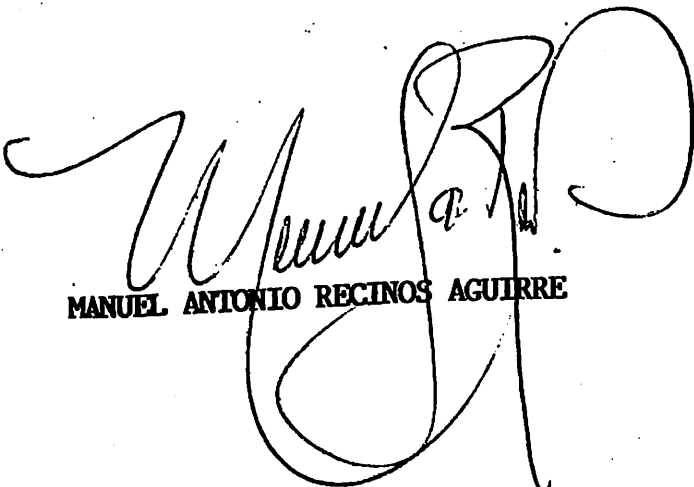
Señores Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el Honor de Someter a Vuestra Consideración, el trabajo de tesis titulado:

**"DETERMINACION DEL NIVEL Y RANGO CRITICO
PARA FOSFORO Y POTASIO CON DIFERENTES SOLUCIONES EXTRACTORAS,
EN LA SERIE DE SUELOS CULMA"**

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

Atentamente,



MANUEL ANTONIO RECINOS AGUIRRE

TESIS QUE DEDICO:

- Al** **DION, como mi único Guadador. Toda Verdadera.**
- A:** **Guatemala.**
- A LA:** **Escuela Normal Central para Varones.**
- A LA:** **Universidad de San Carlos de Guatemala.**
- A LA:** **Facultad de Agronomía.**
- AL:** **Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.**

ACTO QUE DEDICO:**A MIS PADRES:**

Manuel Antonio Recinos y Recinos (Q.E.P.D.)

Dolores Giselda Aguirre Vda. de Recinos

Mis más sinceros agradecimientos por el apoyo, amor
y dedicación recibidos.**A MI HIJA:**

Ana Lisette Recinos Vásquez

Todo mi amor y cariño.

A MIS HERMANOS:

José Antonio Recinos Aguirre

Francisco Leonel Recinos Aguirre

Glenda Lizet Recinos Aguirre

Con mucho cariño.

A MIS TIAS:

Sara Ebelia Aguirre de Roca

Enriqueta Recinos Vda. de Velásquez

Con mucho cariño.

A MIS SOBRINOS Y FAMILIARES EN GENERAL.**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DEL ESTADO.**

SINCEROS AGRADECIMIENTOS:

A MI ASESOR:

Ing. Agr. José Jesús Chonay

A LOS INGENIEROS AGRONOMOS:

Salvador Castillo

Rudy Sierra

Romeo Solano Aviles.

A MIS COMPAÑEROS:

Saúl Campos Roca

Aníbal Salbaja.

INDICE

	PAGINA
RESUMEN	
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEORICO	4
3.1 MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1 FIJACION DE FOSFORO	4
3.1.2 FIJACION DE POTASIO	5
3.1.3 COMPOSICION QUIMICA DE ALGUNAS SOLUCIONES EXTRAC TORAS	6
3.1.4 NIVEL CRITICO	8
3.1.5 METODO GRAFICO DE CATE-NELSON PARA LA DETERMINA- CION DEL NIVEL CRITICO	9
3.1.6 NIVELES Y RANGOS CRITICOS PARA FOSFORO Y POTASIO ENCONTRAMOS EN ALGUNAS SERIES DE SUELOS DE GUATE MALA	11
3.2 MARCO REFERENCIAL	13
3.2.1 LOCALIZACION	13
3.2.2 DESCRIPCION DE LA SERIE EXPERIMENTAL	13
3.2.2.1 Descripción de la Serie de Suelos Culma	13
3.2.2.2 Localización de los Suelos de la Serie Culma	14
3.2.2.3 Planta Indicadora	14
4. OBJETIVOS	16
5. HIPOTESIS	16
6. METODOLOGIA	17
6.1 TECNICAS DE MUESTREO Y DESCRIPCION DE LOS PUNTOS MUESTREA DOS	17

	PAGINA
6.1.1 MUESTREO DE SUELOS	17
6.1.2 SELECCION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	17
6.2 DETERMINACIONES FISICAS Y QUIMICAS DE LAS MUESTRAS DEL SUELO	20
6.2.1 CARACTERISTICAS FISICAS	20
6.2.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS	20
6.2.3 ANALISIS DE FOSFORO Y POTASIO	21
6.2.3.1 Método de Carolina del Norte	21
6.2.3.2 Método de Bray 1	21
6.2.3.3 Acetato de Amonio	21
6.3 CURVA DE FLJACION DE FOSFORO Y POTASIO EN LOS PUNTOS DE MUESTREO	22
6.4 NIVELES DE FOSFORO Y POTASIO EVALUADOS	24
6.5 TRATAMIENTOS	24
6.6 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	25
6.6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	25
6.6.2 VARIABLES RESPUESTA A MEDIR	26
6.6.3 ANALISIS DE DATOS	26
6.7 MANEJO DEL EXPERIMENTO	27
RESULTADOS	30
7.1 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LA SERIE DE SUELOS CULMA	30
7.2 RENDIMIENTO DE BIOMASA EXPRESADO EN MATERIA SECA PARA CADA NIVEL EVALUADO EN CADA SITIO DE MUESTREO	33
7.3 RENDIMIENTO DE BIOMASA POR EFECTO DE LOS NIVELES DE FOSFORO Y POTASIO ADICIONADOS	34
7.4 FOSFORO EXTRAIDO CON CADA SOLUCION EXTRACTORA	38
7.5 RANGO Y NIVEL DE CONCENTRACION CRITICA DE FOSFORO	40

7.6	CORRELACIONES DE FOSFORO	42
7.6.1	CORRELACIONES ENTRE EL FOSFORO EXTRAIDO CON LAS SOLUCIONES DE EXTRACCION Y EL RENDIMIENTO RELATIVO	42
7.6.2	CORRELACION ENTRE EL FOSFORO NATIVO EXTRAIDO CON LAS SOLUCIONES CAROLINA DEL NORTE Y BRAY 1, Y EL CONTENIDO DE MACRONUTRIENTES EN LA PLANTULA	42
7.6.3	CORRELACION ENTRE EL FOSFORO ADICIONADO Y EL CONTENIDO DE MACRONUTRIENTES EN PLANTAS DE LA SERIE DE SUELOS CULMA	43
7.6.4	CORRELACION ENTRE EL FOSFORO EXTRAIDO CON LA METODOLOGIA DE CAROLINA DEL NORTE Y FOSFORO EXTRAIDO POR BRAY 1, PARA LA SERIE DE SUELOS CULMA	44
7.7	POTASIO EXTRAIDO CON CADA SOLUCION EXTRACTORA	45
7.8	RANGO Y NIVEL CRITICO DE POTASIO	47
7.9	CORRELACIONES DEL POTASIO	50
7.9.1	CORRELACION ENTRE EL POTASIO NATIVO EXTRAIDO CON LAS SOLUCIONES DE EXTRACCION Y EL CONTENIDO DE MACRONUTRIENTES EN LA PLANTA	50
7.9.2	CORRELACION ENTRE EL POTASIO ADICIONADO Y EL CONTENIDO DE MACRONUTRIENTES EN LA PLANTA	51
7.9.3	CORRELACION ENTRE LAS CANTIDADES DE POTASIO EXTRAIDO CON LAS METODOLOGIAS EXTRACTORAS DE CAROLINA DEL NORTE, BRAY 1 Y ACETATO DE AMONIO, EN LA SERIE DE SUELOS CULMA	51
8.	CONCLUSIONES	53
9.	RECOMENDACIONES	54
10.	BIBLIOGRAFIA	55
11.	APENDICE	58

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Soluciones extractoras utilizadas en el análisis de fósforo y potasio.	7
2	Tratamiento del estudio de sorción de fósforo y potasio en la serie de suelos Culma, para determinar curvas de fijación	23
3	Ubicación, uso actual y nivel de fósforo y potasio evaluados para cada sitio de muestreo, en la serie de suelos Culma	24
4	Cantidad del elemento y compuesto utilizado en solución para los tratamientos de nitrógeno, fósforo y potasio	27
5	Cantidad micro-elemento y compuesto utilizado en solución para los niveles deseados de Mn, Cu, Zn y B	28
6	Características físicas y químicas de los suelos Culma	32
7	Análisis de varianza del rendimiento de Biomasa para la serie de suelos Culma	33
8	Análisis de efectos factoriales medios de rendimientos de biomasa, para la serie de suelos Culma	36
9	Análisis de varianza del rendimiento de materia seca, para cada sitio de muestreo, en la serie de suelos Culma	37
10	Análisis de varianza de las metodologías de extracción de fósforo, en suelos Culma	38
11	Fósforo, extraído con las soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en la serie de suelos Culma	39

CUADRO

PAGINA

12	Rango de concentración crítica de fósforo para la serie de suelos Culma	40
13	Coeficiente de correlación entre las metodologías de extracción Carolina del Norte y Bray 1 y el rendimiento relativo, en la serie de suelos Culma	42
14	Coeficiente de correlación entre el fósforo nativo y los macronutrientes en plantas, en la serie de suelos Culma	43
15	Coeficiente de correlación entre el fósforo adicionado y los macronutrientes en plantas en la serie de suelos Culma	44
16	Coeficiente de correlación entre el fósforo extraído con Carolina del Norte y el fósforo extraído con Bray 1, para la serie de suelos Culma	45
17	Potasio extraído con las soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en la serie de suelos Culma	46
18	Análisis de varianza de las metodologías de extracción de potasio, en la serie de suelos Culma	47
19	Coeficiente de correlación entre el potasio nativo y los macronutrientes en plantas en la serie de suelos Culma	50
20	Coeficiente de correlación entre el potasio adicionado y los macronutrientes en plantas, en la serie de suelos Culma	51

CUADRO

PAGINA

- 21 Coeficiente de correlación entre las cantidades de potasio con las metodologías de Carolina del Norte, Bray 1 y Acetato de Amonio, en la serie de suelos Culma

52

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Análisis de datos de caña de azúcar de Pernambuco, Brasil por el método Cate-Nelson. Cada punto representa una parcela de campo	15
2	Mapa del Departamento de Jutiapa, ubicación de la serie Culma	18
3	Mapa del Departamento de Jalapa, ubicación de la serie Culma	19
4	Nivel crítico de fósforo con la solución extractora de Carolina del Norte, en la serie de suelos Culma	41
5	Nivel crítico de fósforo con la solución extractora de Bray 1 en la serie de suelos Culma	41
6	Presentación del Método Gráfico de Cate y Nelson para potasio con la solución extractora de Carolina del Norte, en la serie de suelos Culma	49
7	Presentación del Método Gráfico de Cate y Nelson para potasio con la solución extractora de Bray 1, en la serie de suelos Culma	49
8	Presentación del método gráfico de Cate y Nelson para potasio con la solución extractora de Acetato de Amonio, en la serie de suelos Culma	49

INDICE DE APENDICE

APENDICE

PAGINA

- 1 Curvas típicas de Sorción de Fósforo, observada en la serie
de suelos Culma 59
- 2 Curvas de Sorción de Potasio, observadas en la serie de sue-
los Culma 60

DETERMINACION DEL NIVEL Y RANGO CRITICO PARA FOSFORO Y POTASIO
CON DIFERENTES SOLUCIONES EXTRACTORAS, EN LA SERIE DE SUELOS CULMA.

DETERMINATION OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM CRITICAL RANK AND LEVEL,
USING DIFFERENT EXTRACTING SOLUTIONS, IN THE CULMA SOIL SERIES.

RESUMEN

La serie de suelos Culma se encuentra localizada al oriente de la República de Guatemala específicamente en los departamentos de Jutiapa y Jalapa y actualmente no existe información sobre las correctas dosificaciones de fósforo y potasio para esta serie de suelos. Para el efecto, fueron seleccionados 30 sitios para la toma de igual número de muestreos representativos, tomándose en cuenta las diferentes condiciones de manejo proporcionados por los agricultores de estas zonas de producción agrícola del país, con el propósito de establecer el nivel y rango crítico para fósforo y potasio a nivel de invernadero, con las soluciones extractoras de Carolina del Norte, Bray 1, Acetato de Amonio.

La disponibilidad de Fósforo y Potasio en las muestras de suelos seleccionados fue variable; y esta variabilidad se correlacionó con el porcentaje de rendimiento relativo de materia seca a través del método gráfico propuesto por Cate-Nelson. De esta manera se determinó, para fósforo, que las metodologías de extracción de Carolina del Norte y Bray 1 pueden utilizarse para el análisis de este elemento en la serie de suelos Culma, pues presentaron una correlación de 0.67 y 0.76 respectivamente, y estadísticamente estos valores son significativos. Así mismo, se determinó un nivel crítico de 9.00 ppm. y un rango de concentración crítica de 8.00 a 11.00 ppm. empleando la solución de Carolina del Norte y con la solución de Bray 1 un nivel crítico de 10.00 ppm. y un rango de concentración crítica de 9.00 a 13.00 ppm.

Con respecto al potasio y correlacionando las variables indicadas, los valores obtenidos manifestaron mucha dispersión, se evidencia que en ellos los índices de confiabilidad son bajos; situación que nos indica que estas soluciones extractoras no correlacionan con los rendimientos relativos. No obstante, no fue posible determinar el rango y nivel crítico para potasio, debido a que los valores de los rendimientos relativos son altos, presentando estos suelos baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio.

Tomando en consideración los valores de fósforo obtenidos, es conveniente calibrar el valor de rango y nivel de concentración crítica, en condiciones de campo y en diferentes cultivos, así como también, evaluar otras soluciones extractoras para potasio, en la serie de suelos Culma.

1. INTRODUCCION

Guatemala es afectada por la marcada tendencia al incremento de los precios de los insumos agrícolas; entre ellos se menciona a los fertilizantes, los cuales han aumentado considerablemente su valor, a tal grado que los productos agrícolas se han convertido en artículos de difícil adquisición para el consumo de muchos hogares guatemaltecos.

Esta situación, ha obligado a los investigadores de las ciencias agrícolas, entre otras cosas, a adaptar a las condiciones agroecológicas del país una metodología que permita el uso racional y eficiente de los fertilizantes, lo cual trae como consecuencia la reducción de los costos de producción y colateralmente, la disminución de los precios de los productos agrícolas.

En Guatemala, se ha utilizado el nivel crítico como una metodología adecuada, que permite la recomendación de fertilizantes. En este sentido, se empleó para determinar, en invernadero, el nivel y rango de concentración crítica para el fósforo y potasio en suelos de la serie Culma, con las soluciones extractoras de Carolina del Norte ($\text{HCl } 0.05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0.025 \text{ N}$), Bray 1 ($\text{NH}_4\text{F } 0.03 \text{ N} + \text{HCl } 0.025 \text{ N}$) y Acetato de Amonio ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ IN pH 7).

En este estudio, se considerò importante determinar el comportamiento de las soluciones extractoras con los suelos de la serie Culma, para así seleccionar aquella que presente una mejor correlación entre el rendimiento relativo y cantidades de nutrimentos extraídos del suelo.

Para el efecto, se utilizò como planta indicadora el Sorgo (Sorghum vulgare), pues Díaz y Hunter (7), indican que es sensible a la mayoría de deficiencias, crece rápido, tiene semilla pequeña y crece bien en un amplio rango de condiciones climáticas y edáficas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, son varias las zonas de producción agrícola en las que los suelos, han sido muestreados, estudiados y analizados en los diferentes laboratorios que actualmente funcionan en nuestro país. De las muestras procedentes de la República el 55% acusaron deficiencia de fósforo, de lo que se deduce en términos generales que existe igual probabilidad de encontrar suelos con adecuado nivel de fósforo como deficientes. En igual forma se comprobó de los suelos procedentes de la República, se encontró que el 42% mostraron deficiencia de potasio en forma disponible. Esto denota que las mayores deficiencias de nutrimentos disponibles para las plantas son básicamente el fósforo y potasio, ya que estos elementos son los que en mayor cantidad incorpora la planta a su metabolismo y por lo tanto son los que más han sido estudiados.

El uso inmoderado de los fertilizantes y el alza de sus precios, entre otras cosas, han sido suficientes para realizar la presente investigación.

Con el propósito de efectuar un diagnóstico sobre las formas disponibles de los nutrientes en el suelo, los investigadores norteamericanos Cate-Nelson, propusieron el método gráfico para la determinación de los niveles críticos. A través del empleo de esta técnica, se puede conocer si las cantidades de fósforo y potasio se encuentran disponibles para la planta, o si se encuentran escasos o excesivos.

Esta técnica permite además, realizar aplicaciones racionales de estos elementos a los suelos, lo cual redundará en un manejo adecuado de los mismos, en cuanto a la fertilización, considerando los conceptos de la ley del mínimo de Liebig y la ley de los rendimientos decrecientes. Esto trae como consecuencia una economía para el agricultor en particular.

3. MARCO TEORICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 FIJACION DE FOSFORO: ⁽²⁾

La fijación del fósforo se refiere a cualquier procedimiento o mecanismo por medio del cual las formas solubles y disponibles son convertidas a formas insolubles y no disponibles a la planta. El origen del suelo afecta la fijación del fósforo; según Swindale (26), menciona que en suelos derivados de cenizas volcánicas la fijación es una característica debido a la formación de Taranakita, que son cristales o minerales claramente reconocibles que se forman a partir de la alófana.

Wada (30), encontró que el fosfato de amonio reacciona con la alofana, formando fosfato insoluble (taranakita sustituida con amonio). Esta reacción tiene lugar muy rápidamente a pH 4, pero más lenta a pH 7.

Birrel (1), manifiesta que la fijación es resultado de la actividad de los aluminofosfatos. Las formas más solubles de fósforo cambian a formas menos solubles a causa de los iones de aluminio a pH ácidos.

Sánchez (23), este autor considera la fijación como el proceso que altera la disponibilidad de los compuestos fosfatados conforme lo indica el crecimiento de la planta. El proceso consiste en la transformación de fosfatos monocálcicos solubles en fosfatos menos solubles de calcio, aluminio o hierro.

Palencia (19), indica que al caracterizar algunos suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas de Centro América, encontró una correlación negativa entre el contenido de fósforo disponible y el aluminio extraíble y

el Fe_2O_3 , señalando que se debe al efecto de fijación por la formación de fosfatos de hierro y aluminio.

Kobo y Ohba (15), sugiere que el carácter mineralógico de las cenizas volcánicas pueden tener gran importancia sobre la fijación de fósforo, pero de todas maneras, ésta se incrementa con el grado de interpretación y también con el contenido de arcilla.

Fassbender (9), indica que el tipo de arcilla es otro factor que influye en el fenómeno de fijación de fósforo por el coloide inorgánico; el ión fosfato reemplaza al radical OH, o es absorbido por la micela de arcilla mediante un puente de calcio.

Tisdale y Nelson (27), señalan que los suelos con alto contenido de arcilla y arcillas de baja relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, tienen mayor poder de fijación.

3.1.2

FIJACION DE POTASIO

Suárez (24), define esta fijación como el proceso mediante el cual el potasio aprovechable pasa a la forma lentamente no aprovechable, debido a que los iones de potasio se encierran en las unidades de la celosía cristalina de los minerales arcillosos tipo 2:1 expandibles del grupo de la montmorillonita. Se ha demostrado que los iones de potasio se encierran entre las unidades de la micela cuando la arcilla montmorillonita se hincha y se encoge.

Cook, M. G. y Hutchenson (5), comprobaron que las arcillas del tipo 2:1 tienen alto poder de fijación, no encontrándose este problema en los

minerales de arcilla tipo 1:1. Al respecto, Morthand (18), observó que el tipo de arcilla como la montmorillonita y la vermiculita fijan el potasio, el cual podría ser tomada directamente por la planta para su desarrollo, y el potasio de la biotita era más disponible a la planta que el potasio de la illita y muscovita.

Sin embargo, la humedad del suelo es otro factor que interviene en la fijación directa del potasio, pues Haway y colaboradores (13) trabajando con suelos de Iowa concluyeron que al efectuar la extracción de potasio, el contenido de humedad de éstos sí influía grandemente en la correlación de disponibilidad del elemento.

Bornemiza (2), trabajando con suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas comprobó que al secarlos al aire o al horno mostraban una marcada tendencia a fijar potasio, pero al humedecerlos, la disponibilidad del potasio aumentaba aunque en cantidades pequeñas.

3.1.3 COMPOSICION QUIMICA DE ALGUNAS SOLUCIONES EXTRACTORAS

En el Cuadro 1, se muestran varias soluciones extractoras que han sido utilizadas para la determinación de fósforo y potasio.

Cuadro 1. Soluciones extractoras utilizadas en el análisis de fósforo y potasio.

Solución extractora	Composición química	Relación	
		Suelo:	Solución
Carolina del Norte*	H_2SO_4 0.025N + HCl 0.05N		1:5
Olsen**	NaHCO_3 0.5M a pH 8.5		1:20
Olsen modificado*	NaHCO_3 0.5N + EDTA 0.01M		1:10
Bray 1**	NH_4F 0.03N + HCl 0.025 N		1:7
Bray 2***	NH_4F 0.3N + HCl 0.02N		1:7
Acetato de amonio***	$\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ IN a pH 7		1:5
NO_3H **	NO_3H IN		1:10

FUENTE: * Díaz y Hunter (7); ** Saiz del Río (22); *** Salinas y Sánchez (21).

La solución de Carolina del Norte es ampliamente usada en suelos con pH menor de 6.65 y la solución de Olsen en suelos con un amplio rango de pH, desde ácido hasta alcalino.

El Programa Internacional de Fertilidad y Mejoramiento de Suelo (ISFEIP) mencionado por Sánchez (23), introdujo una solución extractora modificada de NaHCO_3 (Olsen), que parece ser ideal para indicar el estado de disponibilidad de P, K, Ca, Zn, Mn, Fe, Cu y NH_4 .

La solución extractora de acetato de amonio normal parece ser la más común para extraer el potasio. Los intentos de utilizar la misma solución extractora que se usa para fósforo, en la estimación del potasio disponible, también han sido satisfactorios.

Los métodos de Carolina del Norte, Bray 2, Cloruro de Potasio 0.3N y Na-EDTA, son efectivos para extraer fosfatos de calcio y de aluminio, mientras el método alcalino de Olsen es sensitivo al fosfato de hierro.

3.1.4 NIVEL CRITICO

La última etapa del proceso de calibración de las diversas metodologías de análisis, es la que se refiere a la obtención de niveles críticos de los diferentes elementos; niveles que van a constituir los criterios básicos del diagnóstico del estado de la fertilidad del suelo.

Guerrero (12), indica que la determinación de los niveles críticos se realiza para la metodología de extracción que haya dado los mejores resultados, es decir, que muestre una correlación entre la absorción de nutrientes por la planta o con los rendimientos relativos.

El procedimiento para obtener los niveles críticos consiste en: muestreo de suelo, análisis químico con las soluciones extractoras, ensayo de invernadero, selección y ubicación del nivel crítico. Además, nos permite agrupar los suelos en categorías de acuerdo a su fertilidad.

En la determinación de los niveles críticos se utiliza la información concerniente a la correlación entre los valores del elemento disponible en el suelo y los valores correspondientes al rendimiento relativo obtenido con la aplicación del elemento o elementos en estudio. La alta correlación positiva obtenida previamente entre estas dos variables garantizará que el grupo de suelos que muestran bajos niveles disponibles del nutrimento corresponda con bajos rendimientos relativos, estos suelos van a presentar altas probabilidades de respuesta a la aplicación de nutrientes. Por el contrario, el grupo de suelos que tenga altos niveles disponibles del

nutrimento corresponderá a altos rendimientos relativos, estos suelos van a presentar bajas probabilidades de respuesta.

Hunter (14), indica que el uso del análisis del suelo como un medio para determinar el estado de fertilidad y disponibilidad de nutrientes para la planta, está basado en la determinación de los niveles críticos en relación a la solución de extracción utilizada cuando la concentración de un elemento medido en el suelo está por debajo de ese nivel, el crecimiento de la planta estará restringido por el grado en que el elemento se encuentre por debajo del mismo.

Urlich (28), lo define como la concentración de nutrientes en las plantas, debajo de la cual el crecimiento, el rendimiento y la calidad declinan significativamente.

Salinas y Sánchez (21), definen el nivel crítico como la concentración de nutrientes que puede ser extraída del suelo y afecta positivamente el rendimiento máximo estable. A un nivel menor, la producción y calidad del cultivo declinan significativamente.

3.1.5 METODO GRAFICO DE CATE-NELSON PARA LA DETERMINACION DEL NIVEL CRITICO

Según Cate-Nelson (4), el método gráfico consiste en plotear los valores de los rendimientos relativos en función del análisis de suelos, tal como se ilustra en la Figura 1. Es conveniente utilizar un plástico transparente de superposición dividido en cuadrantes por líneas horizontales y verticales; este se sobrepone sobre los datos, de tal manera que el mayor número de punto se ubiquen en los cuadrantes inferior izquierdo y superior derecho, y el número menor de puntos se deja en los cuadrantes superior

izquierdo e inferior derecho. El punto en que la línea vertical corta el eje "X" se considera que es el nivel crítico para el método de análisis de suelo bajo consideración. El punto en que la línea horizontal corta el eje "Y" separa a los suelos de respuesta alta de los de respuesta baja.

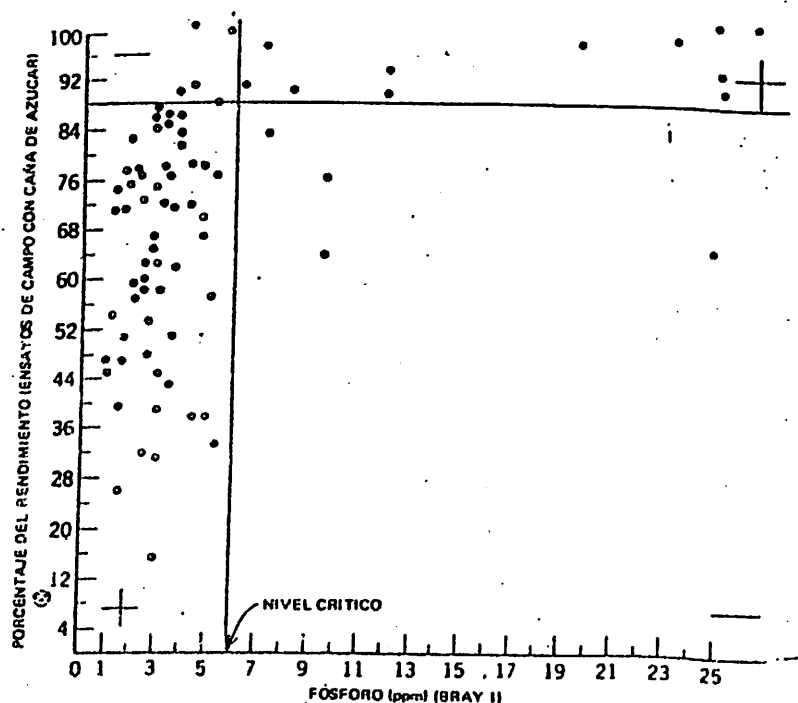


Fig. 1. Análisis de datos de caña de azúcar de Pernambuco, Brasil, por el método Cate-Nelson. Cada punto representa una parcela de campo. (Fuente: ISFEIP, 1967).

3.1.6 NIVELES Y RANGOS CRITICOS PARA FOSFORO Y POTASIO ENCONTRADOS EN ALGUNAS SERIES DE SUELOS DE GUATEMALA

Meneses (17), señala que los niveles críticos en la serie de suelos Alotenango son: para fósforo, con Carolina del Norte es de 12.4 ppm., con Olsen Modificado 15.4 ppm. y Morgan modificado por Wolf es de 5.2 ppm. Para el potasio con la solución de extracción de Carolina del Norte es de 90 ppm. con Olsen modificado es de 140 ppm. y con Morgan modificado por Wolf es de 85 ppm.

Espinoza (8), indica que la serie Tempisque, el rango y el nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la solución extractora de Carolina del Norte, el rango de concentración crítica es de 10 ppm. a 16 ppm. y el nivel crítico es de 13 ppm. Con la solución extractora de Olsen modificado, el rango de concentración crítica es de 2.8 ppm. a 4 ppm. y el nivel crítico es de 3.4 ppm. También indica que en la serie sinaneque, el rango y nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la solución extractora de Carolina del Norte el rango crítico es de 23 ppm. a 28 ppm. y el nivel crítico es de 25 ppm. Para la solución extractora de Olsen modificado el rango crítico es de 3 ppm. a 3.5 ppm. y el nivel crítico es de 3.45 ppm.

Marquez (16), indica que en la serie cauqué, el rango y nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la metodología de Carolina del Norte, el rango de concentración crítica es de 6.62 ppm. a 8.14 ppm. y el nivel crítico es de 7.4 ppm. Con la metodología de Olsen modificado, el rango de concentración crítica es de 3 ppm. a 3.4 ppm. y el nivel crítico es de 3.2 ppm. También indica que para la serie Tecpán, el rango y nivel crítico es el siguiente: con la metodología de Carolina del Norte el rango crítico es de 8.14 ppm. a 9.66 ppm. y el nivel crítico es de 8.9 ppm. Con la metodología de Olsen modificado el rango crítico es de 4.7 ppm. a 6 ppm. y

el nivel crítico es de 5.35 ppm.

Yoc (29), para la serie de suelos Suchitepéquez el rango y el nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la metodología de Carolina del Norte, el rango crítico es de 6 ppm. a 10 ppm. y el nivel crítico es de 7 ppm. Con la metodología de Bray 2, el rango crítico es de 12 ppm. a 22 ppm. y el nivel crítico de 15 ppm. Para la serie Suchitepéquez, el rango y el nivel crítico de potasio es el siguiente: con la metodología de Carolina del Norte el rango crítico es de 80 ppm. a 95 ppm. y su nivel crítico es de 88 ppm. Con la metodología de Bray 2, el rango crítico es de 120 ppm. a 130 ppm. y el nivel crítico es de 125 ppm. La solución de acetato de amonio su rango crítico es de 130 ppm. a 165 ppm. y el nivel crítico es de 150 ppm.

En Guatemala, Palencia (19), determinó que para granos básicos, en distintas regiones del país, utilizando la solución extractora de Carolina del Norte, el nivel crítico de fósforo es de 5.7 ppm. y para potasio es de 54 ppm.

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 LOCALIZACION

El trabajo de investigación se realizó en el invernadero de la Facultad de Agronomía, el cual se encuentra ubicado en la ciudad universitaria zona 12, ciudad capital, Guatemala. Sus coordenadas son 14 35'11" latitud norte y 90 31'58" longitud oeste y a una altura de 1,502.32 msnm, con una precipitación anual de 1,246 mm. distribuidos en 110 días del año, con una temperatura media de 18.2 C, con una humedad relativa de 79% (11).

3.2.2 DESCRIPCION DE LA SERIE EXPERIMENTAL

3.2.2.1 Descripción de la Serie de Suelos Culma.

Según Simmons, Tárano y Pinto (25), los suelos de la serie Culma son moderadamente profundos, bien drenados, desarrollados sobre material máfico, en clima seco.

Están asociados con los suelos de la serie Mongoy, serie Jalapa, serie Suchitán y son casi similares a la serie Comapa, pero son más pedregosos y más cafés que éstos. La vegetación natural es un bosque bajo, lleno de muchas especies xerofíticas.

El suelo superficial es de textura franco-arcilloso, friable, de color café oscuro, tiene muchas piedras felsíticas negras, en la superficie y el pH es de 6.5.

El suelo superior, a una profundidad de 35 cm. es franco arcilloso, café rojizo, el cual posee muchas piedras, con un pH de 6.0.

El subsuelo, a una profundidad cerca de 80 cm. con arcilla friable de color café rojizo que en la mayoría de los lugares tiene muchas piedras, el pH es de 5.5.

3.2.2.2 Localización de los Suelos de la Serie Culma.

Simmons, Tárano y Pinto (25), indican que los suelos Culma se encuentran localizados en los departamentos de Jutiapa y Jalapa; comprenden 60,678 hectáreas, o sea el 0.55% del área de la República.

Pineda Martínez (20), indica que los suelos Quequexque y el Progreso, corresponden a la serie Culma.

3.2.2.3 Planta Indicadora.

Para determinar los niveles críticos de fósforo y potasio en la serie de suelos estudiada, fue necesario el uso de una planta indicadora que sea sensible a la aplicación de nutrientes.

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

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

Por las características señaladas, en el presente estudio se utilizó el Sorghum vulgare, perteneciente a la familia de las Gramineas.

Sus características son: posee tallos erectos, macizos de 0.6 a 2.5 metros de altura. En cada yema lateral se encuentra un nudo, hojas solitarias en los nudos, alternas. Los nudos llevan acanaladuras de un a otro, junto a las yemas laterales y las hojas son de limbos sin vellosidades y de superficie cénica. El sistema radicular es muy ramificado y sin raíz pivotante.

La espiga es compacta, con muchas ramificaciones primarias. Las semillas pueden ser blanca, rojas, amarillas o pardas.

Para el presente estudio se utilizó la variedad Guatecau, que produce grano blanco y que se adapta a alturas de 1 a 1,290 msnm.

4. OBJETIVOS

- 4.1 Seleccionar la metodología de extracción para el análisis de fósforo y potasio que correlacione con el rendimiento relativo, para la serie de suelos Culma.
- 4.2 Correlacionar el contenido de macronutrientes en la planta con los niveles de fósforo y potasio aplicados.
- 4.3 Determinar el nivel y rango de concentración crítica de fósforo y potasio en la serie de suelos Culma, utilizando las soluciones extractoras de Carolina del Norte (HCl 0.05 N + H_2SO_4 0.025 N) y Bray 1 (NH_4F 0.03 N + HCl 0.025 N) y Acetato de Amonio $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ IN pH7.

5. HIPOTESIS

- 5.1 Al menos una metodología de extracción, correlaciona con el rendimiento relativo y la disponibilidad de fósforo y potasio en la serie de suelos Culma.
- 5.2 Los niveles de fósforo y potasio aplicados al suelo afectan el contenido de macronutrientes en la planta.
- 5.3 El nivel y rango crítico de fósforo y potasio, es diferente para cada solución de extracción en la serie de suelos Culma.

6.. METODOLOGIA

6.1 TECNICAS DE MUESTREO Y DESCRIPCION DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

6.1.1 Muestreo de Suelos.

Para la recolección de las muestras de suelos, se utilizó la técnica propuesta por Fitts y Waugh (10), que consiste en seleccionar 30 sitios con diferente manejo. El muestreo de cada sitio se realizó a una profundidad de 25 cm. en diferentes puntos tomados al azar hasta coleccionar 45 kilogramos de suelo.

Cada muestra compuesta comprende 15 submuestras simples de cada sitio muestreado.

Previo a ser sometidas a los análisis respectivos, las muestras fueron secadas al aire, pasadas a través de un tamiz de 2 mm. y homogenizadas.

6.1.2 Selección de los Puntos de Muestreo.

Para seleccionar los puntos de muestreo de la serie de suelos bajo estudio, se consideró su distribución en los departamentos de Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa; tal como se muestra en las Figuras 2 y 3.

El uso actual de los suelos bajo estudio, se determinó tomando como base el cultivo que se observó al momento de realizar el muestreo.

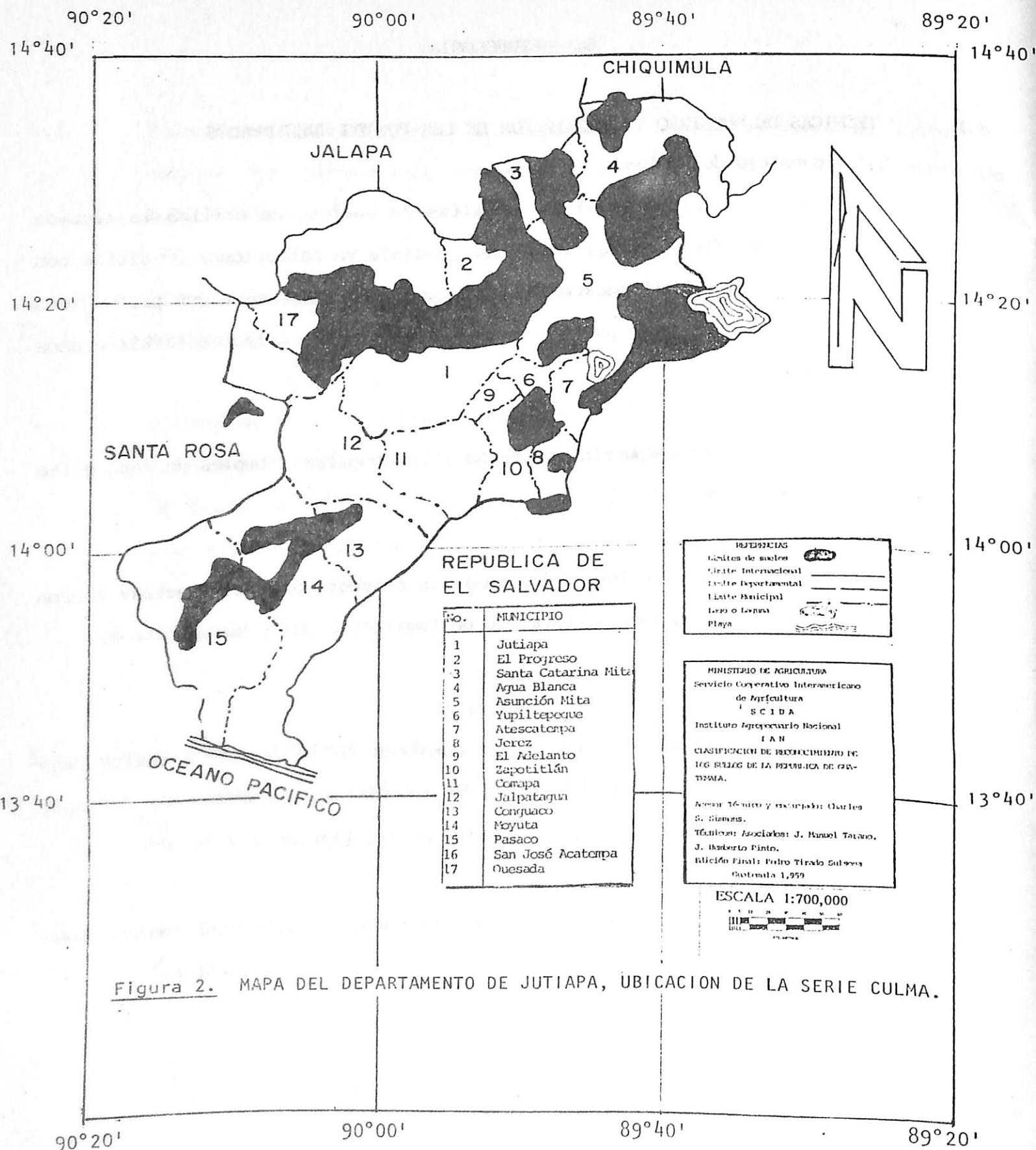
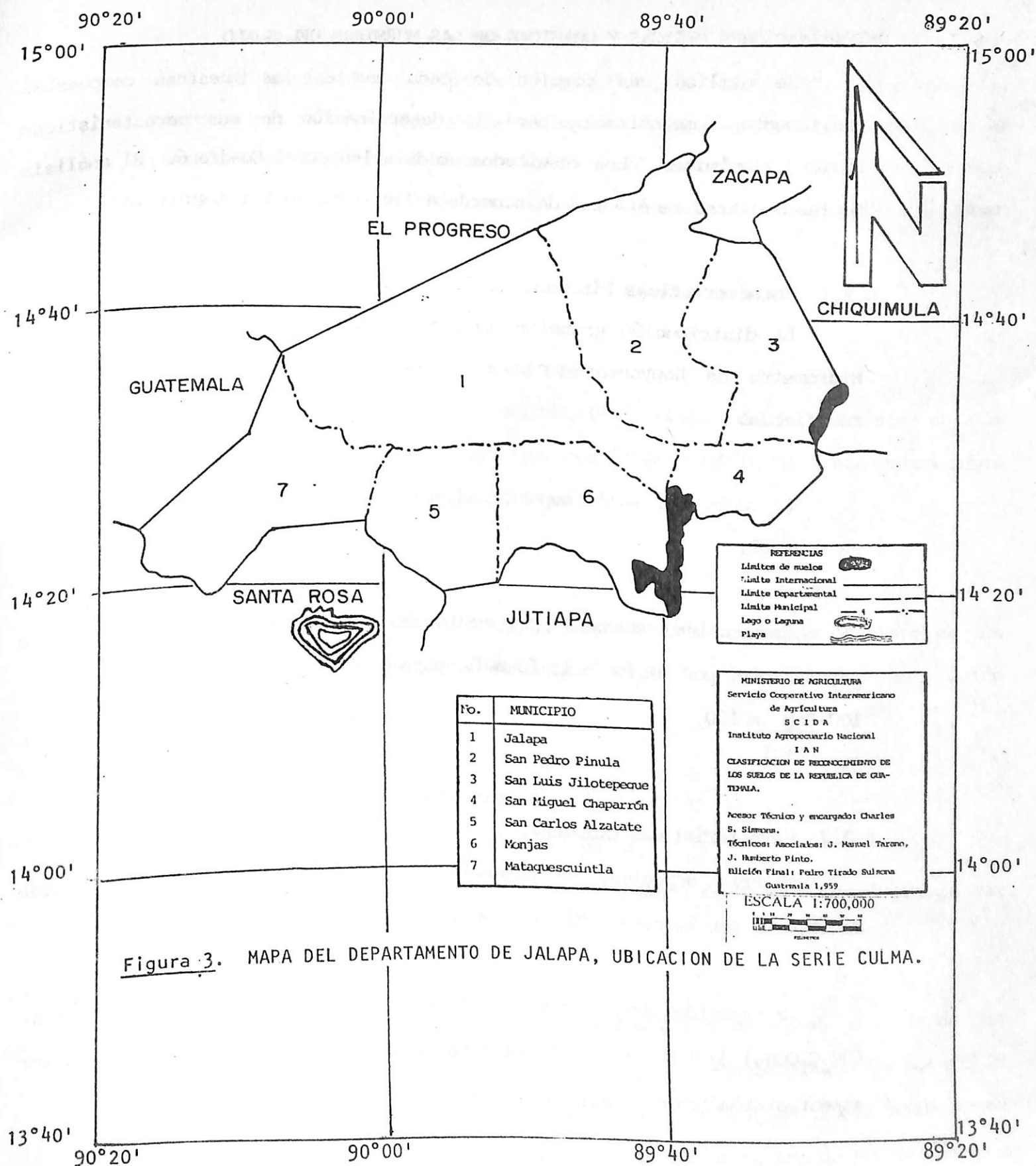


Figura 2. MAPA DEL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, UBICACION DE LA SERIE CULMA.



6.2 DETERMINACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS DEL SUELO

Se utilizó una porción de cada una de las muestras compuestas previamente homogenizada, para la determinación de sus características físicas y químicas. Los resultados se detallan en el Cuadro 6. El análisis de las muestras se efectuó de acuerdo a las metodologías siguientes:

6.2.1 Características Físicas.

La distribución granulométrica se determinó utilizando el método del Hidrómetro de Bouyoucos y la clase textural en base a la escala USDA modificada.

El color del suelo superficial a través de las escalas colorimétricas de Munsell.

La densidad aparente por medio del método de la probeta, espacio poroso total por medio de la formula siguiente:

$$\frac{100 - \text{Dap}}{\text{Dreal}} \times 100$$

6.2.2 Características Químicas.

Materia orgánica, se determinó por medio de la combustión húmeda modificada por Walkley y Black y la reducción con dicromato de potasio.

La capacidad de intercambio catiónico extracción con acetato de amonio ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{OOH}_3$) 1 N a pH 7. Bases intercambiables K, Ca, Mg, Na, leídos por espectrofotómetro de absorción atómica, marca Perkin Elmer modelo 103.

El pH potenciométricamente utilizando la relación suelo seco agua, 1:2.5 a través de potenciómetro marca Backman modelo Ceromatic S-3.

6.2.3 Análisis de Fósforo y Potasio.

El contenido de fósforo y potasio para cada sitio muestreado se extrajo con cada una de las metodologías, determinándose el fósforo por el método azul de fosfomolibdeno y leído en el calorímetro Cenco y el potasio leído por el espectofotómetro de absorción atómica, marca Perkin Elmer modelo 103.

Las soluciones de extracción usadas son:

6.2.3.1 Método de Carolina del Norte:

De acuerdo con Hunter (14), este método consiste en una solución de ácido sulfúrico mezclado con ácido clorhídrico a concentraciones de 0.025 N y de 0.05 N, respectivamente.

6.2.3.2 Método de Bray 1:

De acuerdo con Bray y Kurtz (3), este método consiste en una solución de 0.03 N de fluoruro de amonio (NH_4F) y 0.025 N de ácido clorhídrico (HCl).

6.2.3.3 Acetato de Amonio:

Acetato de $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 1N pH 7.

La solución extractora de acetato de amonio normal parece ser la más común para extraer el potasio.

La solución extractora de Carolina del Norte se empleó en vista de que en Guatemala es utilizada desde mediados de la década 1960-1970, porque la mayoría de los suelos que conforman el país se adaptan a las condiciones exigidas por ésta y en su calibración se obtuvo un índice de predicción del 88% (Memoria de Labores 1974, Depto. de Nutrición Vegetal, ICTA. Palencia A. etal).

La metodología de Bray 1 fue seleccionada considerando que es específica para la extracción del fósforo disponible para las plantas y la información obtenida puede utilizarse como parámetro comparativo para determinar si la solución Carolina del Norte se comporta adecuadamente con respecto al fósforo.

Las metodologías seleccionadas satisfacen las condiciones enunciadas por Bray (3) y las cuales se refieren a los aspectos siguientes:

El método debe ser rápido y preciso.

Debe extraer todas las formas disponibles o una parte proporcional del nutrimento en suelos con propiedades ampliamente diferentes.

Las cantidades extraídas deben estar correlacionadas con el crecimiento y respuesta de cada cultivo bajo diversas condiciones.

6.3

CURVA DE FIJACION DE FOSFORO Y POTASIO EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para determinar los niveles de fósforo y potasio que se aplicaron en el estudio de invernadero en cada tratamiento para cada sitio, se tomó como base la capacidad de fijación de fósforo y potasio de cada uno de los sitios muestreados de la serie de suelos Culma. Las muestras recolectadas se sometieron al método de fijación propuesto por Díaz y Hunter (7), el cual consiste en adicionar niveles crecientes de fósforo y potasio para cada sitio de muestreo como se indica en el Quadro 2, para determinar la capacidad de fijación de fósforo y potasio.

En base a los valores de fósforo y potasio aplicados y extraídos con la solución extractora de Carolina del Norte, se elaboró una curva de fijación, las gráficas típicas se pueden observar en el Apéndice 1 y 2.

Quadro 2: Tratamiento del estudio de sorción de fósforo y potasio en la serie de suelos Culma, para determinar curvas de fijación.

Tratamiento de Sorción	Concentración de Fósforo y Potasio en cada Tratamiento de Sorción	
	mg P/Litro	meq. K/100 ml
1	0	0.00
2	35	0.11
3	70	0.22
4	140	0.45
5	280	0.90
6	560	1.80

FUENTE: Díaz y Hunter (7).

6.4

NIVELES DE FOSFORO Y POTASIO EVALUADOS

Por medio de la curva de fijación de cada sitio, se determinó el nivel de fósforo y potasio a evaluar en el ensayo de invernadero. Los niveles de fósforo y potasio se muestran en el Quadro 3.

El criterio para establecerlo fue el de tres veces el nivel 7 y 90 ppm. de fósforo y potasio, respectivamente.

6.5

TRATAMIENTOS

Para cada sitio se evaluaron cuatro tratamientos en un análisis combinatorio 2 x 2 de fósforo y potasio, los niveles de P y K fueron determinados en función de las curvas de fijación de fósforo y potasio.

Los niveles de estos nutrimentos evaluados en los diferentes sitios de muestreo se describen en el Quadro 3.

Cuadro 3. Ubicación, uso actual y nivel de fósforo y potasio evaluados para cada sitio de muestreo, en la serie de suelos culma.

Uso Actual	Ubicación	Municipio	Elevación Promedio msnm	Departamento	p ppm	K ppm
Potrero	Anayito	Jutiapa	895	Jutiapa	210	312
Cultivo (Maíz sorgo pasto, frijol)	Aldea Río la Virgen	Jutiapa	895	Jutiapa	64	39
Potrero	San Antonio	Jutiapa	895	Jutiapa	213	441
Potrero	Volca Suchitan	Santa Catarina Mita	700.02	Jutiapa	461	62
Potrero	El Peñón	Progreso	970	Jutiapa	232	59
Potrero	Las Animas	Agua Blanca	897.55	Jutiapa	22	43
Potrero	Quequexque	Agua Blanca	897.55	Jutiapa	8	43
Potrero	Chile	Agua Blanca	897.55	Jutiapa	253	421
Potrero	La Peña San Miguel	Chaparrón	915	Jalapa	296	542
Potrero	La Barranca	Santa Catarina Mita	700.02	Jutiapa	331	43
Potrero	Santa Cruz	Asunción Mita	470.05	Jutiapa	325	43
Maíz	Jicaro	Yupiltepeque	1040	Jutiapa	560	218
Tomate	Estangula	Yupiltepeque	1040	Jutiapa	233	495
Potrero	Amatepeque	Atescatempa	670	Jutiapa	243	503
Potrero	San Juan La Isla	Asunción Mita	470.05	Jutiapa	35	43
Potrero	San Juakin	Asunción Mita	470.05	Jutiapa	224	183
Maíz	San José las Flores	Asunción Mita	470.05	Jutiapa	560	406
Jocotales	Santa Elena	Asunción Mita San José	4.70.05	Jutiapa	35	43
Potrero	Orcones	Atescatempa	1325	Jutiapa	256	328
Potrero	Triucal	Asunción Mita	470.05	Jutiapa	157	168
Potrero Pasto	Finca Valparaiso	Pasaco	150	Jutiapa	35	43
Potrero	Tinton	Pasaco	150	Jutiapa	189	35
Cafe	Sitio	Pasaco	150	Jutiapa	35	43
Cafe	Betania	Moyuta	1282.96	Jutiapa	560	273
Maíz	San Andrés	Moyuta	1282.96	Jutiapa	355	136
Almacigos de Cafe	Cofradías	Moyuta	1282.96	Jutiapa	224	343
Maicillo	Los Achotes	Moyuta	1282.96	Jutiapa	560	273
Maíz	Barranca Honda	Moyuta	1282.96	Jutiapa	400	125
Maicillo	Palos Habrazados	Moyuta	1282.96	Jutiapa	184	43
Potrero	Las Marias	Oratorio	954.79	Santa Rosa	35	43

*FUENTE: Diccionario Geográfico Nacional.
P = Nivel de fósforo evaluado.
K = Nivel de potasio evaluado.

6.6 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

6.6.1 Diseño Experimental.

Para evaluar el efecto de los niveles de P y K en estudio, los tratamientos seleccionados se sometieron a comparación mediante un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo combinatorio 2×2 , para su análisis con estructura jerárquica 4×30 , con 120 tratamientos y 4 repeticiones. La unidad experimental fue una maceta de 500 cc de capacidad, con 300 gramos de suelo tamizado a 2 mm. El modelo lineal matemático para el análisis del rendimiento y biomasa es el siguiente:

$$Y_{ijk} = U + a_i + b_{ij} + E_{ijk}, \text{ en donde}$$

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

U = Efecto de la media general.

a_i = Efecto del i...ésimo sitio.

b_{ij} = Efecto del nivel j dentro de cada sitio i.

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

en donde:

i = 1, 2, 3, ..., 30 sitios.

j = 1, 2, 3 y 4 niveles de fósforo y potasio dentro de cada sitio.

Para el análisis del rendimiento de biomasa por efecto de fósforo y potasio aplicado al suelo, en cada uno de los sitios de muestreo, se realizó de acuerdo al siguiente modelo matemático :

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta en la i...ésima serie de suelos, j...ésimo método de extracción y k...ésimo repetición.

U = Efecto de la media global.

- A_i = Efecto del i ...ésimo nivel de fòsforo
 B_j = Efecto del j ...ésimo nivel de potasio
 $(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacciòn de fòsforo y potasio
 E_{ijk} = Efecto del error experimental.

6.6.2 Variables Respuesta a Medir.

Para satisfacer los objetivos planteados se midiò el efecto de los niveles de fòsforo y potasio aplicados al suelo, sobre los rendimientos de biomasa expresado g/macetas, cantidades de fòsforo y potasio extraídos con las soluciones extractoras de Carolina del Norte y Bray I, porcentajes de fòsforo, potasio, calcio y magnesio en las plántulas.

6.6.3 Análisis de Datos.

Para dar respuesta a los objetivos planteados, los datos obtenidos de las variables de respuesta se les realizó las pruebas estadísticas siguientes:

Análisis de varianza con estructura jerárquica para el rendimiento de biomasa.

Análisis de efectos factoriales medios de rendimiento de biomasa.

Método gráfico de Cate-Nelson para determinar el nivel crítico de fòsforo y potasio.

Modelo matemático discontinuo de dos medias para determinar el rango crítico de fòsforo y potasio.

Correlación lineal entre el fòsforo y potasio extraídas con las soluciones extractoras y el rendimiento relativo.

Correlación lineal entre el fòsforo y potasio extraído del suelo y el contenido de macronutrientes (P, K, Ca y Mg) en plántula.

Correlación lineal entre el fósforo y el potasio adicionado al suelo y el contenido de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) en plántula.

Correlación lineal para fósforo y potasio con las soluciones extractoras.

6.7

MANEJO DEL EXPERIMENTO

De acuerdo a Díaz y Hunter (7), se procedió a agregar 300 ml de suelo de la serie Culma en cada unidad experimental que consistió en una maceta de 500 cc de capacidad, identificándolas para los diferentes tratamientos y repeticiones. A cada maceta se le aplicó una cantidad constante de Nitrógeno, tal como se muestra en el Cuadro 4, de acuerdo al criterio expresado por Díaz y Hunter (7), con el propósito de que este elemento no sea factor limitante y los resultados a obtener no vayan a ser interferidos por otros elementos.

Cuadro 4. Cantidad del elemento y compuesto utilizado en solución para los tratamientos de nitrógeno, fósforo y potasio.

Elemento	Compuesto	Compuesto/Lts. de Solución	Cantidad del elemento cuando 1 ml de solución se agrega 100 mililitro de suelo
Nitrógeno	NH_4NO_3	14.59 g.	50 Ug N/ml suelo
Fósforo	H_3PO_4 85%	37.22 g.	100 Ug p/ml suelo
Potasio	KG1	14.90 g.	0.2 meq k/100 ml suelo

FUENTE: Díaz y Hunter (7).

Los tratamientos de fósforo y potasio aplicados fueron obtenidos tomando como base la curva de sorción. En el Quadro 4, se indican las cantidades adicionadas a las unidades experimentales para obtener el nivel adecuado de fósforo y potasio.

Los micronutrientes se adicionaron en base al criterio propuesto por Fitts y Waugh (10), que indica aplicar 7.5 ml de la solución descrita, el cual se describe en el Quadro 5.

Quadro 5. Cantidad Micro-elemento y compuesto utilizado en solución para los niveles deseados de Mn, Cu, Zn y B.

Elemento	Compuesto	Granos/Lt.	ppm. de Micronutriente
Boro	H_3BO_3	1.55	271 de B
Manganeso	$MnCl_{12} \cdot 4H_2O$	0.99	250 de Mn
Zinc	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.58	132 de Zn

FUENTE: Fitts y Waugh (10).

La metodología a seguir consistió en agregar la cantidad del elemento, para obtener la concentración deseada; luego se dejó secar el suelo y se homogenizó para que los elementos no se concentren en poco volumen del suelo. Seguidamente se sembraron quince semillas de sorgo directamente en las macetas, distribuyéndolas en la superficie del suelo y enterrándolas a un centímetro de profundidad, luego se taparon las macetas y cuando las semillas germinaron se procedió a destaparlas. Es de hacer notar, que las aplicaciones de nitrógeno se efectuaron en dos etapas, siendo la primera junto con los demás elementos y la segunda a los doce

días de haber germinado las semillas.

Los riegos se efectuaron con agua destilada vertiendo la misma sobre las macetas, cuidando que nunca faltará a las plantitas para su consumo.

A los 8 días de haber germinado las plantas se procedió a efectuar el entresaque, dejando las 6 más vigorosas.

Posteriormente, cuando éstas alcanzaron su máximo crecimiento a los 32 días después de la siembra, se realizó el corte de las mismas, un centímetro por encima de la superficie del suelo, luego fueron colocadas en bolsas de papel manila y secadas en un horno a una temperatura de 70°C, para luego evaluar el peso de la materia seca de las plantas, fueron molidas en un molino de acero inoxidable marca General Electric Mo. 5KH3366106E, se colocó un gr. en un crisol, el cual fue incinerado en una mufla marca Warning Thermolyne 1500 Furnace a 500 C; para el análisis de fósforo, potasio, calcio y magnesio foliar. Para leer fósforo se utilizó el colorímetro marca Cenco (Central Scientific Company), para potasio fue leído por espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo 103, y calcio y magnesio se determinó al titular con EDTA.

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para la determinación del nivel y rango de concentración crítica de fósforo con dos metodologías de extracción y potasio con tres metodologías de extracción, en la serie de suelos Culma, se presenta a continuación:

7.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA SERIE DE SUELOS CULMA

En el Quadro 6, se presenta las características físicas y químicas de los sitios muestreados.

Las clases texturales corresponden a: franco-arcilloso, arcillosa, arcillo-limosa, franco, franco-arcillo-arenosa.

Los valores de pH varían entre: 5.5 a 7.8 considerando estos suelos mediante ácidos pasando por neutros a muy débilmente alcalinos.

La materia orgánica varía entre: 2.3 a 8.6 por ciento, que corresponde a niveles bajos y adecuados.

La capacidad de Intercambio Catiónico tiene valores de: 18:17 a 49.79 meq/100 g.; considerada de adecuada a medianamente alta.

El contenido de bases intercambiables, calcio, magnesio, sodio y potasio en general se consideran adecuadas.

El porcentaje de saturación de bases se sitúa en un rango comprendido entre 22.22 y 87.09 por ciento, valores considerados como bajos a medianamente altos, pues el valor considerado como adecuado es del 75 por

ciento.

La variabilidad que se observa en las características consideradas se debe fundamentalmente a las diferentes condiciones de manejo a que han sido sometidos los sitios muestreados.

Cuadro 6. Características Físicas y Químicas de los Suelos de la Serie Culma.

USO	GRANULOMETRIA			Clase Textural	COLOR		EPT	Da.	PH	M.O	Cationes intercambiables meq/100 gr. Suelo					PSB
	Arcilla	Limo	Arena		Seco	Húmedo					CIC	Ca ⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	
Potrero	35	25	40	Franco Arcilloso	Café muy oscuro grisáceo	Negro	46	1.25	6.1	5.7	33.2	12.47	4.23	0.96	0.31	54.13
Cultivo: maíz, sorgo, pasto, frijol	25	22	53	Franco Arcilloso Arenoso	Café claro amarillento	Café oscuro amarillento	36	1.47	5.8	2.3	18.7	5.57	2.03	0.05	0.67	44.47
Potrero	42	25	33	Arcillosa	Café muy oscuro grisáceo	Café muy oscuro	47	1.10	6.0	6.7	39.1	15.59	5.51	0.09	0.46	55.44
Potrero	49	19	32	Arcillosa	Café oscuro	Negro	44	1.20	5.8	7.4	39.0	13.22	4.23	0.58	1.07	48.96
Potrero	39	25	36	Franco Arcilloso	Café oscuro grisáceo	Café muy oscuro	40	1.26	6.2	5.5	39.0	14.96	5.30	0.09	1.05	54.48
Potrero	33	31	36	Franco Arcilloso	Café oscuro	Café muy oscuro	45	1.23	6.4	5.5	22.3	10.10	2.84	0.39	1.68	67.28
Potrero	31	33	36	Franco Arcilloso	Café muy oscuro grisáceo	Negro	45	1.16	6.6	3.5	24.8	11.48	2.63	0.26	1.33	45.03
Potrero	39	30	31	Franco Arcilloso	Café muy oscuro grisáceo	Negro	48	1.18	6.4	4.1	33.1	16.96	4.23	0.37	0.25	65.87
Potrero	38	30	32	Franco Arcilloso	Café oscuro grisáceo	Café muy oscuro	48	1.19	6.0	6.4	26.3	9.48	6.08	0.21	0.41	61.47
Potrero	57	15	28	Arcillosa	Café muy oscuro	Negro	41	1.25	6.3	7.3	36.5	18.85	4.93	0.17	2.03	57.48
Potrero	51	23	26	Arcillosa	Café muy oscuro	Negro	47	1.15	6.4	5.5	33.1	14.09	3.62	0.51	1.35	59.11
Maíz	46	45	29	Arcillosa	Café muy oscuro grisáceo	Negro	45	1.16	6.2	6.9	46.1	15.96	8.87	0.22	0.71	55.90
Tomate	47	21	32	Arcillosa	Café oscuro grisáceo	Café muy oscuro grisáceo	44	1.29	6.0	8.0	36.5	18.71	8.21	1.16	0.43	78.10
Potrero	47	20	33	Arcillosa	Café muy oscuro	Negro	41	1.29	6.0	7.3	42.4	16.96	5.75	0.35	0.16	54.67
Potrero	41	46	33	Arcillosa	Gris	Gris oscuro	42	1.38	6.9	3.0	39.8	16.33	8.54	0.62	5.23	77.11
Potrero	43	25	32	Arcillosa	Café muy oscuro grisáceo	Café muy oscuro	45	1.31	6.2	6.7	38.6	16.71	4.36	0.58	1.03	58.69
Maíz	44	26	30	Arcillosa	Café muy oscuro	Negro	43	1.32	6.2	4.8	34.0	21.83	3.90	0.10	0.60	77.97
Jocotales	40	24	36	Arcillosa	Gris	Gris oscuro	44	1.28	7.8	3.0	47.1	18.46	5.51	0.64	2.60	57.73
Potrero	21	29	50	Franco	Café oscuro	Negro	49	1.33	7.0	8.3	47.7	12.47	4.43	0.22	2.55	41.25
Potrero	43	27	30	Arcillosa	Gris muy oscuro	Negro	54	1.14	6.8	3.0	49.7	23.82	9.08	0.25	0.72	68.13
Potrero Pasto	41	44	17	Arcillo Limosa	Café	Café oscuro	40	1.27	6.6	2.9	30.2	18.71	6.08	0.15	1.38	87.09
Potrero	24	23		Arcillosa	Café oscuro	Café oscuro	43	1.31	6.5	4.0	26.6	13.85	2.75	0.06	0.95	66.30
Café	57	19	24	Arcillosa	Café oscuro	Café oscuro	44	1.32	6.8	6.9	27.4	14.09	3.33	0.11	0.99	67.61
Café	22	34	44	Franco	Café muy oscuro grisáceo	Negro	54	1.00	6.9	8.6	47.1	16.96	2.81	0.05	0.58	43.28
Maíz	50	27	23	Arcillosa	Café	Café muy oscuro	51	1.08	5.8	4.5	32.3	9.85	4.23	0.05	0.63	45.75
Almacigo de café	64	19	17	Arcillosa	Café oscuro	Café oscuro	55	1.11	6.0	4.2	30.2	7.86	2.67	0.19	0.34	36.59
Maicillo	57	21	22	Arcillosa	Café oscuro amarillento	Café oscuro	44	1.25	5.5	4.3	37.3	5.90	2.03	0.03	0.34	22.22
Maíz	52	23	25	Arcillosa	Café oscuro rojizo	Café oscuro rojizo	46	1.20	5.8	7.2	30.8	2.92	0.12	0.12	0.92	41.13
Maicillo	47	30	23	Arcillosa	Café oscuro	Café oscuro	46	1.23	6.5	6.9	24.6	13.59	4.03	0.08	1.42	77.53
Maicillo	57	25	18	Arcillosa	Café muy oscuro	Negro	47	1.21	6.4	7.2	29.5	13.85	8.62	0.07	1.63	82.01

7.2

RENDIMIENTO DE BIOMASA EXPRESADO EN MATERIA SECA PARA CADA NIVEL EVALUADO EN CADA SITIO DE MUESTREO

El análisis de varianza con estructura jerárquica se presenta en el Quadro 7 y se concluye que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los sitios de muestreo; por lo tanto se observa que el comportamiento de la clase textural, espacio poroso total, densidad aparente, pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico es análoga en los suelos utilizados, tal como se aprecia en el Quadro 6. En estos suelos la textura arcillosa y el color café oscuro es la que más comúnmente predomina, encontrándose una adecuada ariación que favorece el intercambio de nutrientes calcio, magnesio, sodio y potasio. El pH en la mayoría de estos suelos es adecuado, favoreciendo la asimilación de fósforo y potasio, ya que los fosfatos solubles son aprovechados por las plantas, favoreciéndose en estos suelos una adecuada relación entre la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases respondiendo adecuadamente a la fertilización.

Además se puede observar que en los niveles adicionados para los distintos tratamientos, existe diferencia estadísticamente significativa atribuida a los niveles usados para cada punto de muestreo, por lo que se concluye que en los niveles evaluados por sitio donde se aplicó fósforo aumentó el peso de materia seca.

Quadro 7. Análisis de varianza del rendimiento de Biomasa para la serie de suelos Culma.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Ft0.01
Sitios de muestreo	29	2.07	0.72 N.S.	1.71
Nivel/Sitio	90	2.86	47.67**	1.39
Error	360	0.06		
TOTAL:	479			

** = Significancia al 1% de probabilidad
C.V. = 18.1%

RENDIMIENTO DE BIOMASA POR EFECTO DE LOS NIVELES DE FOSFORO Y POTASIO ADICIONADOS

En los Quadros 8 y 9, se observa que los sitios 6, 7, 15 y 21, en su rendimiento de biomasa no presenta diferencia en los factores medios de fósforo y potasio y la interacción fósforo y potasio. Esto se debe a los niveles de fósforo y potasio evaluados, origen de la muestra, cultivo y a la cantidad del nutriente nativo para cada uno de estos sitios.

En los Quadros 8 y 9, se observa que los sitios 4, 5 y 22 del rendimiento de biomasa presenta diferencia en los factores medios para fósforo , potasio y la interacción fósforo y potasio. Esta es atribuída a los niveles de fósforo y potasio evaluados, al cultivo, origen de las muestras y el contenido de fósforo y potasio nativo.

En los Quadros 8 y 9, se presenta que el sitio 20 el rendimiento de biomasa presenta diferencia en los efectos factoriales medios de fósforo y potasio. Esto se debe a los niveles de fósforo y potasio evaluados, origen de la muestra y manejo.

En los Quadros 8 y 9, se observa que los sitios 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 su rendimiento de biomasa presenta diferencia en los efectos factoriales medios para fósforo atribuída a los niveles de fósforo evaluados, origen de la muestra y uso de la tierra de estos sitios de muestreo.

Se puede concluir que en los tratamientos por sitios de muestreo donde se aplicó fósforo, el peso de la materia seca en las plantas, aumenta significativamente, que en aquellos tratamientos donde únicamente se aplicó potasio, debido a que el fósforo aumenta, el rendimiento de materia seca en las plantas.

Cuadro 8. Análisis de efectos factoriales medios de rendimientos de Biomasa, para la serie de suelos Culma

Sitio	Uso Actual	E.M.S.		Efectos Factoriales Medios (E.F.M.)		
		1%	5%	FOSFORO	POTASIO	FOSFORO - POTASIO
1	Potrero	0.42	0.30	1.35**	0.075N.S.	0.050 N.S.
2	Maíz, sorgo, pasto, frijol	0.24	0.15	1.00**	-0.026N.S.	-0.11 N.S.
3	Potrero	0.24	0.15	2.10**	0.04 N.S.	0.06 N.S.
4	Potrero	0.36	0.22	2.00**	0.52 **	0.55 **
5	Potrero	0.28	0.17	1.35**	0.58 **	0.32 **
6	Potrero	0.43	0.30	-0.03N.S.	0.13N.S.	-0.06 N.S.
7	Potrero	0.26	0.19	-0.10N.S.	-0.025N.S.	0.10 N.S.
8	Potrero	0.22	0.15	1.969**	-0.11N.S.	-0.11 N.S.
9	Potrero	0.22	0.15	1.625**	0.075N.S.	0.075 N.S.
10	Potrero	0.22	0.15	0.97**	-0.16N.S.	-0.14 N.S.
11	Potrero	0.34	0.24	1.61**	-0.23N.S.	-0.29 N.S.
12	Maíz	0.40	0.28	1.97**	-0.06N.S.	-0.10 N.S.
13	Tomate	0.34	0.24	1.17**	-0.26N.S.	-0.27 N.S.
14	Potrero	0.26	0.20	1.64**	0.097N.S.	0.074 N.S.
15	Potrero	0.73	0.52	0.275N.S.	0.012N.S.	-0.025 N.S.
16	Potrero	0.30	0.22	1.97**	0.169N.S.	0.131 N.S.
17	Maíz	0.37	0.26	1.58**	-0.029N.S.	0.054 N.S.
18	Jocotales	0.24	0.17	0.29**	-0.15N.S.	0.004 N.S.
19	Potrero	0.30	0.21	0.33**	0.2 N.S.	0.10 N.S.
20	Potrero	0.15	0.11	0.98**	0.225**	0.075 N.S.
21	Potrero-Pasto	0.48	0.34	0.163N.S.	-0.63N.S.	-0.037 N.S.
22	Potrero	0.22	0.15	1.39**	-0.246**	-0.258**
23	Café	0.21	0.15	0.68**	0.066N.S.	0.006 N.S.
24	Café	0.30	0.22	1.72**	-0.181N.S.	-0.181 N.S.
25	Maíz	0.61	0.44	2.04N.S.	-0.022N.S.	-0.047 N.S.
26	Almácigo de café	0.37	0.26	1.37**	0.006N.S.	0.031 N.S.
27	Maicillo	0.52	0.37	1.77**	-0.021N.S.	-0.029 N.S.
28	Maíz	0.39	0.28	2.731**	0.068N.S.	0.068 N.S.
29	Maicillo	0.22	0.15	1.563**	0.011N.S.	-0.014 N.S.
30	Maicillo	0.30	0.22	1.031**	0.094N.S.	0.019 N.S.

** = Significancia al 1%

N.S. = No significativo

E.M.S. = Efectos Mínimos Significativos

Cuadro 9: Análisis del rendimiento de materia seca, para cada sitio de muestreo, en la serie de suelos culma.

USO SITIO ACTUAL	FUENTE DE VARIACION 01	CUADRO MEDIO	FC	FT 0.01	COEFICIENTE VARIACION
1 Potrero	Tratamiento Error Total	3 2.44 12 0.06 15	40.68**	5.95	24.3%
2 Maíz Sorgo, Pasto y Frijol	Tratamiento Error Total	3 1.37 12 0.018 15	76.11**	5.95	14.06%
3 Potrero	Tratamiento Error Total	3 5.93 12 0.019 15	312.00**	5.95	11.9%
4 Potrero	Tratamiento Error Total	3 6.1 12 0.04 15	152.50**	5.95	17.70%
5 Potrero	Tratamiento Error Total	3 3.22 12 0.031 15	103.97**	5.95	17.30%
6 Potrero	Tratamiento Error Total	3 0.027 12 0.089 15	0.303NS.	5.95	21.80%
7 Potrero	Tratamiento Error Total	3 0.03 12 0.029 15	1.034NS.	5.95	13.50%
8 Potrero	Tratamiento Error Total	3 4.94 12 0.02 15	247.00**	5.95	12.7%
9 Potrero	Tratamiento Error Total	3 3.537 12 0.19 15	18.16**	5.95	36.97%
10 Potrero	Tratamiento Error Total	3 5.13 12 0.06 15	223.04**	5.95	13.56%
11 Potrero	Tratamiento Error Total	3 3.67 12 0.06 15	60.66**	5.95	23.06%
12 Maíz	Tratamiento Error Total	3 5.22 12 0.06 15	87.16**	5.95	21.3%
13 Tomate	Tratamiento Error Total	3 2.01 12 0.06 15	33.50**	5.95	25.8%
14 Potrero	Tratamiento Error Total	3 3.59 12 0.03 15	119.66**	5.95	16.6%
15 Potrero	Tratamiento Error Total	3 0.105 12 0.225 15	0.46NS.	5.95	34.2%

Cuadro 9: Análisis del rendimiento de materia seca, para cada sitio de muestreo, en la serie de suelos culma.

USO SITIO ACTUAL	FUENTE DE VARIACION 01	CUADRO MEDIO	FC	FT 0.01	COEFICIENTE VARIACION
16 Potrero	Tratamiento Error Total	3 5.23 12 0.08 15	130.75**	5.95	17.8%
17 Maíz	Tratamiento Error Total	3 3.33 12 0.08 15	41.6**	5.95	25.6%
18 Jocotal	Tratamiento Error Total	3 0.146 12 0.032 15	4.56NS.	5.95	12.12%
19 Potrero	Tratamiento Error Total	3 0.2075 12 0.055 15	3.77NS.	5.95	16.4%
20 Potrero	Tratamiento Error Total	3 1.31 12 0.015 15	87.33**	5.95	10.47%
21 Potrero, Pasto	Tratamiento Error Total	3 0.043 12 0.076 15	0.96NS.	5.95	18.4%
22 Potrero	Tratamiento Error Total	3 2.75 12 0.03 15	91.67**	5.95	16.59%
23 Café	Tratamiento Error Total	3 0.619 12 0.033 15	18.75**	5.95	16.2%
24 Café	Tratamiento Error Total	3 4.03 12 0.05 15	80.60**	5.95	20.3%
25 Maíz	Tratamiento Error Total	3 5.55 12 0.21 15	26.4**	5.95	39.5%
26 Alméd- go café	Tratamiento Error Total	3 2.50 12 0.081 15	30.86**	5.95	28.7%
27 Maicillo	Tratamiento Error Total	3 4.18 12 0.16 15	26.1**	5.95	37.0%
28 Maíz	Tratamiento Error Total	3 4.00 12 0.1 15	40.0**	5.25	28.2%
29 Maicillo	Tratamiento Error Total	3 2.3 12 0.1 15	57.5**	5.95	16.2%
30 Maicillo	Tratamiento Error Total	3 1.43 12 0.05 15	28.6**	5.95	20.7%

7.4 FOSFORO EXTRAIDO CON CADA SOLUCION EXTRACTORA

En el Cuadro 10, se observa el análisis de varianza para las metodologías de extracción de fósforo. Se contempla que no existe diferencia al 5 % de probabilidad entre las metodologías y por lo tanto el valor y nivel de concentración crítica de fósforo será semejante en los métodos de extracción de Carolina del Norte y Bray 1. También se puede observar que no existe diferencia significativa entre la metodología por sitio, por lo que las soluciones extractoras se puede utilizar para la extracción de fósforo.

En el Cuadro 11, se presenta las concentraciones de fósforo nativo extraído por cada solución extractora y el porcentaje de rendimiento relativo.

Nótese que, en el Cuadro 11 y en términos generales, a medida que el contenido de fósforo extraído con ambas soluciones extractoras va aumentando, también el rendimiento relativo incrementa su valor. Es importante indicar que en el sitio que contiene 35.83 ppm. extraído con Carolina del Norte y 29.50 ppm. con Bray 1 el rendimiento relativo llega a su máxima expresión (100%) y concentraciones de fósforo mayores a las indicadas evidencian depresiones en el rendimiento.

Cuadro 10. Análisis de varianza de las metodologías de extracción de fósforo, en suelos Culma.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Ft 0.05
Metodología/sitio	29	49,269.64	0.33 N.S.	1.85
Metodologías	01	129,620.95	3.52 N.S.	4.18
Error	29	36,778.85		
TOTAL:	59			
Significancia al 5%	C.V. = 180			

Quadro 11. Fósforo extraído con las soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en la serie de suelos Culma

Uso	HCl 0.05 N H ₂ SO ₄ 0.025 N (ppm)	+	NH ₄ F 0.03 N HCl 0.025 N (ppm)	+	Porcentaje de Rendimiento Rel.
Potrero	0.83		3.875		12.50
Maíz	0.83		3.875		23.75
Maíz	1.67		8.750		18.90
Potrero	2.50		6.250		12.10
Potrero	3.33		6.250		12.93
Potrero	3.33		6.250		16.30
Potrero	3.33		6.870		11.96
Potrero	3.33		9.750		13.60
Potrero	4.17		7.800		20.00
Cultivos: Maíz, sorgo, Pasto y frijol	4.17		8.400		25.00
Potrero	4.17		6.250		27.00
Maíz	4.17		9.370		13.09
Potrero	4.17		6.870		17.86
Potrero	4.17		7.500		13.79
Potrero	5.83		7.810		19.01
Maíz	5.83		9.400		13.00
Almácigo de Café	5.83		7.810		17.00
Maicillo	5.83		9.370		13.25
Café	6.67		9.750		15.55
Potrero	8.33		6.650		27.10
Potrero	10.83		12.500		37.69
Maicillo	12.50		12.500		23.29
Potrero	25.67		29.500		98.63
Potrero	35.83		29.500		100.00
Potrero	51.00		75.000		51.53
Café	82.00		53.000		57.14
Potrero y pastos	94.00		59.000		91.60
Potrero	113.00		61.250		89.63
Jocote	187.00		66.250		87.80
Tomate	1430.00		125.000		85.50

7.5 RANGO Y NIVEL DE CONCENTRACION CRITICA DE FOSFORO

En el Quadro 12, se presenta el rango de concentración crítica de fósforo en función de la metodología de extracción. Con la metodología de Carolina del Norte el rango de concentración crítica que se obtuvo es de 8.00 a 11.00 ppm. mientras que con el método de extracción de Bray¹ se obtuvo un rango crítico de 9.00 a 13.00 ppm. Estas afirmaciones se evidencian y se observa que es en esos rangos de concentración crítica donde puede obtenerse una alta probabilidad de respuesta al nutrimento en referencia. Los niveles críticos respectivos se muestran en las Figuras 4 y 5.

Quadro 12. Rango de concentración crítica de fósforo para la serie de suelos Culma.

Metodología de Extracción	Rango de Concentración Crítica (ppm.)	Coefficiente R
Carolina del Norte	8.00 - 11.00	0.82
Bray 1	9.00 - 13.00	0.85

En las Figuras 4 y 5, se observa el valor del nivel crítico de fósforo con respecto a cada metodología de extracción obtenido con el método gráfico de Cate y Nelson. Como se verifica en las figuras antes mencionadas con la metodología de Carolina del Norte el nivel crítico es de 9.0 ppm. de fósforo, mientras que con la metodología de Bray 1 el nivel crítico para fósforo es de 10.0 ppm.

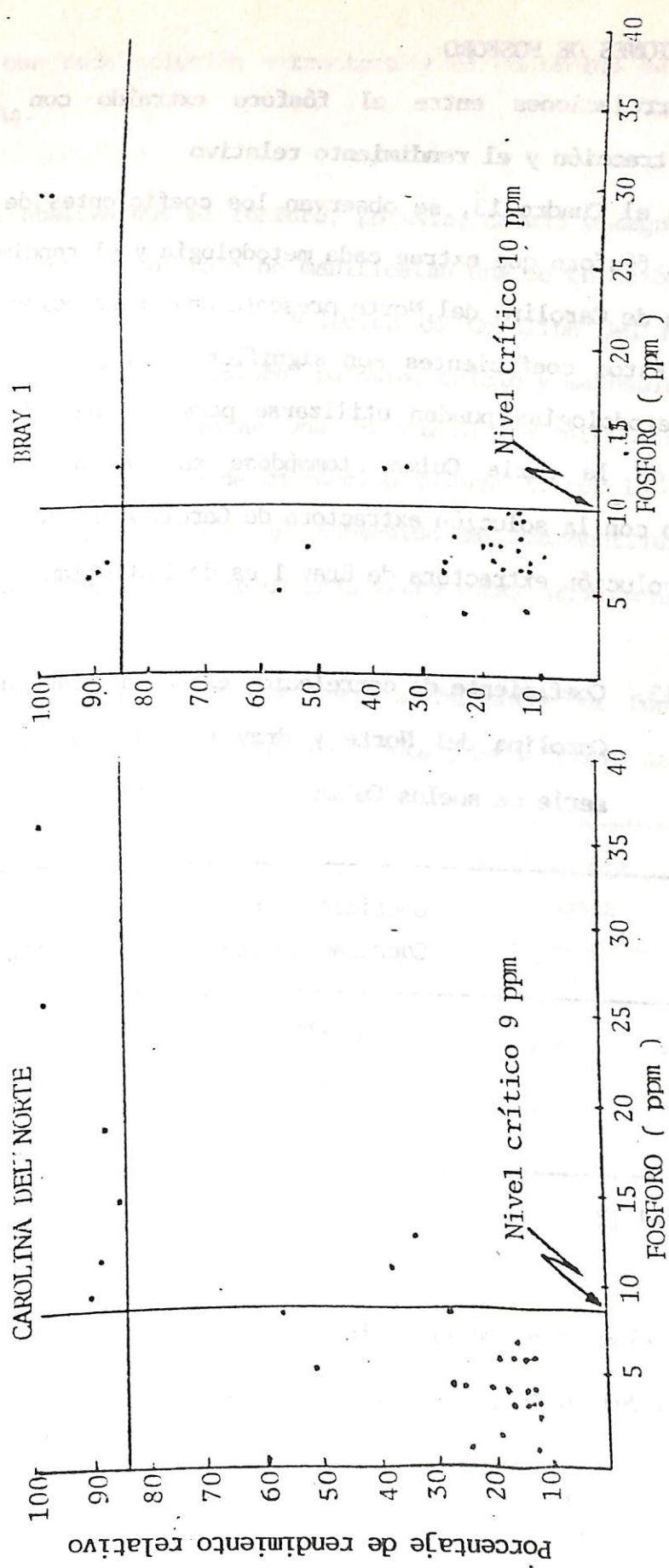


Figura 4 Nivel crítico de fósforo con la solución extractora de Carolina del Norte, en la serie de suelos Culma

Figura 5 Nivel crítico de fósforo con la solución extractora de Bray 1, en la serie de suelos Culma.

7.6

CORRELACIONES DE FOSFORO

7.6.1 Correlaciones entre el fósforo extraído con las soluciones de extracción y el rendimiento relativo

En el Cuadro 13, se observan los coeficientes de correlación lineal entre el fósforo que extrae cada metodología y el rendimiento relativo. La solución de Carolina del Norte presenta una correlación de 0.67 y Bray 1 de 0.76. Estos coeficientes son significativos, por lo que se concluye que ambas metodologías pueden utilizarse para el análisis de fósforo en los suelos de la serie Culma, tomándose en cuenta que el límite crítico obtenido con la solución extractora de Carolina del Norte es de 9.00 ppm. y con la solución extractora de Bray 1 es de 10.00 ppm.

Cuadro 13. Coeficiente de correlación entre las metodologías de extracción Carolina del Norte y Bray 1 y el rendimiento relativo, en la serie de suelos Culma

Metodologías de Extracción	Coeficiente de Correlación (r)	r Tabulada al 1%
Carolina del Norte	0.67**	0.46
Bray 1	0.76**	

** = Significancia al 1%

7.6.2 Correlación entre el fósforo nativo extraído con las soluciones Carolina del Norte y Bray 1, y el contenido de macronutrientes en la planta

En el Cuadro 14, se presentan los coeficientes de correlación lineal, entre el fósforo nativo extraído en las muestras de suelos de la serie

Culma, con cada solución extractora y el contenido de macronutrientes en plántulas.

Se observa que el fósforo, potasio, calcio y magnesio en la planta y el rendimiento de biomasa no manifiestan una correlación significativa con el fósforo extraído por la solución de Carolina del Norte. También se puede observar que el fósforo, potasio, calcio y magnesio en la planta y el rendimiento no manifiestan una correlación significativa con el fósforo extraído con el método de extracción de Bray 1, por lo que se concluye que no existe relación entre el contenido de macronutrientes y el fósforo nativo extraído con las soluciones extractoras utilizadas.

Quadro 14. Coeficiente de correlación entre el fosforo nativo y los macronutrientes en plantas, en la serie de suelos Culma

Nutriente	Análisis de plantas				Rendimiento de Biomasa	r Tabulada 1%
	P	K	Ca	Mg		
P Nativo extraído Carolina del Norte	0.41	0.24	-0.39	0.20	0.32	0.463
	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
P Nativo extraído Bray 1	0.13	0.39	-0.46	0.26	0.34	
	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	

N.S. = No significativo al 1%

7.6.3 Correlación entre el fósforo adicionado y el contenido de macronutrientes en plantas de la serie de suelos Culma

En el Quadro 15, se observan los valores de correlación lineal entre

el fósforo adicionado al suelo y el contenido de macronutrientes en la plántula.

Se aprecia que el fósforo, potasio, calcio, magnesio y el rendimiento de biomasa manifiestan una correlación no significativa, por lo tanto no existe relación entre el fósforo adicionado con el análisis de macronutrientes y el rendimiento de biomasa.

Quadro 15. Coeficiente de correlación entre el fósforo adicionado y los macronutrientes en plantas en la serie de suelos Culma.

Nutriente	Análisis de Plántula				Rendimiento de Biomasa	r Tabulada 1%
	P	K	Ca	Mg		
Fósforo	0.1	-0.46	0.36	0.16	-0.17	0.463
	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	

7.6.4 Correlación entre el fósforo extraído con la metodología de Carolina del Norte y fósforo extraído por Bray 1, para la serie de suelos Culma

En el Quadro 16, se observa el valor de correlación lineal entre el fósforo nativo extraído con la solución Carolina del Norte y el fósforo nativo extraído con la solución de Bray 1.

Se observa que manifiestan una correlación altamente significativa al 1% de probabilidad. Por lo que se concluye que se puede utilizar cualquiera de estas metodologías en la extracción de fósforo.

Quadro 16. Coeficiente de correlación entre el fósforo extraído con Carolina del Norte y el fósforo extraído con Bray 1, para la serie de suelos Culma

Metodologías	Carolina del Norte
Bray 1	0.77**

** = Alta significancia al 1%

7.7

POTASIO EXTRAIDO CON CADA SOLUCION EXTRACTORA

En el Quadro 17, se presentan las concentraciones de potasio nativo que se extrae con cada metodología extractora. Tal como se puede observar es evidente que existe diferencia entre las cantidades de potasio extraídas por sitio; en tanto que los porcentajes de rendimiento relativo tienden a ser altos, mayores del 80%, esta diferencia puede verificarse en el Quadro 18. Tal situación indica que los suelos de la serie Culma presenta baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio, pues los rendimientos relativos son altos.

La solución extractora de Acetato de Amonio 1N a pH 7 es el método más común para extraer las formas de potasio disponible, como lo son el potasio intercambiable y el potasio soluble.

En el Quadro 17, también se observa que los suelos de la serie Culma tienen un alto contenido de potasio intercambiable, el cual puede pasar a la solución del suelo y ser asimilado por la planta.

Quadro 17. Potasio extraído con las soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en la serie de suelos Culma

USO	H ₂ SO ₄ 0.025 N + HCl 0.05 N (ppm)	NH ₄ F 0.03 N + HCl 0.025N (ppm)	K INTERCAM BIABLE meq/100 gr.	% de R.R.
Potrero	30	25.00	0.16	90.09
Almacigos de café	38	53.00	0.25	92.00
Potrero	40	41.00	0.31	100.00
Potrero	60	53.50	0.34	92.80
Potrero	60	61.00	0.34	96.15
Potrero	73	66.00	0.41	113.72
Potrero	73	66.00	0.43	100.00
Maicillo	75	64.00	0.46	97.40
Maíz	85	84.00	0.58	121.02
Maíz	98	109.00	0.60	89.28
Café	98	102.50	0.63	100.00
Maíz	113	84.00	0.77	96.60
Potrero	125	100.00	0.71	84.41
Cultivos: maíz, sorgo, pasto y frijol	150	191.50	0.72	82.20
Potrero	163	171.50	0.92	113.72
Maíz	163	138.50	0.95	100.00
Potrero	168	162.50	0.99	87.50
Potrero	190	191.50	1.03	79.65
Potrero	203	165.00	1.05	96.87
Potrero	232	244.50	1.07	85.75
Café	232	186.00	1.33	100.00
Maicillo	253	287.00	1.35	96.92
Potrero	253	191.00	1.38	89.01
Potrero	265	258.00	1.42	103.10
Potrero, pasto	278	192.00	1.63	95.35
Potrero	310	337.50	1.78	94.70
Potrero	378	322.50	2.03	109.50
Potrero	403	423.00	2.55	96.10
Tomate	600	439.00	2.60	98.60
Jocotes	600	600.00	5.23	107.70

R.R. = Rendimiento relativo.

En el Cuadro 18, se puede apreciar el análisis de varianza para las metodologías utilizadas en análisis químico del potasio. Se concluye que no existe diferencia significativa entre las metodologías de extracción y por lo tanto su comportamiento con los suelos de la serie Culma, es similar. También puede observarse que existe diferencia significativa al 5% entre metodologías por sitio, por lo tanto el comportamiento de las soluciones extractoras en los suelos de la serie Culma es diferente.

Cuadro 18. Análisis de varianza de las metodologías de extracción de potasio, en la serie de suelos Culma.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Ft 0.05
Metodología/sitio	29	147,115.75	7.35**	2.06
Metodologías	2	20,000.00	0.43N.S.	5.00
Error	58	45,939.97		
TOTAL:	89			

** = Significancia al 1%
 N.S. = No significativo al 1%

7.8

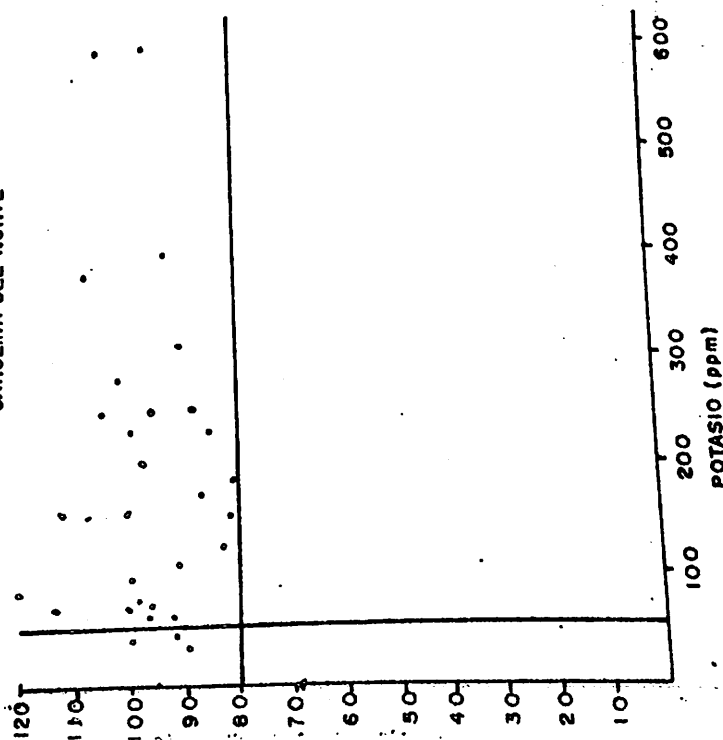
RANGO Y NIVEL CRÍTICO DE POTASIO

En el Cuadro 17, se aprecia el porcentaje de rendimiento relativo en los diferentes sitios muestreados; nótese que los valores de estos rendimientos son altos, por esta razón la probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio es baja o nula; situación que imposibilita determinar el rango de concentración crítica para potasio, en la serie de suelos Culma.

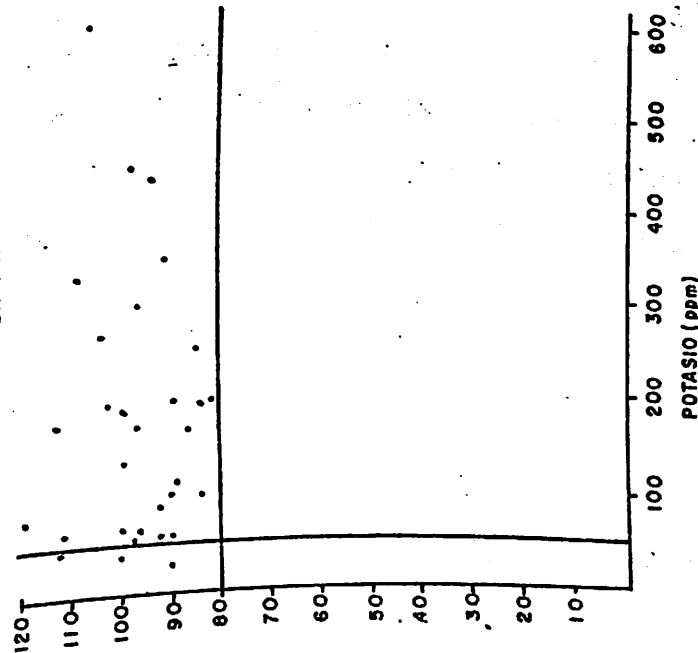
En las figuras 6, 7, 8, puede observarse el comportamiento de las soluciones extractoras empleadas, en ella se aprecia que los rendimientos obtenidos en las tres soluciones son altas, presentando estos suelos, baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio, ante tal situación, no es factible determinar el nivel crítico de potasio.

Es importante señalar que al correlacionar el potasio extraído con las soluciones extractoras y el rendimiento relativo, se evidencia que en ellos los índices de confiabilidad son bajos, situación que nos indica que estas soluciones extractoras no correlacionan con los rendimientos relativos.

CAROLINA DEL NORTE



BRAY 1.



ACETATO DE AMONIO

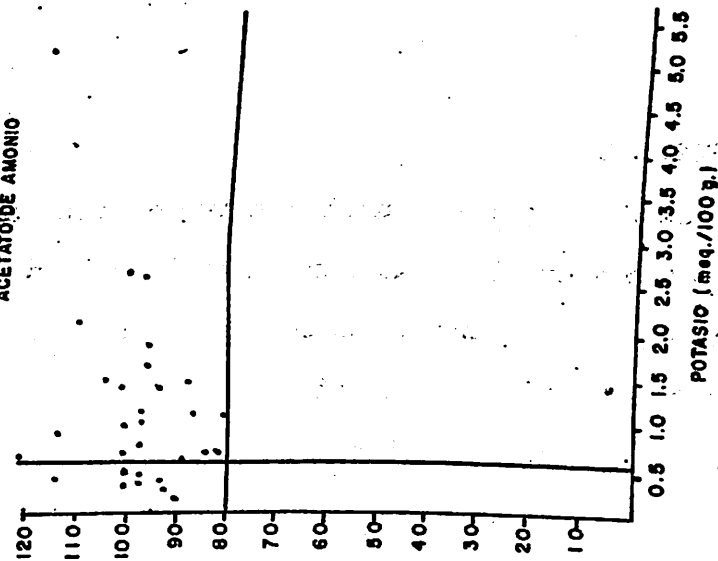


Figura 6, Presentación del método gráfico de Cate y Nelson para potasio, con la solución de extracción de Carolina del Norte, en la serie de suelos Culma.

Figura 7, Presentación del método gráfico de Cate y Nelson para potasio, con la solución de extracción de Bray 1, en la serie de suelos Culma

Figura 8, Presentación del método gráfico de Cate y Nelson para potasio, con la solución de extracción de Acetato de Amonio, en la serie de suelos Culma.

7.9 CORRELACIONES DEL POTASIO

7.9.1 Correlación entre el potasio nativo extraído con las soluciones de extracción y el contenido de macronutrientes en la planta

En el Cuadro 19, se presentan los coeficientes de correlación lineal entre el potasio nativo extraído a través de las soluciones extractoras y el contenido de macronutrientes en plantas.

Se observa que el fósforo, potasio, calcio y magnesio manifiestan una correlación no significativa con el potasio extraído por las soluciones Carolina del Norte, Bray 1 y Acetato de Amonio. El rendimiento de biomasa presenta una correlación significativa para el potasio nativo extraído con las soluciones de Carolina del Norte, Bray 1 y Acetato de Amonio. Nótese la tendencia similar en el comportamiento de las tres soluciones extractoras.

Cuadro 19 Coeficiente de correlación entre el potasio nativo y los macronutrientes en plantas en la serie de suelos Culma

Nutriente	Análisis de Plantas				Rendimiento Biomasa	r Tabulada
	P	K	Ca	Mg		
K Nativo	0.11	-0.74	-0.396	0.1	0.47*	0.463
Carolina del Norte	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		
K Nativo	-0.43	0.54*	-0.40	0.13	0.94*	
Bray 1	N.S.		N.S.	N.S.		
Acetato de HN_4	-0.32	-0.20	-0.398	-0.12	0.71*	
	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		

7.9.2 Correlación entre el potasio adicionado y el contenido de macronutrientes en la planta

En el Cuadro 20, se observa los valores de correlación lineal entre el potasio adicionado al suelo y el contenido de macronutrientes en la planta.

Se aprecia que el fósforo, potasio, calcio, magnesio y el rendimiento de biomasa manifiestan una correlación no significativa con los niveles de potasio adicionado para las muestras de suelos de la serie Culma.

Cuadro 20 Coeficiente de correlación entre el potasio adicionado y los macronutrientes en plantas, en la serie de suelos Culma

Nutriente	Análisis de Plantas				Rendimiento Biomasa	r tabulada
	P	K	Ca	Mg		
K adicionado	0.14	-0.27	0.32	0.26	-0.20	0.463
	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	

7.9.3 Correlación entre las cantidades de potasio extraído con las metodologías extractoras de Carolina del Norte, Bray 1 y Acetato de Amonio, en la serie de suelos Culma

En el Cuadro 21, se observa el valor de la correlación lineal entre las cantidades de potasio extraídas con las metodologías de Carolina del Norte, Bray 1 y Acetato de Amonio.

Se aprecia que existe correlación altamente significativa al 1% de probabilidad entre las cantidades de potasio extraídas con cada una de estas metodologías.

Se concluye que existe alta relación entre las metodologías de extracción, por lo tanto su comportamiento con la serie de suelos Culma, es similar.

Quadro 21 Coeficiente de correlación entre las cantidades de potasio extraído con las metodologías de Carolina del Norte, Bray 1 y Acetato de Amonio, en la serie de suelos Culma

Metodologías	Carolina del Norte	Bray 1	Acetato de Amonio
Carolina del Norte	----	0.93**	0.94**
Bray 1	----	----	0.95**

** = al 1% de significancia.

8. CONCLUSIONES

Con el propósito de satisfacer los objetivos planteados, se presentan las siguientes conclusiones:

- 8.1 Para la serie de suelos Culma, las metodologías presentaron los siguientes coeficientes de correlación entre el fósforo extraído y rendimiento relativo: Carolina del Norte 0.67 y Bray 1 0.76, valores que evidencian la similitud entre ambas metodologías.
- 8.2 Para la serie de suelos Culma, las soluciones extractoras utilizadas para el estudio de correlación entre el potasio extraído y el rendimiento relativo manifestaron mucha dispersión, se evidencia que en ellos los índices de confiabilidad son bajos; situación que nos indica que estas soluciones extractoras no correlacionan con los rendimientos relativos.
- 8.3 Para la serie de suelos Culma, el rango y el nivel de concentración crítica de fósforo es el siguiente: con la metodología Carolina del Norte el rango es de 8.00 a 11.00 ppm. y el nivel crítico es de 9.00 ppm. Para Bray 1 el rango es de 9.00 a 13.00 ppm. y el nivel crítico es de 10.00 ppm.
- 8.4 Para la serie de suelos Culma, el rango y nivel de concentración crítica de potasio no fue posible determinarlo, debido a que los valores de los rendimientos relativos son altos, presentando estos suelos baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Calibrar el valor de rango y nivel de concentración crítica de fósforo, para la serie de suelos Culma, en condiciones de campo y con diferentes cultivos.
- 9.2 Evaluar otras soluciones extractoras para potasio, en la serie de suelos Culma.
- 9.3 Se utilice los niveles críticos de fósforo que se encontraron en el presente estudio, para la recomendación de fertilizantes.

10. BIBLIOGRAFIA

1. BIRREL, K.L. 1964. Some properties of volcanic ash soil. In F.A.O.; Report no. 14 on meeting on classification and correlation of soil from volcanic ash. Tokio. p. 74-81.

Citado por: ESPINOZA NAVARRO, R.E. 1986. Determinación del nivel crítico de fósforo con dos metodologías de extracción, en la serie de suelos Tempisque y Sinaneque. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía.
2. BORNEMISZA, E. 1960. La solución extractora y la humedad en relación con el potasio intercambiable; experiencia en suelos aluvial de Costa Rica. Turrialba (C.R.) 10 (1):35-38.
3. BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. 1954. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59:39-45.

Citado por: YOC GOMEZ, A.I. 1989. Determinación del rango y nivel crítico de fósforo con dos soluciones de extracción y potasio con tres metodologías de extracción en la serie de suelos Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 51 p.
4. CATE, R.B.; NELSON, L.A. 1965. Un método rápido para correlación de análisis de suelos con ensayos de fertilizantes. Estados Unidos, Universidad de Carolina del Norte. Estación Experimental Agrícola. Boletín Técnico no. 1. p. 5-8.
5. COOK, M.G.; HUTCHENSON Jr., T.B. 1960. Soil potassium reactions as relates to clay mineralogy of selected kentucky soil. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 24 (4): 252-256.

Citado por: PERDOMO, R.; HAMPTON, H.E. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala, Universidad de San Carlos, Centro de Producción de Materiales. p. 153.
6. DIAZ MOSCOSO, M.R. 1984. Comportamiento del fósforo extraído con Carolina del Norte y Olsen modificado en tres series de suelo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Univesidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 88 p.
7. DIAZ ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología del muestreo de suelos, análisis de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 68-44.
8. ESPINOZA NAVARRO, R.E. 1986. Determinación del nivel crítico de fósforo con dos metodologías de extracción, en la serie de suelos Tempisque y Sinaneque. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 37 p.
9. FASSBENDER, H.W. 1980. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 37 p.

10. FITTS, J.W.; WAUGH, D.G. 1966. Estudio de interpretación de análisis de suelos: laboratorio y macetas. Carolina del Norte, Universidad Estatal. Boletín Técnico no. 3. 36 p.
11. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1980. Registros climáticos. Guatemala. 296 p.
12. GUERRERO, R.R. 1979. El diagnóstico de la fertilidad del suelo. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. p. 156-170.
13. HANWAY, J.J.; SCOTT, A.D. 1952. Profile distribution of exchangeable potassium in Iowa soil influence by brying requetting. Soil Sci. Soc. Amér. Pro. 25 (5): 501-505.

Citado por: PERDOMO, R.; HAMPTON, H.E. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala, Universidad de San Carlos, Centro de Producción de materiales. p. 153.
14. HUNTER, A.H. 1977. Técnicas de laboratorio e invernadero para estudios de nutrientes con miras a determinar las enmiendas de suelos, requeridas para un óptimo crecimiento de las plantas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 58-60.
15. KOBO, K.; OHBA, Y. 1963. Trans. Cong. Sci. Scil and Manure, (Japan). 9:30.

Citado por: EGAWA, T. 1980. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In Ishizuka, Y.; Black, C.A. Eds. Suelos derivados de cenizas volcánicas de Japón. México, D.F., Ediciones las Américas. p. 51.
16. MARQUEZ HERNANDEZ, J. 1987. Determinación del rango y nivel de concentración crítica de fósforo con tres metodologías de extracción, en la serie de suelos Cauqué y Tecpán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 46 p.
17. MENESES, A.A. 1986. Determinación del nivel crítico de fósforo y potasio con tres soluciones extractoras en la serie de suelos Alotenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 46 p.
18. MORTHAND, M.M.; LAWTON, K.; UEHARA, G. 1957. Fixation and release of potassium by some clay minerals. Soil Sci. Amer. Proc. 21:381-184.

Citado por: PERDOMO, R.; HAMPTON, H.E. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala, Universidad de San Carlos, Centro de Producción de Materiales. p. 155.
19. PALENCIA, J.A. 1974. Correlación para análisis de fósforo y protasio; informe anual 1973. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Programa de Nutrición Animal. p. 5-14.

20. PINEDA, H.L. 1976. Efectos de los niveles de frecuencia de aplicación de nitrógeno sobre el rendimiento y sus componentes en el cultivo de maíz, según el sur oriente del país. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. p. 20-21.
21. SALINAS, J.G.; SANCHEZ, P.A. 1972. Relación suelo planta que afecta los rendimientos entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Ciencia y Cultura. No. 28:156-168.
22. SAIS DEL RIO, J.F. 1974. Análisis químico de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA. p. 5-14.
23. SANCHEZ, P.A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Trad. por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA, 660 p.
24. SUAREZ, A. 1968. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, Turrialba, IICA. 305 p.
25. SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. p. 698-699.
26. SWINDALE, L.D. 1969. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA. p. B.10.1 - B.10.9.
27. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1982. Fertilidad de suelos. Traducción del inglés por Jorge Balasch. México, UTEHA. 760 p.
28. URLICH, A. 1952. Physiological bases of assessing the nutritional requirements of planta. Ann. Rev. Plant Physiology 3:207-228.

Citado por: BARILLAS FLORES, J.M. 1987. Determinación del rango y nivel de concentración crítica de fósforo y potasio con dos metodologías de extracción, en la serie de suelos Guatemala y Patzité. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 46 p.
29. YOC SANCHEZ, A.I. 1989. Determinación del rango y nivel crítico de fósforo con dos soluciones de extracción y potasio con tres metodologías de extracción en la serie de suelos Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 51 p.
30. WADA, K. 1959. Soil Sci. 87:325-330.

Citado por: EGAWA, T. 1980. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In Ishizuka, Y.; Black, C.A. Eds. Suelos derivados de cenizas volcánicas de Japón. México, D.F., Ediciones las Américas. p. 51.

10. Bo.
Patruelle



11. APENDICE

Apendice 1

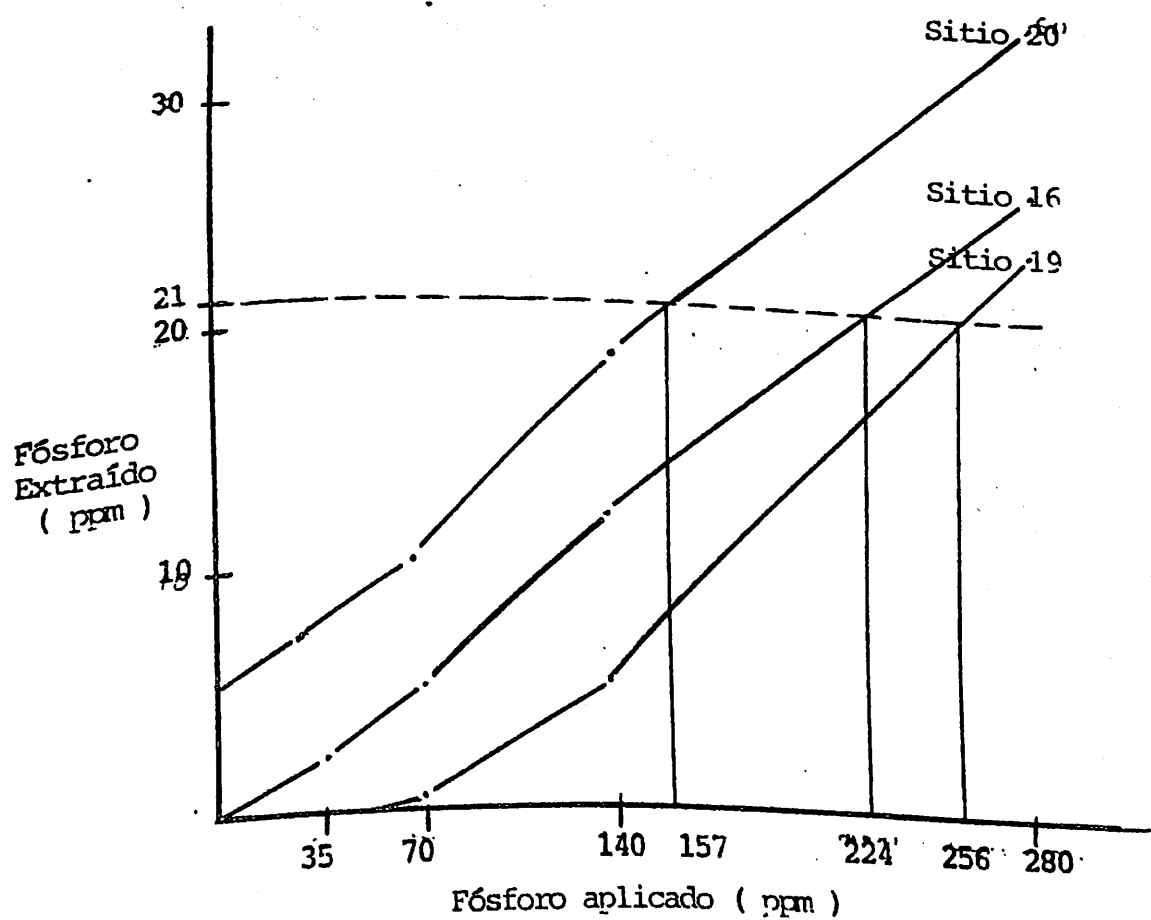


Figura A 9. Curvas típicas de Sorción de fósforo observada en la serie de suelos Culma.

Apendice 2

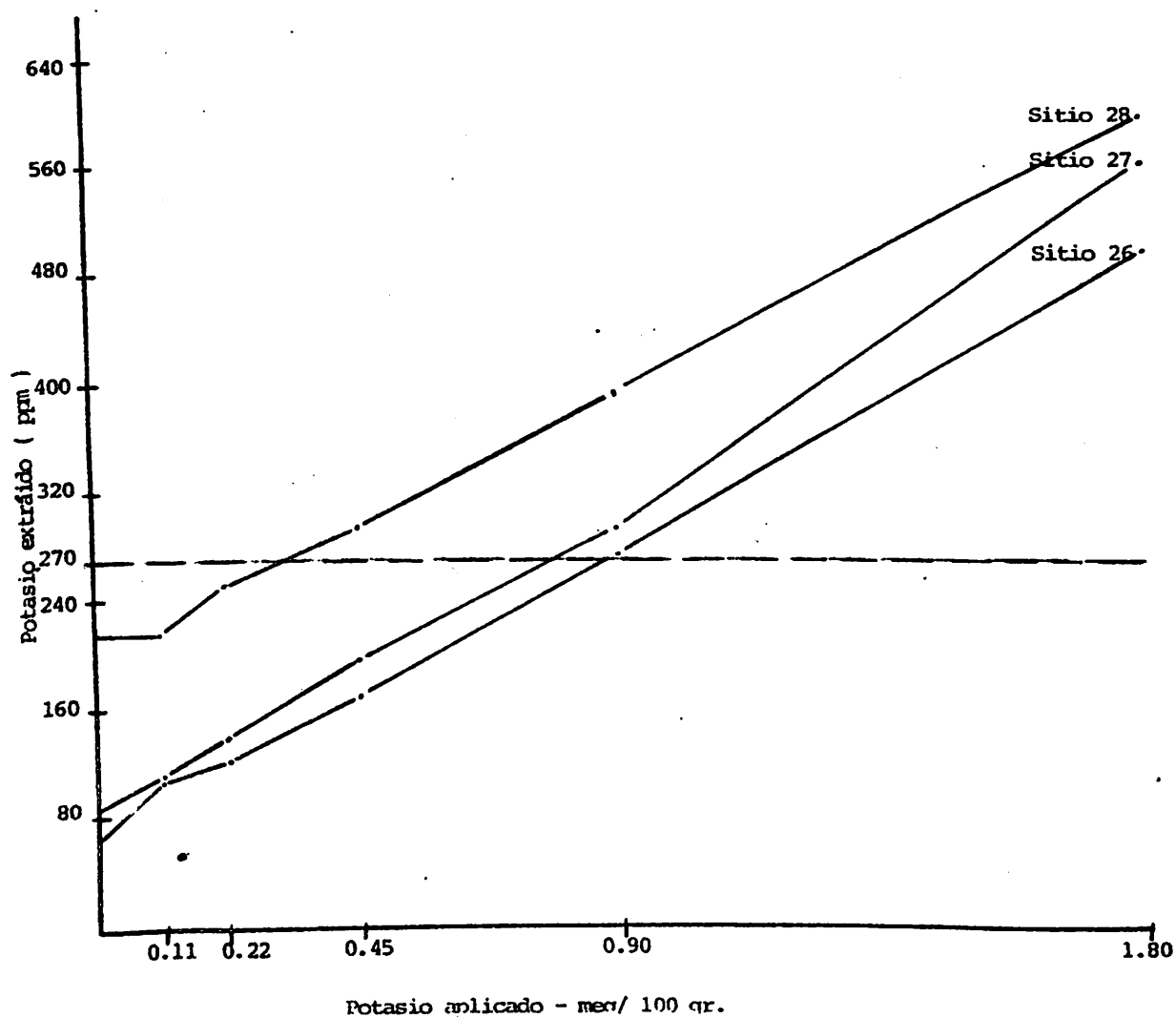


Figura A 10. Curvas de Sorción de potasio observado en la serie de suelos culma.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

Ref: 036-91

LA TESIS TITULADA: DETERMINACION DEL NIVEL Y RANGO CRITICO PARA FOSFORO Y POTASIO CON DIFERENTES SOLUCIONES EXTRACTORAS, EN LA SERIE DE SUELOS CULMA.

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MANUEL ANTONIO RECINOS AGUIRRE

CARNET NO: 40053

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Los Ingenieros Efraín Medina y Carlos Fernández.

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen contar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. José Jesús Chonay
ASESOR



IMPRIMASE:

Ing. Agr. Efraín Medina
DECANO



/aler.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

Edif. T. 8, Ciudad Universitaria, Zona 12, Tel.: 760700 y 760005, Ext. 474, Guatemala, C. A.