

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

**DETERMINACION DE NIVELES CRITICOS PARA FOSFORO Y POTASIO CON
CUATRO SOLUCIONES EXTRACTORAS A NIVEL DE INVERNADERO EN
SUELOS DEL PIE DE MONTE NEOVOLCANICO DE GUATEMALA.**

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



En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO**

Guatemala, Agosto de 2001.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
011
† (1982)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA
VOCAL I	Ing. Agr. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO
VOCAL II	Ing. Agr. MANUEL DE JESUS MARTINEZ OVALLE
VOCAL III	Ing. Agr. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ FIGUEROA
VOCAL IV	Prof. ALBERTO CAAL ICH
VOCAL V	Br. JOSE BALDOMERO SANDOVAL ARRIAZA
SECRETARIO	Ing. Agr. EDIL RENE RODRIGUEZ QUEZADA

Guatemala, Agosto de 2001.

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

Señores miembros:

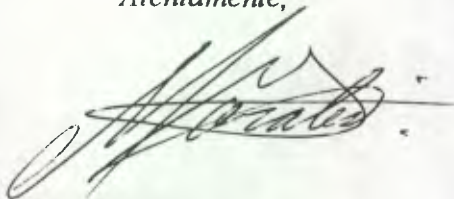
*De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala,
tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:*

**DETERMINACION DE NIVELES CRITICOS PARA FOSFORO Y POTASIO CON
CUATRO SOLUCIONES EXTRACTORAS A NIVEL DE INVERNADERO EN
SUELOS DEL PIE DE MONTE NEOVOLCANICO DE GUATEMALA.**

*Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción
Agrícola, en el grado académico de licenciado.*

*Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para la
aprobación, me suscribo,*

Atentamente,



Sergio Enrique Morales García

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Por darme fuerza y sabiduría para alcanzar una de mis metas en esta vida.

MIS PADRES

Sergio Arturo Morales Prado y Rosa García Mancilla de Morales, por su sacrificio, esfuerzo, paciencia y por llenarme de entusiasmo para seguir adelante en mis estudios.

MIS HERMANOS

Ana Cecilia y su esposo Raúl Cortes
Gustavo Adolfo y su esposa Tanya Alvarez.

MIS ABUELOS

Enrique Alfonso Morales Santos. (Q.E.P.D.)
Rosalina Prado de Morales (Q.E.P.D.)
Julio García (Q.E.P.D.)
Zoila Mancilla de García.

MIS SOBRINOS

Con mucho cariño

**MI FAMILIA
EN GENERAL**

Con mucho cariño

MIS AMIGOS

Gracias por su amistad, experiencias y momentos compartidos.

TESIS QUE DEDICO

A: MI PATRIA GUATEMALA
LA FACULTAD DE AGRONOMIA
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
MIS CATEDRATICOS EN GENERAL

AGRADECIMIENTO

A: MIS ASESORES:

Ing. Agr. José Chonay Pantzay
Ing. Agr. Ivan Dimitri Santos Castillo

A los integrantes del Laboratorio de Análisis de suelo, agua y planta, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.

Agradecimiento sincero al Ing. Agr. Anibal Sacbajá, Inga. Agra. Ana Celena Carías, Ing. Agr. Luis Estrada L. Maxdelio Herrera, Guillermo Santos, Edgar Martínez Tambito y William Escobar por su amistad y colaboración en la elaboración del presente trabajo.

CONTENIDO	PAGINAS
1. INTRODUCCION	1
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	4
3.1 MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1 El Fósforo	4
3.1.1.1 Dinámica del Fósforo en el Suelo	5
3.1.1.2 Factores que Afectan la Disponibilidad del Fósforo	6
3.1.2 El Potasio	7
3.1.2.1 Dinámica de Potasio en el Suelo	9
3.1.2.2 Factores que Afectan la Dinámica del Potasio en el Suelo	10
3.1.3 Análisis Químico del Suelo	11
3.1.4 Solución Extractora	12
3.1.5 Descripción de las Cuatro Soluciones Extractoras	13
3.1.6 Nivel Critico	14
3.1.7 Método Utilizados para Obtener el Nivel Critico	14
3.1.7.1 Método de Correlación	14
3.1.7.2 Procedimiento Matemático para la Correlación (Modelo Discontinuo de Dos Medias)	15
3.1.7.3 Método Gráfico de Cate y Nelson	16
3.1.8 Planta Indicadora	17
3.2 MARCO REFERENCIAL	18
3.2.1 Antecedentes de Investigaciones	18
3.2.2 Descripción del Area Experimental	22
3.2.2.1 Localización	22
3.2.2.2 Características Generales del Area de Muestreo	23
3.2.2.3 Clima	23
3.2.2.4 Zona de Vida	23
3.2.2.5 Geológica	24
3.2.2.6 Fisiografía	24
3.2.2.7 Suelo	25
3.2.2.7.1 Descripción de los Suelos según Clasificación Simmons y su Taxonomía	25
4. OBJETIVOS	29
5. HIPOTESIS	30
6. METODOLOGIA	31
6.1. Selección de los Puntos de Muestreo	31

6.2.	Muestreo	31
6.3	Fase de Laboratorio	31
6.3.1	Secado, Tamizado y Homogenizado	31
6.3.2	Determinaciones Físicas y Químicas de las Muestras de Suelo	31
6.3.3	Descripción de las Soluciones Extracción	33
6.3.4	Estudio de Sorcion y Determinación del Tratamiento de Referencia	36
6.4.	Fase de Invernadero	37
6.4.1.	Unidad Experimental	37
6.4.2.	Variable a Evaluar	37
6.4.2.1	Materia Seca	37
6.4.3	Manejo del Experimento	37
6.4.3.1	Siembra	37
6.4.3.2	Riego	38
6.4.3.3	Entresaque	38
6.4.3.4	Cosecha	38
6.5	Análisis de Información	38
6.5.1	Rendimiento Relativo	38
6.5.2	Nivel Critico	39
7.	RESULTADOS	39
7.1	Características Físicas y Químicas de los Suelos	39
7.2	Rendimiento Relativo y Nivel Critico de Fósforo	41
7.3	Rendimiento y Nivel Critico de Potasio	43
8.	CONCLUSIONES	45
9.	RECOMENDACIONES	46
10.	BIBLIOGRAFIA	47
11.	APENDICE	51

INDICE DE CUADROS

	CUADRO	PAGINA
1.	Diferentes Solución Extractora Utilizada en el Análisis de suelo	12
2.	Posición Fisiografica, Material Madre y Perfiles de lo Suelos	26
3.	Características importantes que Influyen su Uso del Suelo	31
4.	Descripción del Uso del suelo,Taxonomia y Cuenca a que pertenece cada punto de muestre	28

5.	Localización, Ubicación y Características de los 25 Puntos de Muestreo de Suelos, en el Estudio de Evaluación de Soluciones Extractoras en la Fertilidad de Suelos para los Suelos del Pie de Monte Neovolcanico	32
6.	Métodos para Determinar las Características Químicas del Suelo	33
7.	Descripción de Soluciones Extractoras	35
8.	Concentración de Elementos en las Soluciones de los Tratamientos de Sorcion	36
9.	Tratamientos a Evaluados	37
10.	Resultado de Análisis, Características Físicas y Químicas	40
11.	Elementos Disponibles en el Suelo y sus Relaciones	46
12.	Nivel Critico	44
13.	Fracción de Fósforo disponible y Rendimiento Relativo Calculado	52
14.	Fracción de Potasio disponible y Rendimiento Relativo Calculado	52
15.	Cantidades de Solución para el Tratamiento de Referencia	53

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA	
1.	Dinámica del Fósforo en el Complejo Edafico	6
2.	Dinámica del Potasio en el Complejo Edafico	10
3.	Determinación del Nivel Critico de Suelo	18
4.	Determinación de Nivel Critico Fósforo con Doble Acido Diluido	42
5.	Determinación de Nivel Critico Fósforo Con Olsen	42

6.	Determinación de Nivel Critico Fósforo Con Bray I	42
7.	Determinación de Nivel Critico Fósforo Con Mehlich III	42
8.	Determinación de Nivel Critico Potasio con Doble Acido Diluido	43
9.	Determinación de Nivel Critico Potasio Con Olsen modificado	43
10.	Determinación de Nivel Critico Potasio Con Bray I	44
11.	Determinación de Nivel Critico Potasio Con Mehlich III	44
12.	Mapa de Ubicación de los Puntos de muestreo de los Suelos del Pie de Monte Neovolcanico	54

DETERMINACION DE NIVELES CRITICOS PARA FOSFORO Y POTASIO CON CUATRO SOLUCIONES EXTRACTORAS A NIVEL DE INVERNADERO EN SUELOS DEL PIE DE MONTE NEOVOLCANICO DE GUATEMALA.

DETERMINATION OF CRITICAL LEVEL OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM USING FOUR EXTRACTING SOLUTIONS AT GREENHOUSE CONDITIONS IN SOIL AT FOOT OF NEO-VULCANIC MOUNTS OF GUATEMALA.

RESUMEN

Gran parte de la economía guatemalteca se basa en algunos productos agrícolas de exportación. Para alcanzar producciones aceptables, es importante conocer el entorno que rodea al cultivo. Uno de los factores que puede afectar drásticamente los rendimientos es el suelo, por lo tanto el conocimiento de la fertilidad del suelo como la base de la nutrición de los cultivos es determinante en la producción agrícola. Con base en lo anterior los programas de nutrición vegetal deben basarse en los análisis químicos de suelo, los cuales deben cumplir con utilizar soluciones extractoras previamente correlacionadas y calibradas para extraer la fracción disponible de los elementos existentes en el suelo y con niveles críticos que sean lo más cercanos a la realidad y que no creen confusión en los usuarios. El objetivo de esta investigación fue determinar el nivel crítico de fósforo y potasio disponible en los suelos del Pie de Monte Neovolcanico del Pacifico de Guatemala, utilizando cuatro soluciones extractoras a nivel de invernadero. Para cumplir con este objetivo se planteo la siguiente hipótesis: El nivel crítico de la fracción disponible de fósforo y potasio a evaluar con cada una de las cuatro soluciones extractoras es igual para todos los suelos del Pie de Monte Neovolcanico.

En la fase de gabinete se seleccionaron veinticinco sitios de muestreo con características diferentes en cuanto a taxonomía, fertilidad, geología, topografía y cultivos entre otros. En campo se tomo una muestra compuesta de suelo de 50 kg. a una profundidad de 30 cm., las cuales fueron georeferenciadas y trasladadas al laboratorio donde se acondicionaron para su posterior análisis químico y estudio de invernadero. En la fase de laboratorio el suelo fue analizado para extraer la fracción de fósforo y potasio disponibles con las cuatro soluciones evaluadas: Doble Acido Diluido, Olsen Modificado, Bray I y Mehlich III. Con el propósito de identificar las potenciales cantidades de P y K que estos suelos pueden fijar, se generaron las curvas de sorción para cada uno, resultados que se utilizaron para obtener el tratamiento de referencia (suelo con niveles óptimos de nutrientes) que se utilizó en la fase de invernadero. Para completar el estudio se llevo a cabo la fase de invernadero en la cual se usaron macetas con capacidad de 0.5 kg. de suelo, distribuidas al completo azar con tres repeticiones y como planta indicadora se utilizó el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). La variable respuesta fue el rendimiento relativo de este cultivo, el cual se correlaciono con la fracción disponible de P_i y K extraída con cada solución, para luego determinar el nivel crítico por medio del método gráfico de Cate y Nelson. De acuerdo a los resultados, los niveles críticos para P con las soluciones extractoras fueron los siguientes: Doble Acido Diluido 17.81, Olsen Modificado 19.5, Bray I 14 y Mehlich III 15 ppm respectivamente; en cuanto al K: Doble Acido Diluido 100, Bray I 190 y Mehlich III 180 ppm respectivamente. Para el caso de Olsen modificado no fue posible determinar este nivel, debido a la alta dispersión de los parámetros evaluados. De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar los niveles críticos de fósforo y potasio encontrados para futuras investigaciones de campo, bajo las mismas condiciones edáficas evaluadas. Asimismo, se sugiere someter a un estudio mas profundo los diferentes suelos identificados en los que no se obtuvo una respuesta satisfactoria de acuerdo a las soluciones.

1. INTRODUCCION

Uno de los factores que determina la magnitud de la producción agrícola, es el conocimiento de la fertilidad del suelo; el cual esta condicionado y correlacionado por el clima y su manejo; Para el manejo de la fertilidad del suelo es importante evaluar el contenido nutrimental para determinar la disponibilidad en la solución del suelo y así recomendar programas de fertilización para cada condición en particular.

La fertilización es una de las practicas más comunes para el manejo en la nutrición de los cultivos. Para recomendar un programa de fertilización existen algunos enfoques que se han utilizado atraves de la evolución de la agricultura, entre las cuales se puede mencionar ensayos de campo a diferentes niveles de nutrimentos; con el objetivo de generar un modelo estadístico matemático para estimar las dosis optimas económicas. El análisis químico de suelo es la metodología que en la actualidad es empleada en Guatemala como herramienta para recomendar el manejo de los nutrientes.

El análisis químico de suelo es la base para generar planes de fertilización, esto tendrá validez se cuando utilizan soluciones extractoras calibradas y correlacionadas que cumplan con extraer la fracción de nutriente disponible y que correlacione con los rendimientos.

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue: evaluar cuatro soluciones extractoras para determinar la fracción disponible de Fósforo y Potasio y el nivel crítico de los suelos del Pie de Monte Neovolcanico del país. Las soluciones extractoras evaluadas fueron: Doble Acido Diluido (Mehlich I), Olsen Modificado, Bray I y Mehlich III. Para obtener los niveles críticos se utilizó el método gráfico de Cate y Nelson. Como planta indicadora se utilizó el sorgo (*Sorghum bicolor* L.)

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Guatemala es un país con una extensión territorial de 108,889 Km², sin embargo se caracteriza por una gran diversidad de climas, vegetación, relieves, que a través del tiempo han generado un complejo edafico heterogéneo. Esta situación se refleja en las distintas categorías de fertilidad de los suelos en los agrosistemas productivos que se practican en el país; por ende el manejo del suelo será particular para cada situación. La fertilización es una de las prácticas en la nutrición de los cultivos, que debe ser sustentada con una base técnica y científica para que las adiciones de los nutrientes estén acordes a las características físicas, químicas y biológicas del suelo en función de la demanda del cultivo y de las exigencias ambientales.

Para recomendar un programa nutricional se han generado varios enfoques que se han utilizado a través de la evolución de la agricultura, entre los cuales se puede mencionar ensayos o experimentos de campo (respuestas biológicas del cultivo) a diferentes niveles nutricionales; modelos conceptuales o racionales y los análisis químicos del suelo, con la información obtenida se laboran los programas nutricionales antes mencionados

El análisis químico de suelo es la metodología más empleada en Guatemala, como herramienta para recomendar la fertilización de los cultivos. Para que una recomendación de fertilización tenga validez con esta metodología, es necesario utilizar soluciones extractoras que cumplan con extraer la fracción de nutriente disponible y que la misma correlacione con los rendimientos de un determinado cultivo; con la finalidad de seleccionar niveles críticos del elemento en el suelo.

Esta metodología de análisis químico del suelo se introdujo a Guatemala a través del programa de producción del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola y el programa internacional de evaluación y mejoramiento de la fertilidad de los suelos (ISFEI) de la Universidad de Carolina del Norte de los Estados Unidos de Norte América, con la finalidad de evaluar la fertilidad de los suelos de algunas regiones agrícolas del país. Como resultado se seleccionó la solución extractora Doble Acido Diluido (Mehlich I) y se definieron niveles críticos de Fósforo y Potasio para algunos cultivos como arroz, maíz, trigo, sorgo y hortalizas. Posteriormente algunas Universidades como la Facultad de Agronomía Universidades Rafael Landívar, Del Valle y San Carlos de Guatemala, han realizado estudios a nivel de tesis utilizando esta metodología, en diferentes series de suelos y probando la efectividad de diversas soluciones

extractoras. estudios que por su naturaleza y extensiones abarcadas arrojaron resultados aunque satisfactorios en muchos casos, pero por su carácter puntual, han sido utilizados en muy pocas ocasiones.

Hasta la fecha esta solución (Doble Acido Diluido) se utiliza en los distintos laboratorios de análisis químicos de suelos, como en el caso del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas y la Facultad de Agronomía, como base para recomendaciones de fertilización en todo el territorio nacional. Por otro lado, el servicio que prestan algunos laboratorios privados en la actualidad utilizan Mehlich III. Sin embargo esta solución tiene que ser correlacionada y calibrada para los suelos Guatemaltecos, para que las recomendaciones de fertilidad no creen confusión en los usuarios y sean lo más cercano a la realidad.

Con base en lo anterior no existe una homogeneización debido al uso generalizado de una única solución extractora como el Doble Acido Diluido para todo tipo de suelo, situación que no ha sido comprobada y por otro lado la introducción en el sector privado de soluciones extractoras que en nuestro país carecen de correlación y calibración.

En consecuencia los resultados, para un mismo suelo con respecto a las fracciones disponibles de los elementos puede ser sub o sobre estimados, arrastrando consigo recomendaciones de fertilización erróneas que puedan ser significativas en la productividad de un agrosistema determinado.

3. MARCO TEORICO

3.1.1.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 EL FOSFORO.

El fósforo del suelo proviene mayormente de la meteorización de la apatita, un mineral que contiene fósforo (p) y Calcio (Ca), así como otros elementos como flúor y cloro. El fósforo elemental es químicamente muy reactivo y por esta razón no este presente en su estado puro en la naturaleza. Se encuentra solamente en combinaciones químicas con otros elementos. A medida que las apatitas se descomponen y libera P, se forman varios compuestos de este elemento en el suelo y se liberan los dos iones ortofosfato que son absorbidos por las plantas (20).

El P total en la capa arable disminuye conforme aumenta la intensidad de la meteorización. Los suelos jóvenes derivados de ceniza volcánica presentan un mayor contenido de P total que los desarrollados de sedimentos meteorizados y redepositado en las áreas bajas tropicales. Así, en Oxisoles, Ultisoles y Alfisoles es común que los valores de P total sean inferiores a 200 ppm, mientras que en Andisoles, oscilan entre 1000 y 3000 ppm.

Los contenidos de P en suelos de áreas tropicales son muy variables. Entre las condiciones edafológicas y ecológicas del suelo, las que principalmente determinan esta variabilidad son el tipo de roca parietal presente, el grado de desarrollo de los suelos y el contenido de materia orgánica en forma localizada, suelos ricos en P total resultan de materiales parentales ricos en P. Por otra parte, al aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos, aumenta el contenido de fosfato orgánico y por lo tanto los contenidos totales llegan a ser mayores. Factores estabilizadores de materia orgánica como organominerales y alofana es muy posible que conduzcan a elevar los niveles de P total de los suelos. El contenido total también depende de la textura del suelo y tanto en áreas de clima templado como tropicales, entre más fina sea la textura, mayor es el contenido de P total. El P en el suelo se puede encontrar en forma de P orgánico y P inorgánico, dentro del P inorgánico se diferencian tres fracciones:

- **Fósforo Nativo o Precipitado:** Esta forma sólida de P inorgánico por lo general esta dividida en tres fracciones activas y dos relativamente inactivas. Las activas son los fosfatos enlazados a Calcio, Aluminio y al Hierro y se presentan como película o están adsorbidos en la superficie de arcillas o

limos. Las formas inactivas son las formas oclusivas y aquellas que se disuelven con la reducción química del suelo. P oclusivo consiste de compuestos de P-Al y P-Fe rodeado de un revestimiento inerte que evita la reacción de estos fosfatos con la solución del suelo.

- **Fósforo Absorbido al Complejo Coloidal:** Como anión que es, el fosfato está sujeto a fenómenos de adsorción e intercambio aniónico en la superficie coloidal cargada positivamente. Dentro de los aniones presentes en el suelo, los fosfatos son los que presentan mayor fuerza de retención y hasta son capaces de desplazar al resto. Las cargas positivas del complejo coloidal se producen en todos aquellos puntos en donde hay OH terminales (bordes rotos, alofana, materia orgánica, sesquióxidos) cuando las condiciones son lo suficientemente ácidas que permitan la protonación de esos OH.
- **Fósforo Soluble en la Solución del Suelo:** Las cantidades en esta fracción son bajas, del orden de menos de 0.2 ppm. Se presentan en las dos formas aniónicas más solubles (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) variando su predominancia según el pH. Entre el pH 2 y 7 predomina la forma H_2PO_4^- y entre pH 7 y 12, la forma HPO_4^{2-} por lo que la forma más común en los suelos tropicales es la H_2PO_4^- (3).

3.1.1.1 DINAMICA DEL FOSFORO EN EL SUELO.

La planta absorbe en grandes cantidades, nitrógeno, fósforo y potasio. Aunque el fósforo generalmente se incluye dentro de este grupo de elementos mayores porque se aplica en grandes cantidades, no es en realidad consumido por la planta en gran magnitud, sino que su uso en el suelo resulta muy ineficiente (3).

El fósforo se mueve muy poco en la mayoría de los suelos. Generalmente se mantiene en el lugar que ha sido colocado por la meteorización de los minerales o por la fertilización; muy poco se pierde por lixiviación, aunque cuando se mueve más libremente en suelos arenosos que en arcillosos. La erosión y la remoción por el cultivo son las dos únicas formas significativas de pérdida de P del suelo.

Casi todo el P se mueve en el suelo por difusión, un proceso lento y de poco alcance que depende de la humedad del suelo. Las condiciones secas reducen notablemente la difusión (20). Este proceso es el movimiento que ocurre a través de la solución del suelo en respuesta a un gradiente de concentración del

nutrimiento, ó sea, que las partículas se mueven de zonas de mayor concentración a zonas de menor concentración.

La difusión depende de factores como el coeficiente químico de difusión de cada elemento, la magnitud de las gradientes, la textura, la cantidad de agua creciente en el suelo, la superficie de raíz disponible a la absorción la tortuosidad y la viscosidad del medio (3).



Figura 1. Dinámica del fósforo en el complejo edáfico. INPOFOS; 1999 (20).

3.1.1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA DINAMICA Y DISPONIBILIDAD DEL FOSFORO EN EL SUELO.

La mayoría de los cultivos recupera solamente del 10 al 30% del P aplicado el primer año después de la aplicación. El porcentaje de recuperación varía ampliamente, dependiendo principalmente de factores como las fuentes de P, tipos de suelo, cultivo, método de aplicación y clima. Sin embargo, una apreciable cantidad de P residual pasará a ser disponible para los cultivos subsiguientes. La disponibilidad y dinámica del P varía de acuerdo a los siguientes factores:

- **Cantidad de arcilla:** A mayor cantidad de arcilla, habrá una mayor fijación de fósforo.
- **Tipo de arcilla:** Suelos con contenido alto de arcillas como caolinita, óxidos, hidróxidos de Fe y Al que son comunes en regiones con altas temperaturas y precipitaciones, y arcillas amorfas como alofana, imogolita y humus-Al que son comunes en suelos de origen de ceniza volcánica, retiene o fijan más P que otros suelos.

- **Epoca de aplicación:** Cuando mayor sea el tiempo que el suelo se encuentre en contacto con P añadido, mayor es la posibilidad de fijación.
- **Aireación:** El oxígeno es necesario para el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes, y es esencial para la descomposición de la materia orgánica del suelo, una fuente importante de P.
- **Humedad:** El incrementar la humedad del suelo a niveles óptimos hace que el P sea más disponible para la planta. Sin embargo el exceso de humedad reduce el oxígeno lo que limita el crecimiento de la raíz y hace lenta la absorción de P.
- **Contenido de P en el suelo:** Los suelos que han recibido varios años más P que la cantidad removida en los cultivos presentarán un incremento en los niveles de disponibilidad de P.
- **Temperatura:** Las temperaturas ideales para un buen crecimiento de la planta afectan muy poco la disponibilidad de P. Sin embargo las temperaturas muy altas o bajas pueden restringir la absorción.
- **Otros nutrientes:** La aplicación de otros nutrientes puede estimular la absorción de P.
- **El pH:** En los suelos dominados por arcillas del tipo 2:1 la solubilidad de varios compuestos de P está determinada principalmente por el pH del suelo. Las formas más solubles o disponibles de P existen en el rango de pH de 5.5 a 7.0, los compuestos insolubles de P como el Ca y Mg como cal y magnesio existen sobre el valor de pH 7.0 (20).

3.1.2 EL POTASIO

La corteza terrestre presenta aproximadamente 2.5% de potasio, y se encuentra mayor cantidad de ese elemento en las rocas ígneas que en las sedimentarias. Las cantidades de K disueltas en el mar son importantes. En la era Paleozoica se produjo una acumulación de sales y minerales en lugares específicos que formaron los yacimientos que se explotan en la actualidad para suplir las necesidades de este elemento. Algunas de estas brechas de sales se encuentran a grandes profundidades. En América Latina se han encontrado yacimientos explotables en Brasil, Chile y Perú.

En los suelos minerales la mayor cantidad de K se encuentra asociado con los silicatos, los feldespatos (Ortoclasa y Plagiocasa), las micas (Biotita y Muscovita), y con algunos minerales arcillosos (Vermiculita, Ilita, Clorita). La meteorización de los minerales primarios al igual que la constitución

mineralógica, incide directamente sobre la concentración de K en los suelos. Los minerales potásicos presentan el siguiente orden de meteorización: Feldespatos > Illitas > Muscovitas = Biotitas.

En los suelos la cantidad de K varía entre .04 y 3%. En casos excepcionales, como en los suelos salinos pueden alcanzar los valores hasta del 8%. El contenido de K total en los suelos no da mayor información acerca de su disponibilidad de las plantas, para considerar estos aspectos es necesario considerar las diferentes formas o fracciones en que este elemento se presente en el suelo.

En términos muy generales las fracciones de K contribuyen en los siguientes porcentajes al K total: K solución (0.1 - 0.2%) K intercambiable (2 - 8%), El K no intercambiable, K estructural (90 - 98%)

- **K Soluble:** Es la fracción a partir de la cual las plantas absorben el K directamente. La cantidad de K disuelto en la solución del suelo es muy baja, pues varía entre 0.1 - 100 mg/L. Y llega ahí por difusión, principalmente, y por flujo de masas. La cantidad transportada por flujo de masas depende de cantidad de agua transpirada y el contenido de K en el agua que fluye. Su concentración depende de la cantidad de K intercambiable el contenido de arcilla, el grado de meteorización y la humedad del suelo. Otro factor importante a considerar es la participación de K dentro de los cationes del suelo en su solución equilibrada. En general, el K contribuye con el 10 - 30% de la suma de cationes de la solución. La concentración óptima de K en solución es de 20 - 40 mg/L.
- **K Intercambiable:** Es el K que se encuentra adsorbido por las cargas negativas en las arcillas, material orgánico e hidróxidos y pueden ser reemplazados por otros cationes sin que se altere la naturaleza del complejo de campo. Por lo general K intercambiable se relaciona con el rendimiento y el K absorbido por los cultivos, ya que en la mayoría de los sistemas coloidales representa la reserva más grande donde se almacena K y a partir de la cual es liberado gradualmente para ponerlo a disposición, a la vez que es protegido del lavado. Aunque los factores involucrados en cada sistema coloidal son diferentes, generalmente, cuando la participación del K intercambiable dentro del complejo de intercambio es menor al 2.5% se presenta una respuesta a fertilización potásica.

- **K No Intercambiable:** Es el K que se encuentra fijado entre las capas de tetraedros de las micas minerales, así como en las cavidades hexagonales de ciertos minerales. El K no intercambiable Es liberado lentamente por meteorización y por lo general no con suficiente rapidez como para estar disponible en forma inmediata a los cultivos. En un sistema de producción activo, a medida que se agota el K intercambiable, empieza a ocurrir reposición a partir del K no intercambiable.
- **K Estructural:** Corresponde al K que se encuentra formando parte de la estructura de los minerales primarios y secundarios. Es la fracción mas grande del K total. Es muy poco disponible para las plantas y depende del grado de meteorización de los feldspatos y micas. Si la dinámica del suelo lo exige puede actuar como fuente de reposición del K asía formas más disponibles, sin embargo su acción es a muy largo plazo.
- **K Orgánico:** Aunque se considera el K un elemento de comportamiento prácticamente mineral, su presencia en los abonos o residuos orgánicos, repercute sobre la disponibilidad en el suelo, especialmente por que por lo general es altamente concentrado en los tejidos. No es un nutriente estructural por lo tanto pasa a ser disponible muy rápido después de ser aplicado los residuos vegetales sobre el terreno. Después de practicas como tumbas y quemas se ha informado de incrementos importantes del elemento en el sistema (3).

3.1.2.1 DINAMICA DEL POTASIO EN EL SUELO.

Es vital mantener niveles adecuados de potasio en el suelo porque este nutriente no se mueve mucho, excepto en suelos arenosos o en suelos orgánicos. A diferencia del nitrógeno y algunos otros nutrientes, el potasio (K) tiende a mantenerse en el sitio que se coloca cuando se fertiliza. Cuando el K se mueve, lo hace por medio del proceso denominado difusión, en desplazamientos lentos y en un corto recorrido por las partículas de agua que rodean las partículas del suelo. Las condiciones secas hacen que este movimiento sea mas lento, pero niveles altos de K lo aceleran.

En general las raíces de las plantas hacen contacto con menos del 3% del suelo en el cual crecen. Por esta razón el suelo debe estar bien abastecido de K para asegurar que las necesidades de las plantas

sean atendidas continuamente durante todo el ciclo de crecimiento, hasta el momento de la cosecha (20). En la figura 2 se presenta la dinámica de este elemento en el complejo edáfico.

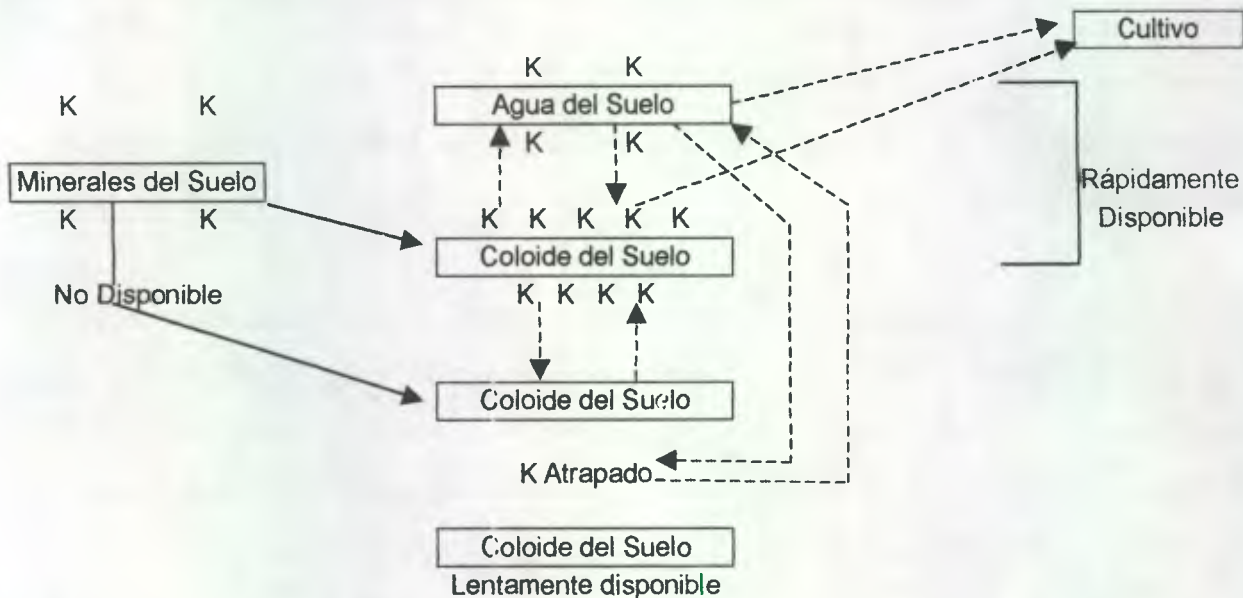


Figura 2. Dinámica del potasio en el complejo edáfico. INPOFOS, 1999 (20).

3.1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA DINAMICA DEL POTASIO EN EL SUELO.

El potasio es relativamente inmóvil en el suelo, llegando a las raíces principales por difusión. Por esta razón, cualquier factor que restrinja el crecimiento de las raíces y/o que reduzca la tasa de difusión puede disminuir la absorción de K.

- **Fijación:** Se reduce la cantidad de K, por arcillas con alta capacidad de atrapar K arcillas 1:1 que retiene en forma no disponible; aumenta la capacidad de fijación con arcillas del grupo 2:1 como la illita, montmorillonita y vermiculita.
- **Capacidad de Intercambio Cationico:** En general, los suelos que tienen una alta CIC tiene una mayor capacidad de almacenamiento y una mayor capacidad para entregar K a la planta.
- **Temperatura del suelo:** La baja temperatura del suelo reduce la disponibilidad y la absorción de K por las raíces de las plantas.

- **Humedad del suelo:** El agua es necesaria para que se mueva el K en el suelo por difusión hacia las raíces de la planta (20).

3.1.3 ANALISIS QUIMICO DEL SUELO

El análisis químico de suelos consiste en la estimación de la disponibilidad de nutrimentos a la planta durante su ciclo de desarrollo por medio de métodos químicos. Se extraen los elementos con determinadas soluciones y se asume que estas concentraciones son las que están a disposición de las plantas.

Estas técnicas de laboratorio, si cumplen con un único pero fundamental requisito, que es una sólida investigación de respaldo que las asocie con la respuesta de campo de los cultivos (conocidas como correlación y calibración), probablemente constituye la opción más práctica para evaluar la fertilidad de los suelos. Son los métodos más rápidos, más baratos, muy precisos y, si existe esa buena investigación previa que los respalde, permiten cuantificar las necesidades de fertilización.

Específicamente, los análisis químicos de suelo consisten en la extracción de los nutrimentos del suelo mediante soluciones químicas. Obviamente, existen muchas y diferentes soluciones extractoras que extraen diferentes cantidades de los nutrimentos en los diferentes tipos de suelos. Por sí solo un análisis de suelo no tiene valor, es una cifra empírica que puede reflejar o no la disponibilidad de un nutrimento para las plantas. Estas extracciones tendrán un sentido agronómico si guardan alguna relación con la acción que hacen las raíces de las plantas en el suelo. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo, para ser adecuado y confiable debe apoyarse en dos aspectos esenciales:

- En el uso de soluciones extractoras de la fracción disponible adecuadas para los diferentes grupos de suelos.
- En la utilización de niveles críticos (altos, medios y bajos) confiables, calibrados para la solución extractora más adecuada según los grupos de suelos, y según los cultivos.

Estos dos supuestos básicos del diagnóstico se consiguen a través de extensos programas de investigación donde se correlacionan y calibran los análisis de laboratorio con pruebas de invernadero y/o campo para diferentes tipos de suelos y cultivos (3).

3.1.4 SOLUCIONES EXTRACTORAS.

El fundamento para escoger una u otra solución extractora para un determinado elemento se basa en el grado de asociación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. Una solución extractora será eficiente o adecuada cuando a valores altos de extracción correspondan también valores altos de absorción del elemento y cuando los valores bajos de extracción coincidan con baja absorción del elemento por la planta. Para cuantificar este grado de asociación se usan los parámetros estadísticos de correlación (r) y regresión (r^2). Tales correlaciones se establecen generalmente a dos niveles: uno exploratorio en el invernadero, con un número grande de suelos ampliamente divergentes, y uno más definitivo en el campo con un número menor de suelos. El propósito principal de la correlación a nivel de invernadero es comparar los diferentes métodos de extracción y establecer niveles críticos tentativos. En el cuadro 1 se presentan las composiciones químicas, las relaciones suelo-solución de algunas soluciones extractoras utilizadas en la determinación de la fracción disponible de los suelos (3).

Cuadro 1: Diferentes soluciones extractoras utilizadas en el análisis de suelo.

SOLUCION EXTRACTORA	COMPOSICION QUIMICA	RELACION Suelo-Solución
Bray I	NH ₄ F 0.03N + HCl 0.025N	1:7
Bray II	NH ₄ F 0.3N + HCl 0.1N	1:7
Olsen	NaHCO ₃ 0.5N a pH 8.5	1:20
Olsen modificado	NaHCO ₃ 0.5N + EDTA 0.01N	1:10
Acido Doble Diluido	H ₂ SO ₄ 0.025N + HCl 0.05N	1:5
HNO ₃	HNO ₃ 1 N	1:10
Mehlich II	HOAc 0.2N + NH ₄ F 0.15N + NH ₄ Cl 0.2N + HCl 0.12N	1:10
Acetato de amonio	NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂ 1 N pH 7	1:5
Mehlich III	CH ₃ COOH 0.2N + H ₄ NO ₃ 0.25N + NH ₄ F 0.015N + HNO ₃ 0.013 + EDTA 0.001M	1:10
AB - DTPA	NH ₄ HCO ₃ 1M + DTPA 0.005M pH 7.5	
Truog	H ₂ SO ₄ 0.002N amort. a pH 3 con (NH ₄) ₂ SO ₄	1:100
Acido Cítrico	Acido Cítrico 1%	1:10
Egner et al.	Lactato de Ca 0.02N + HCl 0.02N	1:20
Morgan	HOAc 0.54N + NaOAc 0.7N a pH 4.8	1:10

Cajuste, L J.(6), Díaz, R; Hunter, A. (10), Salinas, J; Sánchez, P.(28).

3.1.5 DESCRIPCION DE LAS CUATRO SOLUCIONES EXTRACTORAS

- **METODO DEL DOBLE ACIDO DILUIDO.**

Este método sirve básicamente para determinar el fósforo en los suelos arenosos que tienen una capacidad de intercambio menor a 10 meq/100 gr de pH ácido menor de 6.5, con un contenido relativamente bajo de materia orgánica menor de 5 %, este método no es recomendable para suelos alcalinos (6).

- **BRAY I.**

El método ha sido ampliamente empleado como un índice de fósforo disponible en los suelos. La mezcla de HCl y NH_4F tiene como finalidad remover las formas de fósforo fácilmente soluble en medio ácido, en gran parte los fosfatos de calcio y una porción de los fosfatos de aluminio y de hierro. El NH_4F disuelve los fosfatos de aluminio y de hierro al formar un ion complejo con estos iones metálicos en solución ácida. En general, este método ha sido mas exitoso en los suelos ácidos (6).

- **OLSEN MODIFICADO.**

El fósforo extraído con NaHCO_3 generalmente es menor que las extraído con las soluciones Doble Acido Diluido y Bray I, se ha reportado de tener una buena correlación con la extracción de fósforo con resina intercambiable, este ultimo método es apropiado para suelos de origen volcánico además representa un método para la extracción de macronutriente y micronutrientes. Esta solución esta compuesta por NaHCO_3 , EDTA y Superfloc 127.

- **MEHLICH III.**

La extracción de fósforo por este procedimiento es recomendada para ser aplicado en un rango amplio de propiedades de los suelos y con un rango amplio de propiedades para una reacción de un ácido-básico. Este método correlaciona bien con Bray I en ácido para suelos neutros ($r^2= 0.966$) pero este no es correlativo con suelos calcáreos. El Mehlich III es correlativo con la solución extractora Olsen en suelos calcáreos ($r^2= 0.918$) a través de Mehlich III la extracción de fósforo es considerablemente alta. En el cuadro 7 se presentan algunas características de las soluciones extractoras.

3.1.6 NIVEL CRITICO

Salinas y Sánchez (28) definen el nivel crítico como la concentración de nutrientes que pueden ser extraída del suelo y afecta positivamente el rendimiento máximo estable, a un nivel menor, la producción y cantidad del cultivo declinan significativamente.

Hunter (18), indica que el uso del análisis del suelo como un medio para determinar el estado de fertilidad y disponibilidad de nutrientes para las plantas, esta basado en la determinación de los niveles críticos en relación con la solución de extracción utilizada cuando la concentración de un elemento medido en el suelo esta 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.

Guerrero(16), define 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, correlación entre la absorción de nutrientes por la planta o con rendimientos relativos, 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 los elementos de estudio. La alta correlación positiva obtenida previamente entre estas dos variables garantizara que el grupo de suelos que muestran bajos niveles disponibles de 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 suelo que tenga altos niveles disponibles del nutrimento corresponderá a altos rendimientos relativos, estos suelos van a presentar bajas probabilidades de respuesta. (16).

3.1.7 METODOS UTILIZADOS PARA OBTENER EL NIVEL CRITICO

3.1.7.1 METODO DE CORRELACION.

Para que un análisis de suelo tenga significado para cualquier nutriente, este deberá ser asociado con la disponibilidad de dicho nutriente para la planta (21). Se han ensayado diversas técnicas para

relacionar los análisis de los suelos con el crecimiento de las plantas, fluctuando desde intentos directos para extraer químicamente del suelo la misma cantidad que las raíces extraen biológicamente, hasta correlaciones indirectas o empíricas entre los nutrimentos extraídos y el crecimiento vegetal. Los métodos indirectos de correlación han resultado ser los medios más prácticos para una evaluación, a pesar de la dificultad de controlar los factores de rendimiento. Muchos científicos prefieren iniciar los trabajos de correlación con estudios de invernadero donde el rendimiento puede ser controlado dentro de los límites razonables a través de un mejor control de todos los factores del crecimiento. Aun así, el rendimiento es afectado por tantos factores que los estudios de correlación entre los análisis de los suelos y el rendimiento absoluto en materia seca (o una medida relacionada, tal como asimilación de nutrientes), han tenido más éxito que los estudios que involucran el rendimiento relativo. A pesar de ser cierto que la simulación de nutrientes, o la cantidad de nutriente en un tejido vegetal, frecuentemente correlaciona bien con el análisis de suelo, no existe una manera conveniente para distinguir entre el requerimiento de la planta y el consumo de lujo. Entonces, la escala que resulta para la interpretación de los análisis de suelos será arbitraria sin un punto de inflexión bien definido que indique cuando la fertilidad de los suelos está por debajo o sobre el rango de la respuesta del rendimiento.

Los diagramas de dispersión para la correlación del rendimiento relativo vs el análisis de suelo son difíciles de manejar como funciones continuas debido a que la relación no es lineal. En la mayoría de los casos, la función no tiene ni siquiera una forma polinomial de alto grado.

Desde el punto de vista práctico, es muy útil dividir los suelos en categorías de fertilidad de acuerdo a la probabilidad de que exista una respuesta beneficiosa en el rendimiento. El Comité Nacional de Investigación de Análisis de Suelo de los Estados Unidos tomó algunos pasos en esta dirección e hizo divisiones de clases arbitrarias basadas en el grado de la respuesta del rendimiento. Sin embargo, mayormente, no se han propuesto otras bases cuantificables para separar categorías desde el trabajo realizado por Cate y Nelson (21).

3.1.7.2 PROCEDIMIENTO MATEMÁTICO PARA LAS CORRELACIONES (MODELO DISCONTINUO DE DOS MEDIAS)

Se ha desarrollado también un modelo matemático para dividir los datos de correlación de los análisis de los suelos en dos clases. el procedimiento consiste en dividir los datos en dos grupos, usando sucesivamente los niveles críticos tentativos para desarrollar el nivel crítico particular que maximizará la predictibilidad total (R^2), con las medias de las dos clases como valores predictivos. A continuación se da

a conocer la técnica del modelo discontinuo de dos medias, como fuera publicado originalmente por Cate y Nelson:

La técnica consiste en los siguientes pasos:

1. Los datos son ordenados teniendo en cuenta el orden de magnitud de los valores X , i.e., valores de análisis de suelos. Los pares (X, Y) se mantienen en ese orden a través de todos los análisis.
2. Empezando con el valor de X , que ubicará a dos o más puntos a la izquierda de la línea divisoria vertical, se calcula la suma corregida de cuadrados de las desviaciones con respecto a las medias de las dos poblaciones que resultan al desplazarse a cada valor sucesivo de X . Se determina entonces la suma de las dos sumas corregidas de cuadrados a cada nivel de X , y esta suma combinada de cuadrados se resta de la de la suma total corregida de cuadrados de las desviaciones con respecto a la media general de todas las observaciones Y . La diferencia entre la suma combinada de cuadrados y la suma total corregida de cuadrados (suma de cuadrados de entre grupos) se expresa entonces como el porcentaje de la suma total corregida de cuadrados o como R^2 , desde que esta diferencia representa la explicación adicional obtenida por el ajuste de dos medias en lugar de una. Debe notarse que la suma de cuadrados de entre grupos puede ser calculada directamente por los procedimientos usados comúnmente en el análisis de varianza de datos clasificado bajo un solo criterio.
3. Por este simple proceso iterativo, se obtiene una serie de valores R^2 por las divisiones hechas a varios niveles de X . Se escoge el nivel crítico de X donde R^2 es máximo.

Datos de correlación de todo el mundo complicados por el proyecto Internacional de Evaluación y Mejoramiento de la Fertilidad del Suelo han demostrado que ensayos de campo bien conducidos comúnmente dan coeficientes de correlación de dos poblaciones de 0.80 o más alto, aun cuando se considere un amplio rango de suelos y de cultivos. Los coeficiente de correlación obtenidos con modelos curvilíneos continuos usualmente no son mejores o tan buenos como el de dos poblaciones o modelos discontinuo (21).

3.1.7.3 METODO GRAFICO DE CATE Y NELSON

Cate y Nelson, en 1965 desarrollaron un método gráfico sencillo para determinar con muy buena aproximación, un primer nivel crítico. En vez de intentar adecuar una función matemática continua a través de los puntos diseminados, se usa una hoja transparente dividida en cuadrantes por líneas horizontales y verticales.

El método de Cate y Nelson consiste en plotear los valores de los rendimientos relativos en función del análisis de suelo, básicamente la concentración de la fracción disponible. Es conveniente utilizar un plástico transparente de sobrepuesto dividido por cuadrantes que son líneas horizontales y verticales (7). Al realizar un diagrama de dispersión en un sistema de coordenadas rectangulares de puntos obtenidos entre el rendimiento relativo en el eje "Y" (ordenadas), en función del contenido del nutriente en el eje "X" (abscisa). Sobre este diagrama se coloca una hoja transparente dividida en cuadrantes por líneas horizontales y verticales de tal manera que el máximo número de puntos se ubique en los dos cuadrantes positivos, tal como se observa en la figura 3.

El punto en que la línea horizontal corta al eje "Y" separa a los suelos de respuesta alta, de los de la respuesta baja. El punto en que la línea vertical corta el eje "X", se considera el nivel crítico para el método de análisis (21).

Ventajas: El método Cate y Nelson tiene algunas ventajas fundamentales y prácticas. Al separar los puntos de los datos en dos poblaciones, sigue la ley de Liebig, por cuanto el nivel crítico es el punto más allá del cual el nutrimento de que se trata deja de ser un factor limitante. En contraposición, los modelos de regresión continuos no presentan puntos de inflexión y obligan a que los agrupamientos sean arbitrarios. Otra ventaja es que el método identifica los suelos que la solución extractora no trabaja bien (los puntos que quedan en los cuadrantes negativos)(3).

3.1.8 PLANTA INDICADORA

Para determinar los niveles críticos de fosforo y potasio en los ordenes de los suelos en estudio, es necesario el uso de una planta indicadora que sea sensible a la aplicación de nutrientes.

Díaz Romeu-Hunter (10) recomienda a nivel de invernadero, el uso del sorgo (*sorghum bicolor* L.) por las ventajas que esta planta presenta: entre las cuales se tiene, es sensible a la mayoría de deficiencias, crece rápido, tiene semilla pequeña y crece bien en un amplio rango de condiciones climáticas y edáficas, además de tener una germinación rápida.

El sorgo puede sembrarse directamente en macetas, alcanzando su máximo crecimiento de 4 a 5 semanas. 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 lado al otro, junto con las yemas laterales y las hojas son de limbo sin vellosidades y de superficie ceria. El

sistema radicular es muy ramificado y sin raíz pivotante. La espiga es compacta, con muchas ramificaciones primarias. Las semillas pueden ser blancas, rojas, amarillas o pardas dependiendo de la variedad.

Además del sorgo, se pueden utilizar otras plantas indicadoras como lo son: Arroz (*Oryza sativa* L.) y el trigo (*Triticum aestivum* L./ Em Thell); las cuales han sido utilizadas con buenos resultados, pero quizá no haya planta indicadora que reporte las deficiencia para todos los elementos, pero el sorgo (*Sorghum bicolor* L.) será en este caso una de las plantas que mejor expresa las deficiencia de nutricionales en el suelo.

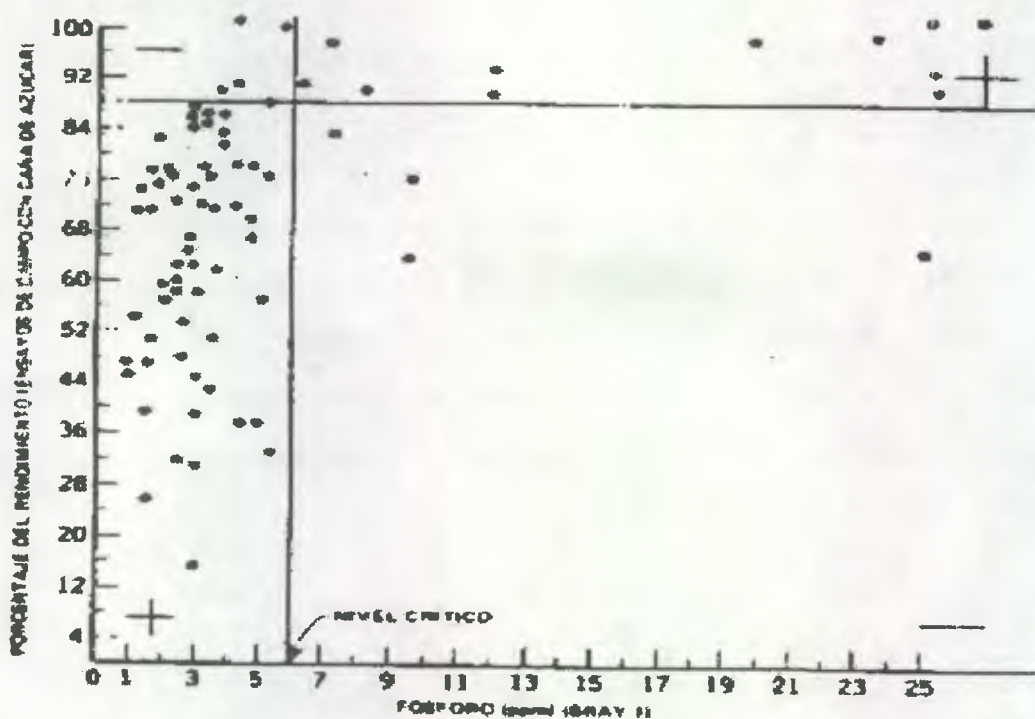


Figura 3. Determinación del nivel crítico según Cate y Nelson. Sánchez, P.A. 1981. (29)

3.2 MARCO REFERENCIAL.

3.2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES.

Palencia, A.; Walker, James y Estrada, Luis. (26), en el programa de producción de cultivos del instituto de ciencia y tecnología (ICTA), y el programa internacional de evaluación y mejoramiento de la fertilidad de los suelos (ISFEI) desarrolló la evaluación de la fertilidad de los suelos en principales

regiones agrícolas del país; se evaluaron dos soluciones extractoras en granos básicos como: maíz, arroz, frijol, trigo, sorgo y hortalizas en diversas áreas del país y concluyeron que los niveles críticos para fósforo y potasio extraída con Doble Acido Diluido fueron de 7.3 y 90 ppm respectivamente y de 6.2 ppm para fósforo con Olsen modificado.

Barillas, José (2), determinación del rango y nivel de concentración crítico de fósforo y potasio con soluciones extractoras Doble Acido Diluido y Bray I, en las series de suelos Guatemala y Patzite, presentando coeficientes de correlación de 0.05 y 0.04 de fósforo respectivamente y -0.04 y -0.05 para potasio en los suelos de la serie Guatemala y en los suelos de la serie Patzite se presentaron valores de coeficiente de correlación para fósforo de 0.07 y 0.09, para potasio de 0.125 y 0.118

Estrada. L. (12), determinó en condiciones de invernadero para las serie de suelos Quiriguá, Chicoxocol, Chacon, Chocalte y Tecpan, el nivel crítico para potasio de 125 Mg/ml, extraído con la solución Doble Acido Diluido.

Hurtarte, Margarita (19), determino el nivel crítico de fósforo en la serie de suelos Chicaj, la fragua, Zacapa, con la solución extractora de Nelson y Olsen modificado y concluye que el nivel crítico con la solución de Nelson et. al. Es 13.5 ppm y mientras Olsen Modificado es de 2.5 ppm.

Meneses (23), 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 Doble Acido Diluido es de 90 ppm., Con Olsen modificado es de 140 ppm. Y con Morgan modificado por Wolf es de 85 ppm.

Espinoza (11), indica que la serie Tempisque, el rango y nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la solución extractora de Doble Acido Diluido, el rango de concentración crítico es de 10 ppm. A 16 ppm. y el nivel crítico 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 Doble Acido Diluido 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 (22), indica que en la serie Cauque, el rango y nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la metodología de Doble Acido Diluido, el rango de concentración crítica es de 6.63 ppm. a 8.14 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 de suelos Tecpan, el rango y nivel crítico es con la metodología Doble Acido Diluido 8.14 ppm. a 9.66 ppm y 8.9 ppm respectivamente. 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 (41), señala que para la serie de suelos Suchitepequez, el rango y nivel crítico de fósforo es el siguiente: Con la metodología de Doble Acido Diluido, el rango crítico es de 6 ppm. y el nivel crítico es de 7 ppm. Con la metodología de Bray II, el rango crítico es de 12 ppm. a 22 ppm. y el nivel crítico es de 15 ppm. Para la serie de suelos Suchitepequez, el rango y nivel crítico de potasio es el siguiente: con la metodología de Doble Acido Diluido el rango crítico es de 80 ppm. a 95 ppm. y su nivel crítico es de 88 ppm. Con la metodología de Bray II, 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.

Sierra (32), reporta que en 25 diferentes suelos de Guatemala se determino el nivel crítico de Boro y Azufre empleando dos soluciones extractoras para cada elemento, estas soluciones fueron: Fosfato monocalcico, Morgan para Azufre y Acido Doble Diluido, Fosfato monocalcico para Boro. Usando la metodología de extracción de fosfato monocalcico se obtuvo un mejor comportamiento, el nivel crítico de Azufre reportado es de 25 ppm y un coeficiente de correlación de 0.6165. y para la extracción de Boro la solución Acido Doble Diluido reporto los mejores resultados obteniendo un coeficiente de correlación de 0.4211 y un nivel crítico de 2.20 ppm.

Quill (27), realizo un estudio de correlación con cuatro metodologías de extracción (Carolina del Norte, Bray 1, Bray 2 y Olsen Modificado) para la extracción de Fósforo y Potasio disponible en 17 suelos de origen sedimentario y 18 de origen volcánico de Guatemala. La solución Bray 2 fue el método de extracción de fósforo seleccionado para la mayoría de suelos bajo estudio, debido a que fue el que correlaciono significativamente con la variable rendimiento relativo. Los niveles críticos de fósforo determinado en los suelos sedimentarios fueron los siguientes: Acido Doble Diluido 4 ppm, Bray I 15 ppm, Bray II 13 ppm, y Olsen Modificado 13 ppm. Y para los suelos de origen volcánico se reporto

Acido Doble Diluido 13 ppm, Bray I 13 ppm. Bray II 18 ppm y Osen Modificado 37 ppm. Con respecto al potasio no fue factible seleccionar el método de extracción de este elemento y estimar el nivel critico ya que los valores determinados en los análisis con todas la soluciones fueron valores altos en su mayoría, lo que indica que hay buen abastecimiento de potasio en la mayoría de estos suelos.

Santos (30), correlacionó cuatro soluciones extractoras de fósforo y potasio disponible (Acido Doble Diluido, Bray I, Bray II y Olsen Modificado) en siete suelos del departamento del Peten; obteniendo como resultados la no existencia de correlación entre las soluciones extractoras y el rendimiento relativo del sorgo, sin embargo la solución Doble Acido Diluido funciono mejor que las otras, aunque no fue en forma significativa; al no existir una correlación satisfactoria entre las soluciones y el rendimiento relativo no se pudo aplicar el método gráfico de Cate y Nelson para determinar el nivel critico de los elementos. Con la técnica de respuesta del cultivo en función de la materia seca se definió el nivel critico de fósforo el cual fue de 80kg ha⁻¹, mientras en potasio no fue posible definirlos dado que no hubo respuesta a los niveles estudiados.

Cruz, J.; Tovar, C.; Romero,G.(40) evaluación de algunos métodos analíticos para fósforo (Bray I, Bray II, Doble Acido Diluido y Wolf) en los suelos de la región de Teziutlán, Puebla, México. En la determinación del fósforo nativo disponible con la solución extractora los valores mas altos se obtuvieron con el método Doble Acido Diluido reportando 110 ppm, seguido por Bray II con 33 ppm, Bray I con 8 ppm y Wolf con 3 ppm. Estos suelos presentan una baja disponibilidad de fósforo por lo que se puede esperar una posible respuesta a la aplicación de este elemento, también existe la posibilidad de que los métodos mas adecuados para evaluar el fósforo disponible en esta región sean los métodos de Doble Acido Diluido y Bray II.

Romero, G; Tamariz,V; González, J; (40), correlacionaron métodos de análisis de fósforo en suelos de la región de Teziutlan, Puebla, México. Los métodos a evaluar son: Bray I, Bray II, Doble Acido Diluido y Wolf solución extractora Morgan. Se obtuvieron coeficientes de correlación (r) para la concentración de fósforo (%) tuvo un $r = 0.63$ significativo para Bray II y un $r = 0.62$ para Doble Acido Diluido. Demostrando que el método de análisis que determina con mayor precisión el fósforo disponible en el suelo fue Bray II, correlacionando significativamente con la concentración de fósforo y la absorción de fósforo por la planta, el siguiente método alto fue el Doble Acido Diluido, por lo que se recomienda el uso de estos dos métodos para la extracción de fósforo para la región de Teziutlan, Puebla, México

Mares, J; Etchevers, J; (40), Bray I evaluación de metodologías para evaluar el nivel de fósforo en suelos cafetaleros de Cuetzalan, Puebla, México. Se seleccionaron 29 suelos cafetaleros los cuales se muestreo y se realizo el ensayo a nivel de invernadero, teniendo como variables de respuesta la relación entre fosforo-Bray I y el rendimiento relativo del cultivo y como resultado se obtuvo el coeficiente de correlación entre ambas variables el cual fue de 0.90 y el coeficiente de ajuste de la regresión 0.81. este indica que mas del 80% de la variación del rendimiento relativo fue explicada por el índice de disponibilidad de fósforo del suelo. En consecuencia se puede decir que el método Bray I es un estimador adecuado de la disponibilidad de fósforo en los suelos plantados con café en esta zona.

Bautista, G; Cajuste, L; Gavi, F; Trinidad, A; (25), correlación de métodos químicos para determinar fósforo disponible en el suelo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Entre los métodos utilizados se encuentran Olsen, Bray II, Soltanpour y Mehlich III; Las variables de respuesta fueron: Rendimiento de biomasa seca, concentración de fósforo en la biomasa y extracción de fósforo en mg en maceta. Se correlacionaron la variables de respuesta y el fósforo extraído por los cuatro métodos evaluados. El método Olsen y Soltanpour presentaron los coeficientes más altos de 0.578 en rendimiento de biomasa seca (g/maceta), en tanto Mehlich III presento la correlación mas alta con la concentración de fosforoso en la biomasa seca de 0.511 y 0.696 con la extracción de fósforo en mg en maceta. El método Olsen dio el coeficiente mas alto 0.698 en la extracción de fósforo en mg maceta. Por lo que los métodos Olsen Y Mehlich III son los que mejor predicen la disponibilidad de fósforo en los suelos de esta zona de estudio.

3.2.2 DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL

3.2.2.1 LOCALIZACION.

La fase de invernadero de la presente investigación, se realizó en el invernadero de la Facultad de Agronomía, que se encuentra ubicada en la Ciudad Universitaria zona 12, ciudad capital, Guatemala. En las coordenadas 14° 35' 11" latitud norte y 90° 31' 58" latitud oeste, a una altura de 1,502.32 msnm (14), con una precipitación anual de 1,246 mm, distribuidos en 110 días del año, con temperatura media de 18.2 C°, y una humedad relativa del 79%.

3.2.2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AREA DE MUESTREO.

El área de estudio se ubica en el Pie de Monte Neovolcanico al sur del país, a una altura que va desde los 400 hasta 1100 msnm, la zona en estudio abarca desde la frontera de México hasta la frontera del El Salvador, con las características descritas a continuación. (14).

3.2.2.3 CLIMA.

Es una región angosta que transversalmente se extiende desde el departamento de San Marcos hasta Santa Rosa. Situada en ladera montañosa, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del pacífico. Tiene juntamente con la franja transversal del norte los índices más altos de precipitación en el país. Los niveles de temperatura aumentan a medida que desciende hacia el litoral. Alcanza cierta estabilidad en las regiones próximas al mar.

Las precipitaciones están bien caracterizadas; son escasas en los meses iniciales del año, pero se intensifica a partir de mayo, el período más lluvioso es el comprendido de junio a septiembre. Existe un clima generalizado de genero semicalido y sin estación fría bien definida; con carácter de muy húmedo sin estación seca bien definida y la vegetación característica es selva. En el extremo oriental varía a húmedo y sin estación seca bien definida (39).

3.2.2.4 ZONA DE VIDA

- **BOSQUE MUY HUMEDO SUBTROPICAL (cálido)**

Esta zona es la más extensa en Guatemala ocupando también el primer lugar en uso, la zona de vida Muy Húmeda Subtropical incluye, como en la húmeda, dos segmentos a los que para diferenciarlos mejor, se les agrego una (c) para la zona baja donde la biotemperatura es obtenida por medio de los cálculos utilizando también temperaturas que sobrepasa los 30 C° y una (f) para la zona de mayor altura donde las temperaturas medias son iguales a las biotemperaturas.

Esta zona de vida cubre en la Costa Sur una franja de 40 a 50 kilómetros de ancho que va desde México hasta Santa Rosa. En el norte del país abarca el departamento de Izabal, Norte de Alta Verapaz, Quiché, y una parte de Huehuetenango, asimismo la parte de sur del departamento de Petén (Sayaxche, San Luis Poptún, Dolores).

La superficie total de esta zona de vida es de 40,700 kilómetros cuadrados, lo que representa el 37.41 % de la superficie del país; sus condiciones climáticas son variables por la influencia de vientos, el régimen de lluvia es de mayor duración; por lo que influyen grandemente en la composición florística y en la fisionomía de la vegetación. El patrón de lluvia varía entre 2,136 y 4,327 mm en la Costa Sur, promedio de 3,284 mm de precipitación anual; las biotemperaturas van de 21 a 25 C°, la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 0.45.

Los terrenos de esta zona de vida son de topografía desde plana hasta accidentada. La elevación varía desde 80 y 1600 msnm. La vegetación natural es una de las más ricas en su composición florística, sin embargo podemos citar como indicadoras las siguientes: *Scheelea preusii*, *Terminalia oblonga*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sickingia salvadorensis*, *Triplaris melaenodendrum*, *Cybistax donnell-smithii*, *Andira inermis* y otras. Consideraciones sobre su uso apropiado, en cuanto a la Costa Sur se refieren, esta formación es la más indicada para dedicarla a fitocultivos, pues posee los mejores suelos del país. Los cultivos principales son: Caña de azúcar, banano, café, hule, cacao, cítricos, maíz, frijol, arroz, citronela y otros. La ganadería también ocupa un lugar muy importante (9).

3.2.2.5 GEOLOGIA.

Esta unidad de rocas ígneas, se puede separar de las rocas volcánicas sin dividir del Terciario, ya que su formación se debió a la aparición de la cadena volcánica que se dio en el periodo cuaternario, es decir, son las rocas volcánicas más recientes, formadas por andesitas, basalto, riolitas, lahares y tobas volcánicas, que se extienden de este a oeste en la franja central-sur del país.

Estas rocas afloran en las partes nortes de los departamentos de Retalhuleu, Mazatenango y Escuintla, así como hacia el sur y oeste de San Marcos, Quetzaltenango, Chimaltenango, Solola, Sacatepequez Guatemala y Jutiapa. Se puede observar también al oeste de Santa Rosa. La edad de esta unidad se supone es del pleistoceno, es decir, al principio del periodo cuaternario hace aproximadamente 3.5 millones de años (39).

3.2.2.6 FISIOGRAFIA.

Esta región incluye los volcanes de más reciente formación en Guatemala, así como el material asociado que ha sido drenado o depositado hacia la costa sur. Dicho material es principalmente de edad

cuaternaria, y la actividad que lo produjo esta **asociada con una zona fallada** paralela a la costa, a lo largo de las laderas hacia el sur del altiplano volcánico.

Los numerosos conos de esta región están compuestos predominantemente de andesita y algunos volcanes como los de Santiaguito, Fuego y Pacaya, se encuentran actualmente en actividad. Estas cimas volcánicas alcanzan las mayores alturas, tanto de Guatemala como de América Central; por ejemplo El Tajumulco con 4,220 metros, Tacaná 3,870 metros, Santa María 3,772 m. Agua 3,776 m. Las faldas hacia el sur son formadas por coladas de lava, ceniza volcánica y, en algunos lugares, flujos laharicos y corrientes de lodo. Este material proporciona la base de los suelos volcánicos, en los cuales se cultiva mucho del café de Guatemala. El área también se caracteriza por la cantidad de ríos de corriente caudalosa que forman grandes caídas de agua antes de alcanzar la llanura costera del sur. Observar figura 12. (39)

3.2.2.7 SUELOS

3.2.2.7.1 DESCRIPCION DE LOS SUELOS SEGÚN CLASIFICACION SIMMONS Y TAXONOMIA (Soil Survey Staff)

En los cuadros 2, 3 y 4 se presentan las características más importantes del material madre, sus perfiles, uso de la tierra de cada serie de suelos y la taxonomía de los suelos muestreados.

Cuadro: 2 Posicion Fisiografica, Material Madre y Caracteristicas de los Perfiles de los Suelos Muestreados

Serie	Símbolo	Material madre	Relieve	Drenaje interno	Color	Textura y Consistencia	Suelo Superficial		Color	Consistencia	Subsuelo	
							Esesor aproximado	Esesor aproximado			Textura	Esesor aproximado
Alotenango	Al	Ceniza volcánica (mafica) de color oscuro	fuertemente ondulado a escarpado	excesivo	Café oscuro a café muy oscuro	Franco arenosa; suelta	25-40 cm.	Café grisáceo oscuro	suelta	franco arenosa	40-50 cm.	
Barberena	Br	lahar pedregoso	fuertemente ondulado a escarpado	bueno	Café muy oscuro	Franco arcillosa friable	40-50 cm.	Café rojizo oscuro	friable	arcillosa	40-50 cm.	
Camantulul	Cl	Cen. Volcánica cementada de color claro	fuertemente ondulado	bueno	Café oscuro a café muy oscuro	Franco arenosa; friable	25 cm	Café a café rojizo	friable	arcillosa	60-75 cm.	
Comapa	Cc	lava mafica	ondulado	moderado	Café oscuro	arcillosa friable	15-25 cm.	Café rojizo	friable	arcillosa	100-500 cm	
Chipó	Chi	granito descomp. o ceniza volcánica cementada	inclinado	bueno	Café muy oscuro	Franco friable	15-30 cm.	Café grisáceo	friable	franco	15-30 cm.	
Chocolá	Cho	Cen. volcánica pomácea de color claro	suavemente inclinado	bueno	Café oscuro	Franco limosa; friable	30-50 cm.	café a café amarillento	friable	arcillosa a franca arcillosa micacea	75-125 cm.	
Chuvá	Chv	Cen. Vol. Suelta principalmente pomácea	inclinado a escarpado	muy rápido	gris oscuro	Franca suelta	10-15 cm	ceniza volcánica	suelta			
Mazatenango	Mz	Cen. Volcánica de color claro	suavemente inclinado	bueno	Café oscuro	franco limoso friable	60 cm.	Café	friable	franco limoso	90-100 cm.	
Mongoy	Mg	lava mafica	escarpado	regular	café oscuro	arcilla pedregosa friable	15-30 cm.	Café rojizo	friable	arcilla	50-75 cm.	
Pacaya	Pa	lava mafica	moderadamente escarpado	bueno	Café oscuro	franco am. fina friable	15-20 cm.	Café	friable	franco arenoso fina	20-30 cm.	
Pinula	Pi	toba o breccia de color claro	escarpado	bueno	Café oscuro	franco limoso gravosa; friable	20-30 cm.	Café	friable	franco arcilloso arenosa o arcillosa	60-80 cm.	
Retalhuleu	Re	Cen. Volcánica intemperizada	suavemente inclinado	bueno	Café oscuro	franco arcillo limosa; friable	25 cm.	Café a café rojizo	friable	arcillosa	1 a 2 metros	
Samayac	Sm	Flujo volcánico lodoso, cementado	suavemente incl. a inclinado	bueno	Café oscuro	franco limoso friable	20-30 cm.	café amarillento	friable	franco arcilloso franco limoso	20-30 cm.	
Suchitán	Sui	Cen. Volcánica o escoria mafica suelta	escarpado	rapido	gris muy oscuro	franco arenosa suelta	10-20 cm.	café	suelta	franco arenosa	20-40 cm.	
Suchitepéquez	Sx	Cen. Volcánica de color claro	suavemente incl. a inclinado	bueno	Café muy oscuro	franco limoso friable	40-60 cm.	café amarillento	friable	franco arcillo limoso	100-200 cm.	
Taxisco	Tx	lahar pedregoso	inclinado	moderado	Café rojizo oscuro	franco arcillo friable	20-30 cm.	rojizo	friable	arcilloso	60-100 cm.	
De los valles no diferenciados	Sv	Ningun tipo de suelo es predominante										
Yepocapa	Ye	Cen. O escori vol. de color oscuro (mafica)	inclinado	rapido	Café muy oscuro a café oscuro	franca gravosa suelta	40-60 cm.	café grisáceo oscuro	cementada	escoria		

Fuente: Simmons (33)

Cuadro: 3 Características Importantes que Influencian el uso del suelo

Serie	Símbolo	Declive dominante (%)	Drenaje del suelo	Capacidad de abastecimiento de humedad	Capa que limita la penetración de las raíces	Peligro de erosión	Fertilidad natural	Problemas especiales en el manejo del suelo
Alotenango	Al	12 - 30	muy rapido	muy baja	ninguna	alta	regular	combate de erosion
Barberena	Br	15 - 20	moderado	alta	ninguna	alta	alta	combate de erosion
Camantulul	Cl	10	moderado	mediana	ninguna	alta	alta	combate de erosion
Comapa	Cc	02 - 05	regular	alta	ninguna	leve	moderada	textura pesada y maten. de materia org.
Chipó	Chi	50 - 60	rapido	despacio	40 -50 cm.	muy alta	meniana	combate de erosion
Chocolá	Cho	03 - 06	medianao	alta	ninguna	mediana	alta	combate erosion
Chuvá	Chv	15 - 20	muy rapido	muy bajo	ninguna	muy alta	baja	combate erosion
Mazatenango	Mz	02 - 05	moderado	alta	ninguna	poca	alta	mantenimiento de materia organica
Mongoy	Mg	25 - 40	regular	moderamente alta	lava a 75-90 cm.	alta	alta	inclinacion, pegreg. combate de erosion
Pacaya	Pa	20 - 25	muy rapido	baja	lava a 50 cm. tova breccia	muy alta	mediana	pedregosidad y combate de erosion
Pinula	Pi	10 - 20	regular	regular	a 1 metro	alta	moderada	sequia y combate de erosion
Retalhuleu	Re	02 - 05	moderado	alta	ninguna	ligera	baja	combate a la erosion
Samayac	Sm	04 - 10	mediano	mediana	ceniza cem. a 50 cm.	muy alta	alta a mediana	pedregosidad
Suchitán	Sui	40 - 60	muy rapido	baja	ninguna	alta	regular	sequia y combate a la erosion
Suchitepéquez	Sx	04 - 08	rapido	muy alta	ninguna	moderada a baja	alta	combate de erosion
Taxisco	Tx	10	moderado	alta	ninguna	alta	alta	pedregosidad y combate de erosion
De los valles no diferenciados	Sv							
Yepocapa	Ye	10 - 25	rapido	mediana	ninguna	alta	alta	combate a la erosion

Fuente: Simmons (33)

Cuadro: 4 Descripción del Uso de los Suelos, Taxonomía y Cuencas a la que pertenece cada punto de muestreo

Suelo #	Cuenca	Uso del Suelo	Taxonomía de los Suelos	
			Subórdenes	Código
1	Río Suchiate	Cultivos Anuales	Undans-Udults	Dd-Ud
2	Río Naranjo	Cultivos Perennes (Café)	Vitrands-Psamments	Dv-Ep
3	Río Ocosito	Cultivos Perennes (Café)	Undans-Udults	Dd-Ud
4	Río Ocosito	Cultivos Perennes (Café)	Udults-Humults	Ud-Um
5	Río Samalá	Bosque Natural Latifoliadas	Undans-Udults	Dd-Ud
6	Río Nahualate	Cultivos Perennes (Café)	Undans-Udults	Dd-Ud
7	Río Sis-Icán	Cultivos Perennes (Café)	Fluents	Ef
8	Río Coyolate	Cultivos Perennes (Café)	Vitrands- Undans- Udepts	Dv-Dd- Pd
9	Río Nahualate	Cultivos Anuales	Undans	Dd
10	Río Achiguate	Cultivos Perennes (Café)	Orthents	Eo
11	Río María Linda	Cultivos Perennes (Café)	Vitrands-Undans	Dv-Dd
12	Río María Linda	Cultivos Anuales	Orthents-Ustands	Eo-Ds
13	Río María Linda	Pastos Anuales	Ustults-Ustolls	Us-Ls
14	Río Coyolate	Cultivos Perennes (Caña)	Undans	Dd
15	Río Coyolate	Cultivos Perennes (Caña)	Undans	Dd
16	Río María Linda	Cultivos Perennes (Café)	Orthents-Ustands	Eo-Ds
17	Río María Linda	Cultivos Perennes (Café)	Ustults-Ustolls	Us-Ls
18	Río María Linda	Bosque Natural Latifoliadas	Ustults-Ustolls	Us-Ls
19	Río Paso Hondo	Cultivos Anuales	Ustults-Ustolls	Us-Ls
20	Río Los Esclavos	Cultivos Anuales	Orthents-Ustepts	Eo-Ps
21	Río La Paz	Bosque Natural Secundario (Arbustal)	Orthents-Ustepts	Eo-Ps
22	Río Los Esclavos	Cultivos Perennes (Caña)	Orthents-Usterts- Ustepts	Eo-Vs-Ps
23	Río Ostúa Guija	Cultivos Perennes (Café)	Ustands-Psamments	Ds-Ep
24	Río Los Esclavos	Cultivos Anuales	Ustepts-Orthents	Ps-Eo
25	Río Los Esclavos	Cultivos Perennes (Caña)	Orthents-Ustepts	Eo-Ps

Fuente: (15), (35)

4 OBJETIVOS.

4.1 Objetivo General

Determinación del nivel crítico de fósforo y potasio los suelos del Pie de Monte Neovolcanico de Guatemala.

4.2 Objetivo Especifico

Determinar el nivel crítico de fósforo y potasio disponibles, en los suelos del Pie de Monte Neovolcanico del País, empleando cuatro soluciones extractoras a nivel de invernadero de invernadero.

5 HIPOTESIS.

- 5.1** El nivel crítico de la fracción disponible de fósforo y potasio a evaluar con cada una de las cuatro soluciones extractoras es igual para los suelos del Pie de Monte Neovolcanico del País.

6. METODOLOGIA.

6.1 SELECCION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

Para seleccionar los puntos de muestreo de los suelos bajo estudio se consideró su distribución en la región del Pie de Monte Neovolcanico del Pacífico, su ubicación y altura que va desde 400 msnm. hasta los 1100 msnm aproximadamente. El uso actual de los suelos del Pie de Monte Neovolcanico es muy diversificada por la alta fertilidad que poseen, pero se pueden mencionar los cultivo de caña de azúcar, hule, café, maíz, frijol, cítricos y praderas para ganado. Tomando en cuenta su importancia agrícola se tomaron 25 puntos de muestreo que se describen en el cuadro 5 la localización, ubicación y características generales.

6.2 MUESTREO.

Luego de seleccionados y ubicados los 25 sitios de muestreo, se recolectó una muestra compuesta del área representativa del sitio seleccionado, se tomaron 45 Kg de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm e identificándolas respectivamente. Luego se trasladaron las muestras al laboratorio de suelos de la subarea de manejo de suelo y agua Facultad de Agronomía Universidad de San Carlos, en donde se realizaron los análisis físicos y químicos.

6.3 FASE DE LABORATORIO.

6.3.1 SECADO, TAMIZADO Y HOMOGENIZADO.

El secado del suelo se hizo al aire libre y a la sombra, esparciéndola bien en una cama de concreto, sobre un nylon. La muestra de suelo se dejo tendida durante varios días hasta que se seco, para luego ser triturada con un mazo de madera, luego de triturada las muestras de suelo se hizo pasar por un tamiz de 2 mm y se homogeneizo 8 veces para mezclar completamente cada muestra; Se tomó 1 Kg. de la muestra para su análisis físico-químico. El restante de la muestra se guarda en un lugar seco y bien identificada.

6.3.2 DETERMINACIONES FISICAS Y QUIMICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELOS.

En el cuadro 6 se presentan los diferentes análisis y metodología realizada en los muestras de suelo para la determinación de sus características físicas y químicas.

Cuadro 5. Localización, ubicación y características de los 25 puntos de muestreo de suelos, en el estudio de evaluación de soluciones extractoras en la fertilidad de suelos, para los suelos del Pie de Monte Neovolcanico de Guatemala.

P.M.	Localización				Ubicación			Características			Serie de Suelos
	Finca	Aldea	Municipio	Departamento	Altitud	U. T. M.		Geoforma	Relieve	Pendiente	
						Latitud	Longitud				
1		Nuevo San Rafael	San Rafael Pie de de la Cuesta	San Marcos	796	1650399	15 6144330	Cerro	Quebrado	20 - 40%	Sx
2	Nueva América		La Reforma	San Marcos	1,097	1634874	15 625675	Cerro	Quebrado	20 - 40%	Ch v
3	San Ignacio La Patria		Colomba	Quetzaltenango	1,077	1627579	15 636603	Pie de Montaña	Quebrado	12- 20%	Ch v
4	Concepción		Génova	Quetzaltenango	473	1617380	15 626357	Colina	Ondulado	2 - 6%	Re
5		Calaguache	El Viejo Palmar	Quetzaltenango	1,090	1622662	15 655958	Cerro	Quebrado	20 - 40%	Sm
6	Chinan		Chicacao	Suchitepéquez	610	1608511	15 676784	Pie de Montaña	Quebrado	6 - 12%	Cho
7	Hacienda Morelia		Santo Domingo Suchi.	Suchitepéquez	390	1599801	15 664661	Terraza	Muy ondulado	6 - 12%	Mz
8	Parcela San Alberto		Pochuta	Chimaltenango	1,028	1609682	15 707331	Cerro	Fuertemente ondulado	20 - 40%	Cho
9	Panamá		Santa Barbara	Suchitepéquez	613	1601552	15 692665	Ladera	Muy ondulado	20 - 40%	Chi
10	Sabana Grande	El Rodeo	Escuinta	Escuinta	562	1589442	15 727856	Terraza	Ondulado	6 - 12%	Al
11	Natividad		Palln	Escuinta	1,182	1595336	15 749172	Ladera	Ondulado	6 - 12%	Sv
12	Cabañita	El Jocotillo	Villa Canales	Guatemala	1,110	1585199	15 765481	Ladera	Muy ondulado	12 - 20%	Pa
13	Los Apantíos		Guanagazapa	Escuinta	588	1575826	15 756250	Cerro	Muy ondulado	20 - 40%	Bb
14	Xatá		Santa Lucía Cotz.	Escuinta	443	1588836	15 708858	Cerro	Ondulado	12 - 20%	Cl
15	Nimayá		Santa Lucía Cotz.	Escuinta	884	1594173	15 714542	Cerro	Muy ondulado	20 - 40%	Ye
16	La Concha	El Jocotillo	Villa Canales	Guatemala	1,050	1591741	15 772821	Cerro	Muy ondulado	12 - 20%	Bb
17	Santa Elema		Barberena	Santa Rosa	1,058	1583229	15 783887	Ladera	Muy ondulado	12 - 20%	Bb
18		La Gabia grande	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa	615	1572650	15 762700	Cerro	Muy ondulado	12 - 20%	Bb
19	Coop. Cacahuito	El Cacahuito	Taxico	Santa Rosa	673	1560254	15 775823	Ladera	Fuertemente ondulado	20 - 40%	Tx
20		Tierra Blanca	Chiquimulilla	Santa Rosa	853	1566390	15 787275	Cerro	Muy ondulado	12 - 20%	Mg
21		El Castaño	Oratorio	Santa Rosa	421	1549209	15 803735	Ladera	Muy ondulado	12 - 20%	Mg
22		Coatepeque	Oratorio	Santa Rosa	470	1568223	15 807604	Planicie de Inundacion	Ligeramente ondulado	2 - 6%	Cc
23	Hacienda La bendicion		Atescatempa	Jutiapa	680	1568744	16 207003	Terraza Antigua	Ligeramente ondulado	2 - 6%	Sui
24		El Llanito	San José Acatempa	Jutiapa	1,044	1578020	15 811030	Ladera	Muy ondulado	12 - 20%	Cc
25		El Chupadero	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa	937	1591657	15 795981	Ladera	Ondulado	6 - 12%	Pi

Cuadro 6. Métodos para Determinar las Características Físicas y Químicas de los suelos.

CARACTERÍSTICAS A DETERMINAR	METODOLOGIA	OBSERVACIONES
Materia Orgánica	Combustión Húmeda de Walkley y Black. Modificado	Titulado con Dicromato de Potasio
Capacidad de Intercambio Cationico	Peech	Destilación con NH ₄ Cl
Bases Intercambiables	Acetato de Amonio 1N a pH 7	Espectrofotometro
pH	Potenciometro	1:2.5 Suelo Agua
Textura	Hidrómetro de Bouyuco	
Color	Tabla de Munsell.	
Densidad Aparente	Probeta	

Fuente: Schweizer, L; Coward, H; Vasquez, A. (31).

6.3.3 DESCRIPCION DE LAS SOLUCIONES EXTRACTORAS.

METODO DEL DOBLE ACIDO DILUIDO.

Este método sirve básicamente para determinar el fósforo en los suelos arenosos que tienen una capacidad de intercambio menor a 10 meq/100 gr de pH ácido menor de 6.5, con un contenido relativamente bajo de materia orgánica menor de 5 %, este método no es recomendable para suelos alcalinos (6).

Metodología: 25 mililitros de solución extractora mas 5 mililitros de suelo, se agitó durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto y se filtró, la determinación del potasio se hizo con el espectrofotómetro de emisión atómica con una dilución de 1:5 del filtrado y el fósforo se cuantificó por el método de azul de fosfomolibdeno y leído con el colorímetro.

BRAY I.

El método ha sido ampliamente empleado como un índice de fósforo disponible en los suelos. La mezcla de HCl y NH₄F tiene como finalidad remover las formas de fósforo fácilmente soluble en medio ácido, en gran parte los fosfatos de calcio y una porción de los fosfatos de aluminio y de hierro. El NH₄F disuelve los fosfatos de aluminio y de hierro al formar un ion complejo con estos iones metálicos en solución ácida. En general, este método ha sido mas exitoso en los suelos ácidos (6).

Metodología: 25 mililitros de solución extractora mas 5 mililitros de suelo, se agitó durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto y se filtró, la determinación del fósforo se realizó por el método de azul de fosfomolibdeno y leído con el colorímetro, mientras que el potasio se cuantificó por medio del espectrofotómetro de absorción atómica.

OLSEN MODIFICADO.

El fósforo extraído con NaHCO_3 generalmente es menor que el extraído con las soluciones Doble Acido Diluido y Bray I, se ha reportado de tener una buena correlación con la extracción de fósforo con resina intercambiable, este ultimo método es apropiado para suelos de origen volcánico además representa un método para la extracción de macronutriente y micronutrientes. Esta solución esta compuesta por NaHCO_3 , EDTA y Superfloc 127.

Metodología: 25 mililitros de solución extractora mas 2.5 mililitros de suelo, se agitó durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto y se filtró, la determinación del fósforo se realizó por el método de azul de fosfomolibdeno y leído con el colorímetro, mientras que el potasio se cuantificó por medio del espectrofotómetro de absorción atómica.

MEHLICH III.

La extracción de fósforo por este procedimiento es recomendada para ser aplicada en un amplio rango de propiedades de los suelos y con un rango amplio de propiedades para una reacción de un ácido-básico. Este método correlaciona bien con Bray I en ácido para suelos neutros ($r^2= 0.966$) pero este no es correlativo con suelos calcáreos. El Mehlich III es correlativo con la solución extractora Olsen en suelos calcáreos ($r^2= 0.918$) a través de Mehlich III la extracción de fósforo es considerablemente alta. En el cuadro 7 se presentan algunas características de las soluciones extractoras.

Metodología: 25 mililitros de solución extractora mas 2.5 mililitros de suelo, se agitó durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto y se filtró, la determinación del fósforo se realizó por el método de azul de fosfomolibdeno y leído con el colorímetro, mientras que el potasio se cuantificó por medio del espectrofotómetro de absorción atómica.

Cuadro 7. Descripción de las soluciones extractoras

SOLUCION EXTRACTORA	TAMAÑO DE MUESTRA (ml)	COMPOSICION QUIMICA	RELACION Suelo: Solución	METODO DE DETERMINACION P	METODO DE DETERMINACION K
Bray I	5	NH ₄ F 0.03N + HCl 0.025N	1:5	Coloriméto	Espectrofotometria E.A.
Olsen modificado	2	NaHCO ₃ 0.5N + EDTA 0.01M	1:10	Coloriméto	Espectrofotometria E.A.
Doble Acido Diluido	5	H ₂ SO ₄ 0.025N + HCl 0.05N	1:5	Coloriméto	Espectrofotometria E.A.
Mehlich III	2.5	CH ₃ COOH 0.2N + H ₄ NO ₃ 0.25N + NH ₄ F 0.015N + HNO ₃ 0.013 + EDTA 0.001M	1:10	Coloriméto	Espectrofotometria E.A.

6.3.4 ESTUDIO DE SORCION Y DETERMINACION DEL TRATAMIENTO DE REFERENCIA.

Con este estudio se determinó los niveles de fósforo y potasio en el suelos mediante la aplicación de cantidades crecientes de estos elementos en los suelos y con los valores resultantes de la extracción del fósforo y el potasio, se realizó unas curvas llamadas sorción, con las que se estableció el tratamiento de referencia y se aplico a cada suelo en estudio.

Estos estudios se llevan a cabo añadiendo al suelo una solución con distintas concentraciones de elementos. La cantidad de solución agregada es suficiente para saturar completamente la muestra de suelo y dejar un ligero exceso cubriéndola, esto producirá una condición anaerobia en la muestra durante algunas horas. El recipiente que contiene la muestra se deja destapado hasta que seque; En el cuadro 8 se observan los valores de las concentraciones de los elementos que se aplica a cada suelo en estudio. El tratamiento de referencia deberá estar basado en los datos obtenidos en el laboratorio y los resultados de las curvas de sorción para P, K, Cu, Mn, Zn. Si la cantidad de elemento extraído del suelo original esta abajo del nivel critico para cada elemento, entonces debe agregársele la cantidad de ese elemento necesario para obtener 3 veces el nivel critico (10). En el cuadro 15 A. se presentan las cantidades de soluciones de cada elemento aplicado a cada suelo

Cuadro 8: Concentración de elementos en las soluciones de los tratamiento de sorcion diluida a 100mL.

Tratam ento de solución	Militros de solución diluidos 100 mL	Fósforo mg/ mL	Cobre mg/mL	Manganeso mg/mL	Zinc mg/mL	Potasio mg/mL
1	5	35	2	5	4	0.11
2	10	70	4	10	8	0.22
3	20	140	8	20	16	0.45
4	40	280	16	40	32	0.90
5	80	560	32	80	64	1.80

Fuente: Díaz Romeu (10).

6.4 FASE DE INVERNADERO.

En condiciones de invernadero se evaluó el efecto del P y K en estudio, los tratamientos seleccionados se sometieron a evaluación mediante un estudio al completo azar con 3 tratamientos y 3 repeticiones para cada una de las muestras de suelos.

6.4.1 UNIDAD EXPERIMENTAL.

La unidad experimental consistió en macetas de plástico identificada con numero de suelo, numero de tratamiento y numero de repetición. Luego se procedió a llenar las macetas con 500 ml de suelo. Teniendo un total de 225 unidades experimentales (macetas).

Cuadro 9. Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Descripción del tratamiento *
1	Completo: N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Mo, B.
2	N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Mo, B menos P
3	N, P, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Mo, B menos K

* Para cada suelo

6.4.2 VARIABLES A EVALUADAS.

6.4.2.1 MATERIA SECA.

Se secó el tejido vegetal aéreo de cada unidad experimental a 60 o 65 °C, durante 24 horas, seguidamente se peso el material en una balanza analítica obteniendo la biomasa expresada en materia seca en gr/planta.

6.4.3 MANEJO DE EXPERIMENTO.

6.4.3.1 SIEMBRA.

Previo a la siembra se agrego agua destilada humedeciendo el suelo a capacidad de campo a cada unidad experimental. Luego se sembró la semilla de sorgo distribuyendo 10 semillas en cada uno de las unidades experimentales y enterrándolas a 1 cm de profundidad (10).

6.4.3.2 RIEGO.

El riego se realizó por capilaridad utilizando para ello recipientes plásticos debajo de cada unidad experimental en donde se aplicó el agua destilada, logrando mantener la humedad necesaria en el suelo para la germinación y desarrollo de la semilla de sorgo.

6.4.3.3 ENTRESAQUE.

Pasados 5 días después de la germinación de las plantas, se procedió al raleo seleccionando 5 plantas de cada unidad experimentales siendo estas las más vigorosas y homogéneas.

6.4.3.4 COSECHA.

Las plantas se cortaron a los 40 días después de su germinación, a 1 cm de altura de la superficie del suelo. Posteriormente se colocaron en bolsas de papel debidamente identificadas para luego determinar la cantidad de materia seca del sorgo en el laboratorio.

6.5 ANALISIS DE INFORMACION

6.5.1 RENDIMIENTO RELATIVO

Es el rendimiento de la materia seca sin la aplicación del elemento nutricional es comparado con el rendimiento de la materia seca que se le aplicó el elemento nutricional, esta comparación es expresada en porcentaje.

Este rendimiento relativo se obtuvo a través de la ecuación siguiente:

$$\% \text{RR} = \frac{\text{MATERIA SECA (gr) sin elemento}}{\text{MATERIA SECA (gr) completo}} \times 100$$

Entre más cercano a 100 sea el porcentaje del rendimiento relativo (RR), menor será la respuesta de la aplicación del elemento.

6.5.2 NIVEL CRITICO.

Según Guerrero (16), la determinación de los niveles críticos se debe realizar para cada elemento de cada solución extractora. El niveles críticos se determino por el método gráfica de Cate y Nelson, colocando en el eje de la Y en rendimiento relativo y en el eje de la X la concentración de cada uno de los elementos (P y K) expresado en partes por millón (ppm.). Un material plástico transparente (acetato) se mueve en un sentido u otro hasta conseguir que el mayor numero de puntos del gráfico queden ubicados en los cuadrantes positivos. La línea perpendicular horizontal coincidirá con un valor del eje de las ordenadas (Rendimiento Relativo), bajo el cual las respuestas serán altas o medias. Simultáneamente la perpendicular vertical coincida con el eje de las abscisas con concentración del elemento en el suelo sobre el cual estará el grupo de suelos que mostró respuestas altas o medias. Por debajo del nivel critico podrán esperarse altas respuestas del rendimiento del cultivo y por encima del nivel critico, la respuesta esperada será pequeña o simplemente nula. El nivel critico obtenido dependerá de la solución extractora, del tipo de suelo y de la clase de cultivo. Según Díaz Romeu (10), el rendimiento relativo en la obtención de un nivel critico de un elemento, se toma entre el 80 y 100 % para que la aplicación de este elemento sea aceptable. Para la selección de la solución extractora se tomara el criterio de los puntos de la gráfica de Cate y Nelson y se seleccionarán las soluciones extractoras que ubiquen mas del 90% de los puntos en los cuadrantes positivos de dicha gráfica. (7).

7. RESULTADOS

Para la determinación de los niveles críticos de fósforo y potasio de los diferentes suelos del Pie de Monte Neovolcanico del Pacifico en estudio se realizaron análisis físico-químico de los suelos y se presentan los siguientes resultados del mismo.

7.1 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS

En los cuadros 10 y 11 se presentan las características físicas y químicas de los 25 suelos evaluados. El fósforo disponible presenta el índice de fósforo extraído con la solución Doble Acido Diluido reportando valores que varían desde 0 a 74.67 $\mu\text{g/ml}$, los suelo del 10 al 16 del 18 al 21 y 24 no registran fósforo disponible y en los suelos 4, 5, 6, 7, 8, 9, 17, presentan cantidades bajas de este elemento, estos puntos representan el 76 % de los suelos evaluados, estos suelos presentan problemas de disponibilidad de este elemento debido la fijación del fósforo que esta determinada por la mineralogía de

las arcillas alofana por lo que hay una formación y adsorción del complejcs coloidal; también el empleo de la solución Doble Acido Diluido influye en el índice de fósforo extraído debido a que la solución es débil y el fósforo se encuentra fuertemente adherido a cation (Al, Fe y Ca). El potasio disponible presenta valores de 30 a 377.50 $\mu\text{g/ml}$ considerados de deficientes a altos, El 32% de los suelos presentan deficiencia de potasio 2, 3, 8, 14, 15, 17, 20 y 22 debido a la presencia de texturas francas o arenosos y las altas precipitaciones en la zona; la alta disponibilidad de potasio en estos suelo representada por el 68 % de los suelos evaluados, se debe al manejo y a las altas fertilizaciones de este elemento en los suelos de la zona cafetalera y cañera. En estos suelos encontramos valores de pH que van de 5.40 hasta 6.70. clasificando estos suelos como ácidos a ligeramente ácidos. La materia orgánica varia de 2.61 a 19.56 % que corresponden a porcentajes bajos y muy altos; los suelos 3, 6, 8 al 19 se considera alto en el porcentaje de materia orgánica debido a las condiciones que limitan la mineralización (pH, temperatura, humedad). La capacidad de intercambio cationico tiene valores de 7.38 a 46.72 meq/ 100 gr se consid: an el 32 % de los suelos evaluados valores bajos y el 60 % se consideran altos; Las clases texturales corresponde a: Arcillosos, Franco arcilloso, Franco arcillo arenoso, Franco, Franco arenosos, Arena franca.

Cuadro 10. Características físicas y químicas, de los suelos estudiados

Suelo	PH	CIC	% S.B.	% MO	% Arcilla	% Limo	% Arena	Clase Textural
1	5.40	12.79	22.22	4.48	13.69	20.24	66.06	Franco arenoso
2	5.70	7.38	24.35	4.22	10.54	14.99	74.46	Franco arenoso
3	5.70	9.34	38.73	6.52	7.39	11.84	80.76	Arena franca
4	6.50	14.75	46.80	3.69	26.29	9.74	63.96	Franco Arcillo Arenoso
5	6.30	35.90	53.37	5.21	21.04	30.45	48.51	Franco
6	6.70	35.41	32.80	6.39	22.09	26.25	51.66	Franco Arcil. Arenoso
7	6.50	36.89	41.68	5.21	26.29	26.25	47.46	Franco Arcil. Arenoso
8	6.10	26.07	48.21	9.13	10.84	25.96	63.21	Franco arenoso
9	6.30	13.28	45.24	11.87	4.54	15.46	80.01	Arena franca
10	5.70	32.46	26.67	11.22	10.84	21.76	67.41	Franco arenoso
11	6.20	23.61	28.27	8.74	5.29	20.24	74.46	Arena franca
12	6.30	37.38	41.29	11.22	9.49	28.64	61.86	Franco arenoso
13	6.20	34.92	58.42	6.13	28.39	26.54	45.06	Franco Arcil. Arenoso
14	6.40	16.23	41.62	7.30	13.69	18.14	68.16	Franco arenoso
15	5.70	13.28	27.25	7.96	5.29	13.94	80.76	Arena franca
16	6.00	44.26	12.88	19.56	13.69	33.60	52.71	Franco arenoso
17	5.70	46.72	37.04	6.13	50.06	22.43	27.51	Arcilla
18	6.10	34.43	25.85	9.39	29.74	28.06	42.21	Franco Arcilloso
19	5.60	37.38	33.41	8.74	31.84	25.96	42.21	Franco Arcilloso
20	5.50	28.52	31.10	4.17	42.34	23.86	33.81	Arcilla
21	6.20	31.48	30.74	4.44	48.64	18.90	32.46	Arcilla
22	6.10	16.23	52.26	3.00	22.39	23.39	54.22	Franco Arcil. Arenoso
23	6.70	31.97	58.14	2.61	23.44	25.20	51.36	Franco Arcil. Arenoso
24	6.30	21.15	43.26	5.35	29.74	28.64	41.62	Franco Arcilloso
25	6.70	28.52	73.81	5.48	23.44	26.54	50.02	Franco Arcil. Arenoso

Cuadro 11. Elementos disponibles en parte por millón y miliequivalentes por 100 ml con sus relaciones, de los suelos estudiados

Suelo	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Ca/M	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
1	69.48	120	3.12	0.57	8.50	3.50	15.00	10.00	5.47	10.14	1.85	11.99
2	74.20	65	2.50	0.41	6.00	3.00	22.00	10.50	6.10	15.00	2.46	17.46
3	74.67	65	4.37	0.87	17.50	3.50	15.50	12.50	5.02	26.22	5.22	31.44
4	11.83	325	12.48	2.72	2.00	4.50	12.50	21.00	4.59	14.98	3.26	18.24
5	6.57	275	10.30	1.13	1.00	4.50	5.00	4.00	9.12	14.61	1.60	16.21
6	5.07	377.5	8.42	4.63	1.00	3.00	11.50	8.00	1.82	8.70	4.78	13.48
7	10.70	377.5	8.74	1.90	0.50	3.50	10.00	9.50	4.60	9.03	1.96	10.99
8	11.55	30	7.49	0.57	0.50	6.00	17.00	8.00	13.14	97.37	7.41	104.78
9	1.13	127.5	8.11	1.49	0.50	6.50	6.50	5.50	5.44	24.81	4.56	29.36
10	1.00	192.5	5.93	0.72	1.00	3.50	19.50	17.00	8.24	12.01	1.46	13.47
11	0.00	360	11.23	1.59	0.00	2.00	3.00	9.50	7.06	12.17	1.71	13.89
12	0.00	350	13.10	2.93	0.50	3.50	8.00	19.00	4.47	14.60	3.26	17.86
13	0.00	252.5	5.62	0.77	1.00	2.50	18.00	17.00	7.30	8.68	1.19	9.87
14	0.00	50	4.37	0.46	2.00	9.00	20.00	8.50	9.50	34.09	3.59	37.67
15	0.00	45	4.06	0.82	0.00	2.50	6.50	15.00	4.95	35.19	7.11	42.29
16	0.00	245	11.54	3.24	1.50	4.00	10.00	51.50	3.56	18.37	5.16	23.53
17	0.25	97.5	6.86	0.87	0.50	2.00	5.00	6.50	7.89	27.44	3.48	30.92
18	0.00	110	9.98	1.34	0.50	2.50	3.50	11.00	7.45	35.38	4.75	40.13
19	0.00	215	5.93	1.44	2.50	2.50	15.00	23.00	4.12	10.76	2.61	13.37
20	0.00	85	7.49	2.00	3.50	2.00	8.50	44.00	3.75	34.37	9.18	43.54
21	0.00	157.5	11.54	2.31	1.00	2.50	16.00	15.00	5.00	28.58	5.72	34.30
22	18.97	95	5.93	1.18	1.00	4.00	98.00	25.50	5.03	24.34	4.34	29.19
23	52.00	240	13.10	3.85	1.50	2.50	69.00	56.00	3.40	21.29	6.26	27.54
24	0.00	150	5.93	1.64	2.00	4.00	31.50	59.50	3.62	15.42	4.26	19.68
25	62.65	360	15.29	2.31	0.50	9.00	7.00	20.00	6.62	16.56	2.50	19.07

7.2 RENDIMIENTO RELATIVO Y NIVEL CRITICO DE FOSFORO

Basándose en los valores obtenidos de las diferentes metodología de extracción y del rendimiento relativo, se procedió a determinar el nivel critico aplicando el método de Cate y Nelson, en donde en un diagrama de dispersión se divide esencialmente en dos poblaciones pudiendo identificar así un nivel critico del análisis del suelo para un nutriente. el rendimiento relativo en la obtención de un nivel critico de un elemento, se tomó en 88 %. para que la aplicación de este elemento nutricional sea aceptable. En el cuadro 13 A. se observan los rendimientos relativos y los índices de extracción de fósforo con cada una de las soluciones extractoras, observar que 17 suelos evaluados o sea el 68 % de los mismos, tuvieron un rendimiento relativo menor de 50 % logrando obtener mayor respuesta en la aplicación de fósforo. En las figuras de la 4 ala 6 se presentan las gráficas de los niveles críticos de fósforo. Como se observa en las figura con la solución Doble Acido Diluido, el nivel critico es de 17.81 ppm de fósforo, con la solución Olsen modificado es de 19.5 ppm de fósforo; para la solución de Bray I es de 14. ppm de fósforo y con la metodología de Mehlich III los valores de niveles críticos de fósforo fueron 15 ppm de fósforo.

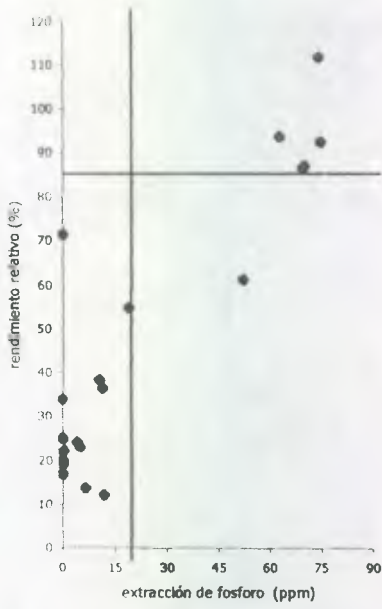


Figura 4. Determinación de Nivel Crítico de fosforo con Doble Acido Diluido

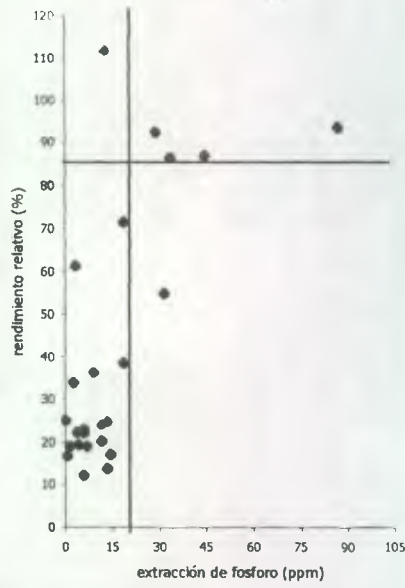


Figura 5. Determinación de Nivel Crítico de fosforo con Olsen

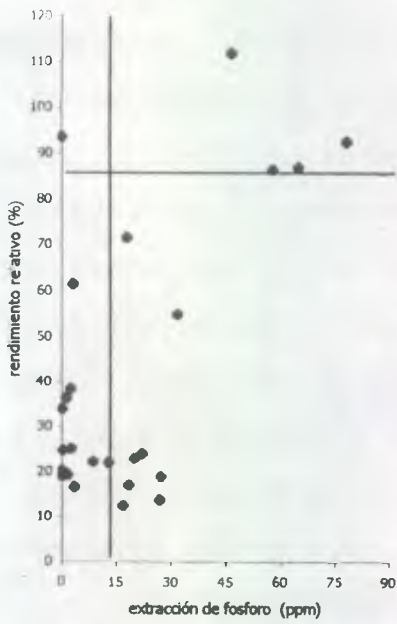


Figura 6. Determinación de Nivel Crítico de fosforo con Bray I

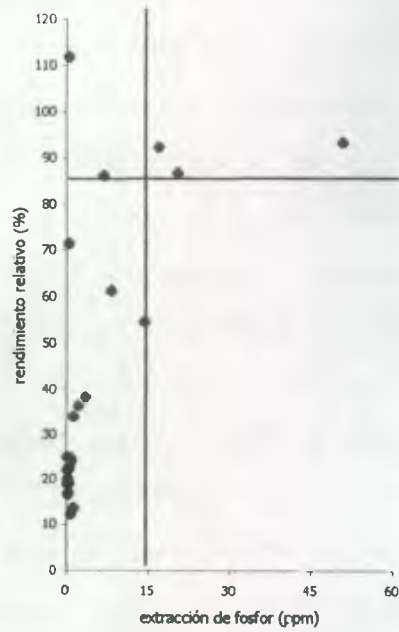


Figura 7. Determinación de Nivel Crítico de fosforo con Mellich III

7.3 RENDIMIENTO RELATIVO Y NIVEL CRITICO DE POTASIO

Como se sabe el rendimiento relativo es una medida de respuesta del rendimiento a un solo nutriente, cuando los otros son suministrados en cantidades adecuadas. En el cuadro 14 A se observan los rendimientos relativos de potasio, de los cuales 15 suelos evaluados presentan valores altos de rendimiento relativo, mayor o igual al 100 % lo que indica baja probabilidad de respuesta a la adición del nutriente por la alta disponibilidad de potasio en estos suelos y al ser adicionado mas potasio puede causar una disminución en la respuesta de los cultivos, tomando como base los conceptos de la ley de los rendimientos decrecientes. En la determinación de los niveles críticos se tomó el rendimiento relativo del 88 %, para que la aplicación de este elemento nutricional sea aceptable. En las figuras de la 8 a la 11 y en el cuadro 12 se presenta los niveles críticos de potasio. Como se observa para la solución Doble Acido Diluido, el nivel critico de potasio es de 100 ppm, con Olsen modificado, la solución no se cumple a cabalidad con la extracción de este elemento ya que los datos muestran una clara y amplia dispersión, por lo cual no se obtuvo un nivel critico con esta solución; para Bray I es de 190 ppm de potasio, y con la metodología de Mehlich III los valores de niveles críticos de potasio son de 180 ppm.

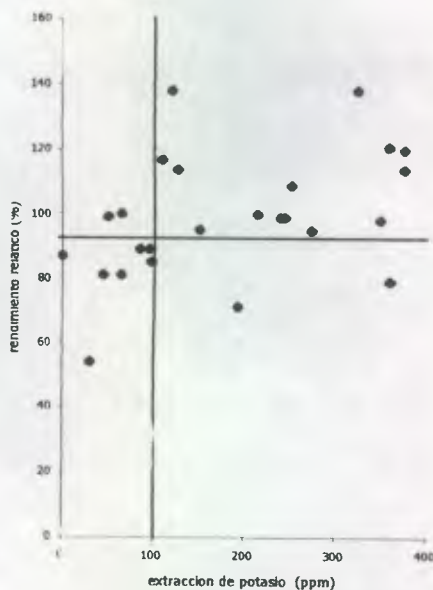


Figura 8. Determinación de Nivel Critico de potasio con Doble Acido Diluido

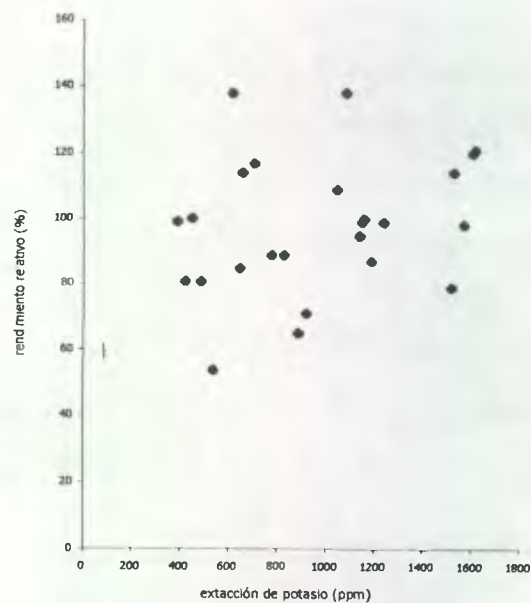


Figura 9. Determinación de Nivel Critico de potasio con Olsen

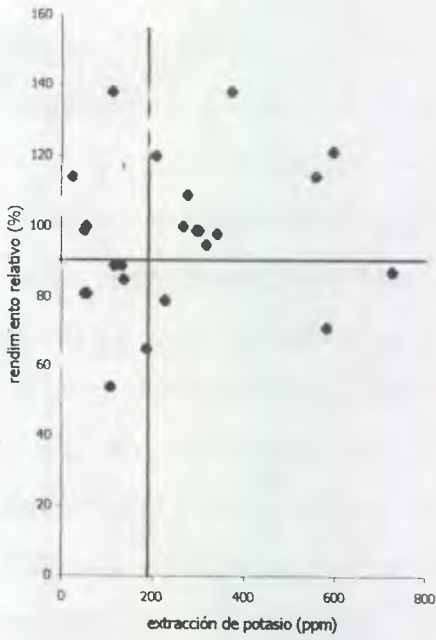


Figura 10. Determinación de Nivel Crítico de potasio con Bray I

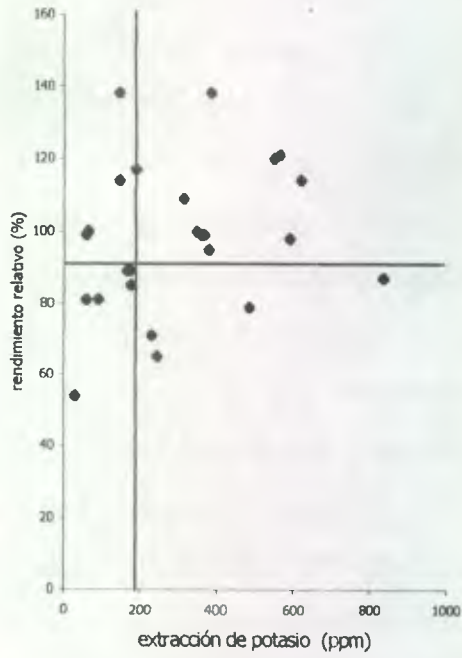


Figura 11. Determinación de Nivel Crítico de potasio con Mehlich III

Cuadro 12. Niveles Críticos

SOLUCIONES EXTRACTORA	VALORES DE NIVEL CRÍTICO	
	P ppm	K ppm
Doble Acido Diluido	17.81	100
Olsen modificado	19.5	*****
Bray I	14	190
Mehlich III	15	180

** No se pudo determinar

8. CONCLUSIONES

- 8.1 Los niveles críticos de fósforo determinados en los suelos del Pie de Monte Neovolcanico del Pacífico de Guatemala, fueron los siguientes: Doble Acido Diluido, 17.8 ppm; Olsen Modificado, 19.5 ppm; Bray I, 14 ppm; Mehlich III, 15 ppm.

- 8.2 Para los suelos del Pie de Monte Neovolcanico del Pacífico de Guatemala, el nivel critico de potasio fueron los siguientes: Doble Acido Diluido, 100 ppm; Bray I, 190 ppm; Mehlich III, 180 ppm Pero con solución Olsen Modificado no fue posible determinar el nivel critico, debido a que estos suelos presentan potasio disponible por lo que los valores de los rendimientos relativos se reportaron altos por lo cual manifiestan mucha dispersión en la gráfica.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Se deben tomar en cuenta los valores determinados de niveles críticos de fósforo y potasio, para validarlos al nivel de campo con diferentes cultivos, con los mismos suelos evaluados en esta investigación
- 9.2 Con los diferentes suelos que no se obtuvo buena respuesta con las diferentes soluciones (los ubicados en los cuadrantes negativos), identificarlos y someterlos a un estudio mas profundo y definir de la mejor manera el comportamiento.

10. BIBLIOGRAFIA

1. ALVARADO, A. 1985. El origen de los suelos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p.
2. BARRILLAS, J. 1987. Determinación del rango y nivel de concentración crítica de fósforo y potasio con dos metodologías de extracción, en las series de suelos Guatemala y Patzite. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 46.
3. BERTSCH, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia y del Suelo. 157 p.
4. BORNEMIZA, E. 1960. La solución extractora y la humedad en relación con el Potasio intercambiable; experiencia en suelos aluviales de Costa Rica. Turrialba (C.R.) 10 (1): 35-38.
5. BUCKMAN, H.; BRADY, N. 1971. Naturaleza y propiedad de los suelos. Barcelona, España, Montaner y Simón. p. 146-151.
6. CAJUSTE, L. 1986 El fósforo aprovechable en los suelos. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados de Chapingo, Centro de Edafología. Serie Cuadernos de Edafología no. 6. p. 45
7. CATE, R.B.; NELSON, L.A. 1965. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de los suelos y las respuestas a los fertilizantes. Trad. por Isabel de Mendoza. Carolina del Norte, EE.UU. , Universidad Estatal. Boletín Técnico no. 7. 106 p.
8. COOK, M.G.; HUTCHENSON Jr. , T.B. 1960. Soil potassium reactions as relates to clay mineralogy of selected Kentucky Soil. Sc. Soc. Amer. Proc. 24(4): 252-256.
9. CRUZ, J.R. DE LA; 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p. 22-23.
10. DIAZ ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978 Metodología de muestreo de suelos, análisis de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 44-68.
11. 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 de Guatemala, Facultad de Agronomía. 37 p.

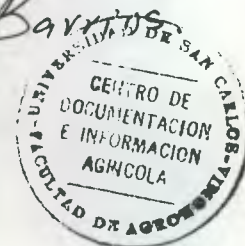
12. ESTRADA, L. 1973. La disponibilidad de potasio en seis series de suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 47 p.
13. FASSBENDER, H.W. 1980. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 37 p.
14. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1962. Atlas geográfico nacional. Guatemala. s.p.
15. GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACION; CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA. 2000. Mapa temático digitalizado. Guatemala. Esc. 1/250,000. Color.
16. GUERRERO, R. 1979. El diagnóstico de la fertilidad de los suelos. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. p. 156-170.
17. HANWAY, J.; SCOTT, A. 1952. Profile distribution of exchangeable potassium in towa soil influence by brying requeritting. Soil Sci. Soc. Amer. Pro. 25(5): 501-505.
18. HUNTER, A. 1977. Técnicas de laboratorio e invernadero para estudio de nutrientes con miras a determinar las enmiendas de suelos, requeridas para un optimo crecimiento de las plantas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 58-60.
19. HURTARTE, M. 1984. Determinación del nivel critico de fósforo en serie de suelos Chicá, La Fragua, Zacapa Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades, Departamento Ciencias Agrícolas. 42 p.
20. INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO. 1996. Manual internacional de fertilidad de suelos. Querétaro, México. 85 p.
21. INTERNATIONAL SOIL FERTILITY EVALUATION AND IMPROVEMENT. 1967. EE.UU., North Carolina State University, Program Soil Science. Annual Reports, Roleigh. 86 p.
22. MARQUEZ HERNANDEZ, J. 1987. Determinación de rangos y niveles críticos de fósforo con tres metodológicas de extracción, en la serie de suelos Cauque y Tecpan. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.

23. MENESES, 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 de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.
24. MORTHAND, M.; LAWTON, K.; UEHARA, G. 1957. Fixation and release of potassium by some clay minerals. *Soil Sci. Amer. Proc. (EE.UU.)* 21:184-381.

Citado por: PERDOMO, R. 1970. *Ciencia y tecnología del suelo*. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 15.
25. ORDOZ CHAMORRO, V. M.; SANCHEZ GARCIA, P. (eds.) 1998. La investigación edafológica en México 1997-1998. En: Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (29., 1998, México). Memorias. Tapachula de Cordova y Ordoñez, Chiapas, México. 40 p.
26. PALENCIA, M. 1974. Correlación para análisis de fósforo y potasio; informe anual 1973. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Programa de Nutrición Animal. p. 5-14.
27. QUILL, J. 1995. Correlación de cuatro metodológicas de extracción de fósforo y potasio disponible en suelos agrícolas para análisis de suelo información básica para planes de fertilización. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 26 p.
28. SALINAS, J.; SANCHEZ, P. 1972. Relación suelos planta que afecta los rendimiento entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo. *Ciencia y Cultura (Mex)* no. 28: 156-168.
29. SANCHEZ, P. A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Trad. por Ediberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 660 p.
30. SANTOS, G. A. 2,000. Correlación de cuatro soluciones extractoras de fósforo y potasio disponible, en siete suelos agrícolas del departamento del Petén, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 32 p.
31. SCHWEIZER, L.; COWARD, H.; VASQUEZ, A. 1980. Metodología para análisis de suelos, plantas y aguas. San José, Costa Rica, IICA. s.n. Boletín Técnico no. 68. s.p.
32. SIERRA, R. 1989. Determinación de nivel crítico de azufre y boro empleando dos soluciones extractoras para cada elemento en 25 suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 39 p.

33. 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, eds. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
34. SOIL AND PLANT ANALYSIS COUNCIL. 1992. Reference methods for soil analysis. EE.UU. 202 p.
35. SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to soil taxonomy. Blacksburg, EE.UU. , Crop and Soil Environmental Sciences Department, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg. 422 p.
36. 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.
37. SWINDALE, L. D. 1969. Propiedades de los suelos derivados de ceniza volcánica de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA. p .B. 10.1-B, 10.9
38. TISDALE, S.L.; NELSON, W. L. 1982. Fertilidad de los suelos. Trad. por Jorge Balasch. México, UTEHA. 760 p.
39. TOBIAS, V.H.A. 1997. Génesis de los suelos de Guatemala. En: Curso Nacional de Post- Grado (1., 1997, Guatemala). Memorias; criterios para recomendar el manejo de la fertilidad del suelo. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 45-86.
40. TOVAR S., J.L; QUINTERO, L. (eds.) 1992. La Investigación edafológica en México 1997-1998. En: Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (25., 1992, México). Memorias. Acapulco, Guerrero, México. p. 71, 73, 74
41. YOC SANCHEZ, A. I. 1989. Determinación del rango y nivel crítico de fósforo con dos soluciones extractoras y potasio con tres metodologías de extracción en la serie de suelos Suchitepequez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 51 p.

Vo. Bo. *Rolando Barrón*



11. ANEXO

Cuadro 13. Fracción de fósforo disponible y el porcentaje de Rendimiento relativo

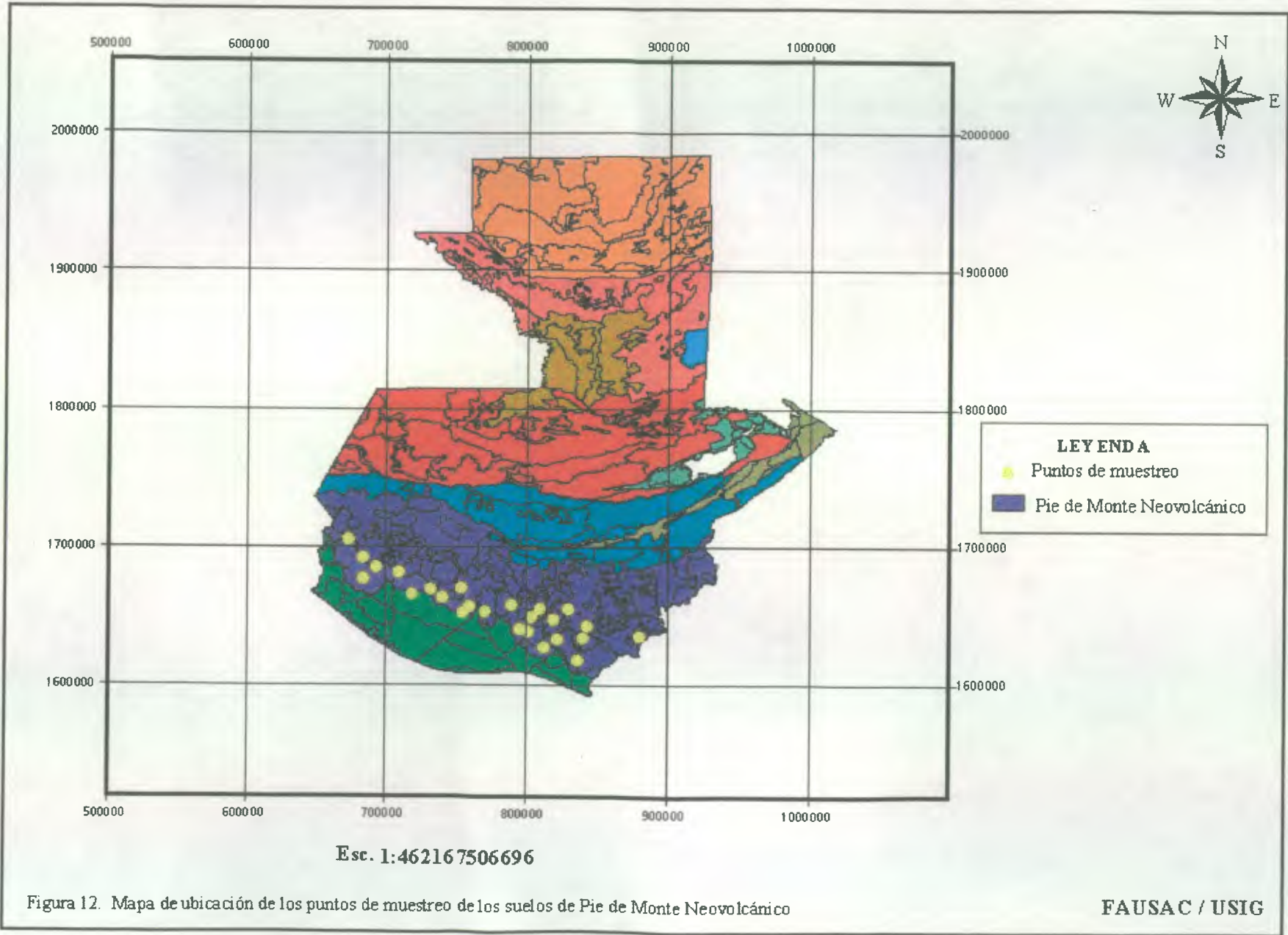
Suelo	Doble Acido Diluido	Olsen	Bray I	Mehlich III	Rendimiento relativo P
1	69.48	33.34	57.6	6.93	86.5
2	74.2	12.96	46.32	0.47	100
3	74.67	28.7	78.12	17.04	92.5
4	69.95	44.4	64.74	20.56	87
5	11.83	6.02	16.82	0.71	12.4
6	6.57	13.42	26.72	1.29	13.8
7	5.07	6.02	20.05	0.59	23.1
8	10.7	18.52	2.3	3.53	38.5
9	11.55	9.26	1.15	2.23	36.5
10	4.13	11.58	22.12	0.94	24.2
11	0	6.94	27.19	0.47	19.1
12	0	6.02	12.67	0.12	22.1
13	0	14.36	18.43	0.35	17.1
14	0	0.45	3.69	0.24	16.7
15	0	0	2.53	0.12	25.2
16	0	2.78	0	1.29	34.1
17	0	11.58	0	0.24	20.3
18	0.25	3.7	8.53	0.47	22.3
19	0	4.16	1.52	0.47	19.4
20	0	1.38	0	0.12	19.1
21	0	13.42	0.23	0.82	24.9
22	18.97	31.48	31.56	14.33	54.8
23	52	3.24	3.23	8.34	61.3
24	0	18.52	17.74	0.47	71.4
25	62.65	87.04	0	50.99	93.6

Cuadro 14. Fracción de potasio disponible y el porcentaje de Rendimiento relativo

Suelo	Doble Acido Diluido	Olsen	Bray I	Mehlich III	Rendimiento relativo de
1	120	620	110	145	138
2	65	450	55	63	100
3	65	420	50	58	81
4	325	1090	370	385	138
5	275	1190	725	835	87
6	377	1140	315	378	95
7	377	1530	555	620	114
8	30	1610	205	550	120
9	127	540	105	30	54
10	192	660	25	145	114
11	360	920	580	230	71
12	350	1520	225	485	79
13	252	1570	340	590	98
14	50	1050	275	315	109
15	45	390	50	58	99
16	245	490	55	90	81
17	97	1150	300	368	99
18	110	650	135	175	85
19	215	710	125	188	117
20	85	1160	265	348	100
21	157.5	830	115	173	89
22	95	780	130	165	89
23	240	1240	295	358	99
24	150	890	185	245	65
25	360	1620	595	565	121

Cuadro: 15. Aplicaciones de las Cantidades de solución para el Tratamiento de referencia de Cada Suelo

Suelo	P		K		Mn		Cu		Zn		Fe		B		Mo		S	
	ppm	ml por maceta	ppm	ml por maceta	ppm	ml por maceta	ppm	ml por maceta	ppm	ml por maceta	ppm	ml por maceta	ppm	ml por maceta	ppm	ml por maceta	ppm	ml por maceta
1	12	0.6	0.5	12.5	22	3.7	2	5	12	6	10	2.5	20	5	20	5	20	5
2	12	0.6	0.7	17.5	18	3.0	2	5	12	6	5	1.25	20	5	20	5	20	5
3	12	0.6	0.5	12.5	10	1.7	2	5	10	5	10	2.5	20	5	20	5	20	5
4	12	0.6	0.4	10	10	1.7	2	5	5	2.5	10	2.5	20	5	20	5	20	5
5	150	7.5	0.5	12.5	10	1.7	5	12.5	12	6	10	2.5	20	5	20	5	20	5
6	300	15	0.4	10	30	5.0	17	42.5	25	12.5	20	5	20	5	20	5	20	5
7	380	19	0.2	5	15	2.5	17	42.5	28	14	10	2.5	20	5	20	5	20	5
8	200	10	0.2	5	60	10.0	16	40	18	9	20	5	20	5	20	5	20	5
9	100	5	0.8	20	55	9.2	17	42.5	7	3.5	10	2.5	20	5	20	5	20	5
10	400	20	0.7	17.5	52	8.7	23	57.5	8	4	20	5	20	5	20	5	20	5
11	300	15	0.2	5	10	1.7	5	12.5	5	2.5	10	2.5	20	5	20	5	20	5
12	400	20	0.2	5	35	5.8	25	62.5	5	2.5	20	5	20	5	20	5	20	5
13	200	10	0.2	5	5	0.8	23	57.5	5	2.5	20	5	20	5	20	5	20	5
14	200	10	0.2	5	10	1.7	5	12.5	5	2.5	10	2.5	20	5	20	5	20	5
15	200	10	0.8	20	40	6.7	2	5	5	2.5	10	2.5	20	5	20	5	20	5
16	300	15	0.8	20	50	8.3	20	50	18	9	20	5	20	5	20	5	20	5
17	350	17.5	0.4	10	5	0.8	2	5	18	9	20	5	20	5	20	5	20	5
18	350	17.5	0.7	17.5	58	9.7	25	62.5	18	9	20	5	20	5	20	5	20	5
19	250	12.5	2	50	10	1.7	20	50	25	12.5	20	5	20	5	20	5	20	5
20	250	12.5	0.5	12.5	5	0.8	2	5	18	9	10	2.5	20	5	20	5	20	5
21	200	10	1	25	5	0.8	2	5	12	6	20	5	20	5	20	5	20	5
22	100	5	0.7	17.5	30	5.0	5	12.5	10	5	5	1.25	20	5	20	5	20	5
23	12	0.6	0.5	12.5	5	0.8	5	12.5	12	6	5	1.25	20	5	20	5	20	5
24	200	10	0.7	17.5	5	0.8	2	5	8	4	5	1.25	20	5	20	5	20	5
25	12	0.6	0.2	5	5	0.8	21	52.5	4	2	20	5	20	5	20	5	20	5





FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "DETERMINACION DE NIVELES CRITICOS PARA FOSFORO Y POTASIO
CCN CUATRO SOLUCIONES EXTRACTORAS A NIVEL DE INVERNADERO
EN SUELOS DEL PIE DE MONTE NEOVOLCANICO DE GUATEMALA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: SERGIO ENRIQUE MORALES GARCIA

CAENET No: 8713134

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Edwin Guillermo Santos Mancilla
Ing. Agr. Edgar Amílcar Martínez Tambito

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha
cumplido con las Normas Universitaria y Reglamentos de la Facultad de Agronomía
de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. M.Sc. José Jesús Chonay Pantzay
A S E S O R

Ing. Agr. M.Sc. Iván Dimitri Santos Castillo
A S E S O R

Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E

Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo Franco Rivera
D E C A N O



cc:Control Académico
IIA.
Archivo
AO/pr.r.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.
TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: ilusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>