

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS DE FÓSFORO Y POTASIO CON CUATRO
SOLUCIONES EXTRACTORAS, A NIVEL DE INVERNADERO, EN SUELOS DE LA ZONA
CANERA DEL SUR DE GUATEMALA.



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

EDGAR ROLANDO YOOL ROSALES

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2001.

D2
01
+C 1955

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO
VOCAL I
VOCAL II
VOCAL III
VOCAL IV
VOCAL V
SECRETARIO

Ing. Agr. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA
Ing. Agr. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO
Ing. Agr. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ
Ing. Agr. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ FIGUEROA
Prof. JACOBO BOLVITO RAMOS
Br. JOSE BALDOMERO SANDOVAL ARRIAZA
Ing Agr. EDIL RENE RODRÍGUEZ QUEZADA

Guatemala, Febrero de 2001

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

Señores miembros:

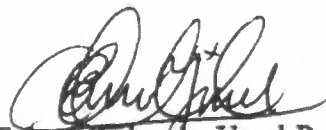
De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el trabajo de tesis titulado:

DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS PARA FOSFORO Y
POTASIO, CON CUATRO SOLUCIONES EXTRACTORAS, A NIVEL
DE INVERNADERO, EN SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR
DE GUATEMALA.

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de licenciado.

En espera de su aprobación, de ustedes,

Respetuosamente,


Edgar Rolando Yool Rosales

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS Padre celestial que has sido mi guía, bien sabes señor que, te amo.

MIS PADRES Eduardo Yool
Genoveva Rosales
Por su enorme sacrificio, comprensión, amor y palabras de aliento.
Eterna Gritud.

MIS ABUELITOS
Nicolaza Yool, Julia Rosales, Antonio López y Enrique Urizar
(QEPD), como un tributo a su memoria.

MIS HERMANOS
Oscar Eduardo y su esposa Lilian Carmina
Juan Carlos y su esposa Luz Elena y especialmente a Sergio Geovanny, por
el cariño y apoyo que siempre me han brindado.

MIS SOBRINOS
Loraynee Guadalupe, Ommar Eduardo, Karen Michelle, Josué
Gabriel, Joceline Elena y Valerie Joshabeth. Con cariño.

MI FAMILIA EN GENERAL
En especial a mis tias y tios
Alicia López, Lidia Marroquín, Francisco Nistal y Carlos Urizar.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS
Por los momentos compartidos y su amistad sincera.
Especialmente a Christy Alejandra Villela y a la memoria de
Juan Mario Rodas Palomo (QEPD).

A USTED ESPECIALMENTE

TESIS QUE DEDICO

A: GUATEMALA

LA CIUDAD DE TECPÁN GUATEMALA, CHIMALTENANGO

LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LA ZONA CAÑERA DEL SUR DE GUATEMALA

MIS CATEDRÁTICOS:

Lic. Francisco Corado, Prof. Ramón Blanco, PEM Daniel García, Lic. Elfego Córdón, Ing. Agr. Negli Gallardo, Ing. Agr. Juan José Castillo, Ing. Agr. Maxdelio Herrera, Ing. Agr. Dimitri Santos, Prof. Ernesto Carrillo (+), Ing. Agr. Marco Antonio Nájera, Ing. Agr. Edgar Franco e Ing. Agr. Edil Rodríguez.

AGRADECIMIENTOS

A:

**MIS ASESORES: Ing. Agr. José Chonay Pantzay
Inga. Agra. Ana Celena Carías
Ing. Agr. Anibal Sacbajá Galindo**

Mis compañeros y amigos del laboratorio de Análisis de suelo, agua y planta "Ing. Salvador Castillo Orellana" FAUSAC.

Los catedráticos del Centro Integral de Computación, de Tecpán Guatemala, especialmente al Profesor Luis Morales.

La Inga. Agra. Claudia Ixmucané López Morales.

Al Ing. Oswaldo Tucubal Coló.

**Las familias: Espaderos Moreira
Yool Torres
Marroquín Yool**

Grande es la sabiduría e infinito su valor. Es la más alta victoria del hombre. (Carlyne)

**Quien va en busca de los montes, no se detiene a recoger las piedras del camino.
(José Martí)**

**El que posee entendimiento ama su alma; el que guarda la inteligencia hallará el bien.
Proverbios 19:8.**

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEORICO	4
3.1 MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1 Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo	4
3.1.1.1 Análisis químico de suelos	4
3.1.2 Soluciones extractoras	4
3.1.3 Selección de la solución extractora	5
3.1.4 Nivel Crítico	6
3.1.5 Correlaciones entre análisis del suelo y rendimiento relativo	7
3.1.6 Metodología para determinación de niveles críticos de Cate y Nelson	8
3.1.7 Fósforo y potasio en el suelo	9
3.1.8 Fijación de fósforo	10
3.1.9 Dinámica del fósforo en el suelo	11
3.1.10 Factores que afectan la dinámica del fósforo en el suelo	11
3.1.11 Fijación de potasio	12
3.1.12 Dinámica del potasio en el suelo	13
3.1.13 Factores que afectan la dinámica del potasio en el suelo	13
3.1.14 Planta Indicadora	14
3.2 MARCO REFERENCIAL	14
3.2.1 Localización del área experimental	14
3.2.2 Localización y ubicación del área de estudio	14
3.2.2.1 Condiciones edáficas	19
3.2.2.2 Condiciones climáticas	20
3.2.2.3 Planta indicadora	20
3.2.2.4 Manejo agronómico de la caña de azúcar en la zona de estudio	21
3.2.3 Investigaciones reportadas	21
3.2.4 Otras investigaciones reportadas	23
4. OBJETIVOS	24
5. HIPÓTESIS	24
6. METODOLOGÍA	25
6.1 Selección de puntos de muestreo	25
6.2 Muestreo de puntos seleccionados	25
6.3 Secado, tamizado y homogeneizado	25
6.4 Determinaciones físicas y químicas de las muestras de suelos	25

6.4.1 Características físicas	26
6.4.2 Características químicas	26
6.5 Soluciones extractoras evaluadas	26
6.5.1 Solución extractora Mehlich I	26
6.5.2 Solución extractora Olsen modificado	27
6.5.3 Solución extractora Bray I	27
6.5.4 Solución extractora Mehlich III	28
6.6 Determinación de las cantidades de elementos a ser usados en el la definición del tratamiento completo	28
6.6.1 Estudio de sorción	28
6.7 Ensayo biológico (fase de invernadero)	29
6.7.1 Metodología experimental	29
6.7.2 Unidad experimental	30
6.7.3 Variable a evaluar	30
6.7.3.1 Rendimiento de materia seca	30
6.8 Manejo del ensayo biológico	30
6.8.1 Siembra	30
6.8.2 Riego	30
6.8.3 Entresaque	31
6.8.4 Cosecha	31
6.9 Análisis de información	31
6.9.1 Rendimiento relativo	31
6.9.2 Coeficiente de correlación	31
6.9.3 Nivel crítico	32
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
7.1 Análisis de disponibilidad de fósforo y potasio	33
7.2 Análisis físico químico	34
7.3 Determinación de niveles críticos para fósforo y potasio	37
7.3.1 Fósforo extraído con cada solución extractora	37
7.3.2 Nivel crítico de fósforo	38
7.3.3 Potasio extraído con cada solución extractora	41
7.3.4 Nivel crítico de potasio	42
7.4 Selección de soluciones extractoras para cuantificar fósforo y potasio	45
7.4.1 Coeficientes de correlación entre fósforo extraído con las soluciones y el rendimiento relativo	45
7.4.2 Coeficientes de correlación entre potasio extraído con las soluciones y el rendimiento relativo	45
8. CONCLUSIONES	47
9 RECOMENDACIONES	48
10. BIBLIOGRAFÍA	49
11. APÉNDICE	52

INDICE DE CUADROS

	Página
1. Soluciones extractoras utilizadas en el análisis de suelos	5
2. Localización y ubicación de los puntos de muestreo	16
3. Características generales de los suelos en estudio	19
4. Evaluación climatológica, principales estaciones y zonas de vida ubicadas en la zona de estudio	20
5. Concentración de elementos n las soluciones de tratamiento de sorción diluidas a 100 ml	29
6. Descripción de los tratamientos a evaluar	30
7. Disponibilidad de fósforo y potasio en los suelos evaluados	34
8. Características físicas de los 20 suelos en estudio	35
9. Características químicas de los 20 suelos en estudio	36
10. Fósforo extraído con las cuatro soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo en los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala	38
11. Potasio extraído con las cuatro soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo en los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala	42
12. Coeficientes de correlación para fósforo entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo en los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala	46
13. Coeficientes de correlación para potasio entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo en los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala	46
14A Coeficientes de correlación de P entre rendimiento relativo y Mehlich I	53
15A Coeficientes de correlación de P entre rendimiento relativo y Olsen	53

16A	Coeficientes de correlación de P entre rendimiento relativo y Bray	53
17A	Coeficientes de correlación de P entre rendimiento relativo y Mehlich III	53
18A	Coeficientes de correlación de K entre rendimiento relativo y Mehlich I	54
19A	Coeficientes de correlación de K entre rendimiento relativo y Olsen	54
20A	Coeficientes de correlación de K entre rendimiento relativo y Bray	54
21A	Coeficientes de correlación de K entre rendimiento relativo y Mehlich III	54

INDICE DE FIGURAS

	Página
1. Análisis de datos de caña de azúcar de Pernambuco, Brasil por el Método directo de Cate y Nelson	9
2. Dinámica del potasio en el complejo edáfico	14
3. Zona actual y potencial para el cultivo de caña de azúcar	17
4. Localización y ubicación de los puntos de muestreo	18
5. Nivel crítico de fósforo con la solución extractora Mehlich I	39
6. Nivel crítico de fósforo con la solución extractora Olsen	40
7. Nivel crítico de fósforo con la solución extractora Bray I	40
8. Nivel crítico de fósforo con la solución extractora Mehlich III	41
9. Correlación de potasio entre el rendimiento relativo y la extracción con Mehlich I	43
10. Correlación de potasio entre el rendimiento relativo y la extracción con Olsen	43
11. Correlación de potasio entre el rendimiento relativo y la extracción con Bray I	44
12. Correlación de potasio entre el rendimiento relativo y la extracción con Mehlich III	44

DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS PARA FÓSFORO Y POTASIO, CON CUATRO SOLUCIONES EXTRACTORAS, A NIVEL DE INVERNADERO, EN SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR DE GUATEMALA.

DETERMINATION OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM CRITICAL LEVEL, USING FOUR EXTRACTING SOLUTIONS, AT GREENHOUSE LEVEL, IN SUGAR-CANE PLANTATION ZONE SOIL FROM SOUTH OF GUATEMALA.

RESUMEN

Existen en la actualidad una gran diversidad de soluciones extractoras para determinar los nutrientes presentes en el suelo. Sin embargo, dichas soluciones son empleadas en forma general para todos los suelos del país, sin tomar en cuenta las características propias de cada región. El presente estudio tiene como objetivo, seleccionar la solución de extracción que mejor se adapte para el análisis de los suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala. Para el efecto, fueron seleccionados veinte sitios para la toma de igual número de muestras de suelo, representativas de la zona, en las cuales se tomaron en cuenta las condiciones de manejo del cultivo realizadas por los agricultores de esta zona de producción cañera del país, y de esta manera establecer el nivel crítico para fósforo y potasio a nivel de invernadero con las soluciones extractoras Mehlich I, Olsen modificado, Bray I y Mehlich III.

La disponibilidad de fósforo y potasio en las muestras de suelos seleccionados fue variable, y esta variabilidad se correlacionó con el porcentaje de rendimiento relativo de materia seca, de esta manera se determinó, para fósforo que la metodología de extracción Mehlich III, fue la que mejor correlacionó dando un valor de 0.81, dicha metodología se puede utilizar con mayor confianza para el análisis de este elemento en los suelos estudiados. Las metodologías de extracción: Mehlich I, Olsen modificado y Bray I, pueden de igual manera utilizarse para el análisis de fósforo, pues presentaron una correlación de 0.69, 0.76 y 0.76 respectivamente, estadísticamente estos valores son significativos. Así mismo, se determinó el nivel crítico de cada solución extractora a través del método de Cate y Nelson donde se reportaron los siguientes datos: 9

ppm con uso de la solución extractora de Mehlich I, 20 ppm con Olsen Modificado, 28 ppm con Bray I y 4 ppm con Mehlich III.

Al realizar el mismo estudio con el potasio, y al correlacionar las variables indicadas, no se encontró significancia en los valores reportados, estos valores obtenidos manifestaron mucha dispersión y se evidencia que en ellos los índices de confiabilidad son muy bajos; situación que nos indica que estas soluciones extractoras no correlacionan con los rendimientos relativos. Dada esta circunstancia, no fue posible determinar los niveles críticos para potasio, debido a que los valores de los rendimientos relativos son altos, estos suelos presentaron baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio.

Para los valores de nivel crítico de fósforo obtenidos, es conveniente calibrarlos en condiciones de campo y en diferentes cultivos, así como, evaluar el potasio con un índice de disponibilidad bajo y con un rango de exploración amplio para los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala.

Se recomienda también estandarizar la solución Mehlich III en los distintos laboratorios de análisis de suelos del país, así como las soluciones que estadísticamente son significativas para el elemento fósforo.

1. INTRODUCCION

En Guatemala, el incremento de las cosechas se ha basado en el empleo de nutrientes para las plantas aplicados al suelo. Aunque el uso de nutrientes vegetales se ha venido intensificando en los últimos años, la mayoría de cultivos se sigue abonando sin considerar la fracción disponible de nutrientes en el suelo mediante un análisis químico de los mismos. Para obtener mejores rendimientos en cualquier cultivo, es necesario conocer todos los factores de producción, dentro de estos factores se encuentra el suelo y dentro del suelo la fertilidad de los mismos expresado en términos de disponibilidad y cantidad de nutrimentos.

Dada esta circunstancia se hace necesario para tener un buen uso de recursos y una buena producción en los cultivos, hacer una evaluación en cuanto a la fertilidad de los suelos, pues de esto depende en gran parte su éxito. Esta evaluación puede lograrse mediante el análisis químico del suelo, de planta y pruebas de campo e invernadero, sabiendo que el resultado de los mismos es básico e importante para recomendar el uso adecuado de fertilizantes.

En la actualidad para el análisis químico de suelos, se emplean soluciones extractoras, cuya función es extraer la fracción disponible de nutrientes, de tal manera que simulen la acción de las plantas al momento que estas extraen sus diferentes nutrimentos del suelo (10). Para formular recomendaciones sobre aplicaciones de nutrimentos, los laboratorios de análisis de suelos, se basan en niveles críticos establecidos en áreas dispersas para lo cual utilizan dichas soluciones extractoras.

El propósito del presente estudio fue, determinar los niveles críticos de concentración para fósforo y potasio a través de la técnica propuesta por Cate y Nelson que correlaciona el elemento extraído, con el porcentaje de rendimiento relativo de materia seca obtenido de la planta indicadora, para este caso el cultivo del sorgo (*Sorghum vulgare* L.), evaluada en ensayo de invernadero; de la misma manera se seleccionó la solución

extractora con mejor coeficiente de correlación, para los suelos de la zona cafetera del Sur de Guatemala. Las soluciones extractoras evaluadas fueron: Mehlich I, Olsen Modificado, Bray I y Mehlich III.

Como resultado de este estudio se seleccionó la metodología de extracción Mehlich III para fósforo, por ser la que mejor correlacionó entre el rendimiento relativo de materia seca y las cantidades de fracción disponible del suelo, de la misma manera se determinaron los niveles críticos con las cuatro soluciones extractoras para el mismo elemento. Para el caso del potasio fue imposible determinar los niveles críticos y seleccionar una metodología de extracción debido a que este elemento presentó altos porcentajes de rendimiento relativo, en los suelos de la zona cafetera del sur de Guatemala.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, son varias las zonas de producción agrícola en la que los suelos han sido muestreados y analizados en los diferentes laboratorios de análisis de suelos que actualmente funcionan en el país, entre ellos se pueden mencionar: Laboratorio de análisis de suelos de la Asociación nacional del Café (ANACAFE), Laboratorio de análisis de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), Laboratorio de suelos Soluciones Analíticas (AGRILAB), Laboratorio de suelos del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICANA), Y laboratorio de Análisis de suelo, agua y planta "Ingeniero Salvador Castillo", adscrito a la Subárea de Suelo y Agua, de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En estas evaluaciones de suelos, se utilizan básicamente dos soluciones extractoras Mehlich I en un 80 % y Mehlich III en un 20 %, ambas con niveles críticos ya establecidos, los cuales son generalizadas para todos los suelos del país sin tomar en cuenta los factores formadores del mismo, entre ellos: clima, vegetación, material parental, relieve y tiempo, esto da como resultado el uso de los mismos niveles críticos antes mencionados, que en muchas ocasiones no son eficientes por la diversidad de suelos que existen en el país, además de no encontrar correlación entre el elemento extraído y el rendimiento de los cultivos con el uso de dichas soluciones.

Como es sabido, para la obtención de una producción de cultivos de mayor calidad y cantidad es necesario realizar investigaciones que tomen en cuenta tanto el manejo de los suelos como del cultivo, a partir de este conocimiento, se hace importante realizar investigaciones más específicas, que tomen en cuenta todos los factores de suelo antes mencionados y que se tome como base diferentes metodologías extractoras de fracción disponible, y completar de esta forma la información necesaria para recomendar soluciones que mejor se adapten a la zona cañera del sur de Guatemala, con mayor eficiencia en los análisis para una fertilización adecuada a efecto de promover el desarrollo de una agricultura sostenible.

3. MARCO TEORICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 DIAGNOSTICO QUÍMICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

3.1.1.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

Guerrero (17), indica que el objetivo básico del diagnóstico químico es el de evaluar la capacidad de los suelos para suministrar nutrimentos a la planta, mediante el uso de soluciones extractoras que son medidas químicas que permiten conocer el nivel nutricional disponible a la misma, para luego de una adecuada interpretación, diagnosticar deficiencias, suficiencias y/o toxicidades para que de esta forma se puedan formular prácticas de manejo tendientes a su corrección o al mantenimiento mismo del nivel de fertilidad.

Para Guerrero (17), el diagnóstico químico de la fertilidad del suelo, para ser adecuado y confiable debe apoyarse en dos aspectos esenciales:

- I. El uso de las soluciones extractoras adecuadas de la fracción disponible de los nutrimentos.
- II. Utilización de niveles críticos confiables.

3.1.2. SOLUCIONES EXTRACTORAS

En cuanto al uso de soluciones de extracción, muchos tipos han sido sugeridas, tales como ácidos fuertes y ácidos débiles en diversas concentraciones, soluciones de sales y soluciones de bases, soluciones amortiguadoras, soluciones frías y soluciones calientes, (17). Estas soluciones extraen diferentes cantidades de un nutriente en particular, al respecto, el cuadro 1, muestra algunas soluciones extractoras, su composición química y la relación suelo:solución para el análisis de suelos. Para Cajuste (6), la solución extractora de Carolina del Norte es ampliamente usada en los suelos con pH de 6.65 y la solución de Olsen en suelos con un amplio rango de pH, desde ácido hasta alcalino. El Programa Internacional de Fertilidad y Mejoramiento del Suelo ISFEIP (21), introdujo la solución extractora modificada de Olsen, que parece ser ideal para indicar el estado de disponibilidad de P, K, Ca, Zn, Mn, Fe, Cu y NH_4 . La solución extractora de acetato de amonio normal, puede ser la más común para extraer potasio. Para Díaz Romeu y Hunter (10), los

métodos de Carolina del Norte, Bray II, cloruro de potasio y Na-EDTA, son efectivos para extraer fosfatos de calcio y aluminio, mientras que el método alcalino de Olsen es sensitivo al fosfato de hierro.

Cuadro 1. Soluciones extractoras utilizadas en el análisis de suelos.

SOLUCION EXTRACTORA	COMPOSICION QUIMICA	RELACIÓN: Suelo:Solución
Olsen **	NaHCO ₃ 0.5N a pH 8.5	1:20
Carolina del Norte *	H ₂ SO ₄ 0.025N + HCl 0.05N	1:5
Bray I **	NH ₄ F 0.03N + HCl 0.025N	1:7
Bray II **	HN ₄ F 0.03N + HCl 0.1N	1:7
Olsen modificado *	NaHCO ₃ 0.5N + EDTA 0.01M	1:10
NO ₃ H	NO ₃ H 1N	1:10
Acetato de amonio	NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂ 1N pH 7	1:5

Fuente: * Días y Hunter (7) ** Salinas y Sánchez (25).

3.1.3 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN EXTRACTORA

Bertsch (2), indica que la selección de una u otra solución extractora para un elemento en particular, se basa en la mayor o menor asociación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. En términos prácticos, una solución extractora será eficiente o adecuada, cuando a valores altos de extracción correspondan también a valores altos de absorción del elemento y cuando los valores bajos de extracción coincidan con baja absorción del elemento por la planta, el caso contrario supondrá una eficiencia baja o nula. Para cuantificar este grado de asociación se usan los parámetros estadísticos de correlación y de regresión. Tales correlaciones se establecen generalmente a dos niveles: uno exploratorio en el invernadero, con un número grande de suelos ampliamente divergentes, y uno mas definitivo en el campo

con un número menor de suelos, pero cuidadosamente seleccionados. El propósito principal de la correlación a nivel de invernadero es comparar los diferentes métodos de extracción y establecer unos niveles críticos tentativos. Para esto se trabaja con muchos suelos y varias soluciones de extracción, se realizan gráficas y se calculan los índices de correlación para cada solución entre valores analíticos del suelo y alguna variable de crecimiento de la planta indicadora sembradas en macetas, como rendimiento absoluto, absorción del nutriente o rendimiento relativo.

3.1.4 NIVEL CRÍTICO

Salinas y Sánchez (30), definen el nivel crítico como "la concentración de nutrientes que puede ser extraída del suelo y afecta positivamente el rendimiento máximo estable, a un nivel menor, la producción y calidad del cultivo declinan significativamente".

Hunter (19), indica que el uso del análisis del suelo como un medio para determinar el estado de fertilidad y disponibilidad de nutrientes para la planta, está basado en la determinación de los niveles críticos, con relación a la solución de extracción utilizada cuando la concentración de un elemento medido en el suelo está por debajo de ese nivel, el crecimiento de la planta estará restringido por el grado en que el elemento se encuentre por debajo del mismo.

Guerrero (17), 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, 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, con rendimientos relativos, selección y ubicación del nivel crítico. Además, nos permite agrupar los suelos en categorías de acuerdo a su fertilidad.

Para Guerrero (17), la determinación de los niveles críticos se utiliza la información concerniente a la correlación entre los valores del elemento disponible en el suelo y los valores correspondientes al rendimiento relativo obtenido con la aplicación del elemento o elementos de estudio. La alta correlación positiva obtenida previamente entre estas dos variables garantizará que el grupo de suelos que muestran bajos niveles disponibles del nutrimento corresponda con bajos rendimientos relativos, estos suelos van a presentar altas probabilidades de respuesta a la aplicación de nutrientes. Por el contrario, el grupo de suelos que tenga altos niveles disponibles del nutrimento corresponderá a altos rendimientos relativos, estos suelos van a presentar bajas probabilidades de respuesta.

3.1.5 CORRELACION ENTRE ANALISIS DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO RELATIVO

ISFEIP (21), indica que para que un análisis de suelos tenga significado para cualquier nutriente, éste deberá ser asociado con la disponibilidad de dicho nutriente para la planta. 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 de nutrimentos que las raíces extraen biológicamente, hasta correlaciones indirectas o empíricas entre los nutrientes 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. Aún 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 menos éxito que los estudios que involucran el rendimiento relativo. A pesar de ser cierto que la asimilación de nutriente, o la cantidad de nutrientes 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 de la misma. 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 (21).

Los diagramas de dispersión para la correlación del rendimiento relativo versus el análisis del 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; ISFEIP (21), indica que 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 Investigaciones de Análisis de suelos 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 en 1965.

3.1.6 METODOLOGIA PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS DE CATE-NELSON

Cate y Nelson (7), indican que el método gráfico para determinación de niveles críticos consiste en plotear los valores de los rendimientos relativos en función del análisis de suelos, básicamente la concentración de la fracción disponible. Es conveniente utilizar un plástico transparente de superposición dividido por cuadrantes que son líneas horizontales y verticales.

Hunter (19), indica que 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" (abscisas). 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 1.

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 (19).

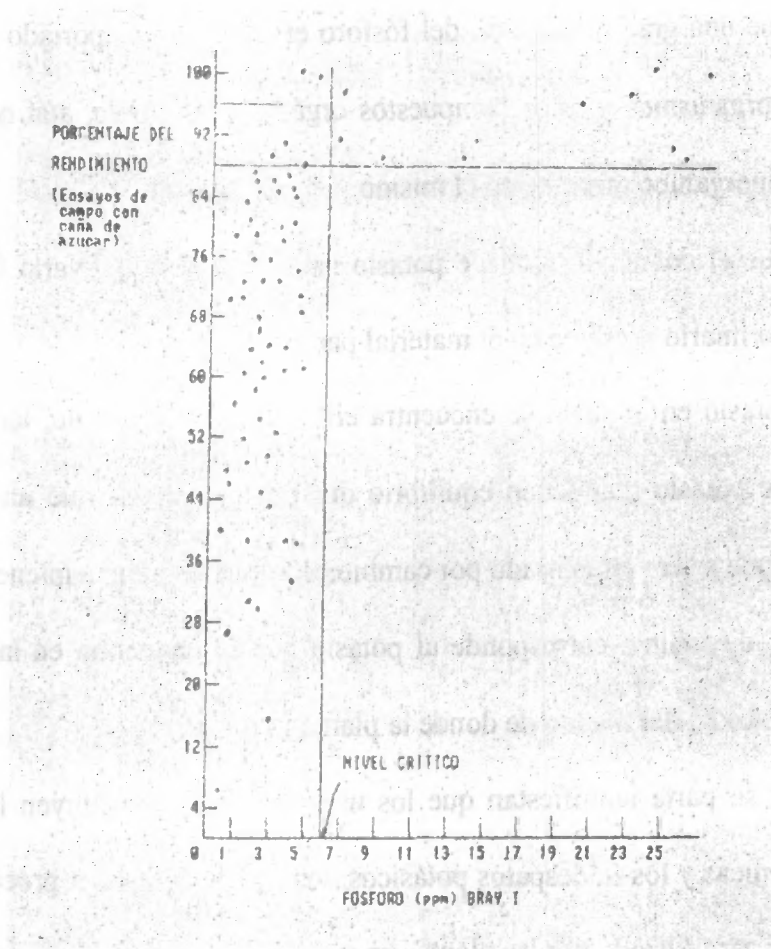


Figura 1 Análisis de datos de caña de azúcar de Pernambuco, Brasil, por el método de Cate-Nelson. Cada punto representa una parcela de campo. Fuente ISFEIP, 1967 (21).

3.1.7 FOSFORO Y POTASIO EN EL SUELO

Fassbender (13), indica que la fuente original de fósforo inorgánico en los suelos, es producto de la desintegración y descomposición de los materiales de apatita, dicha fuente es un constituyente de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Peannsfeld (27), manifiesta que el origen del fósforo lo forman las rocas ígneas y dentro de éstas el fósforo se encuentra en la apatita microcristalina; pero el inmediato origen del fósforo para las plantas es el que es disuelto en la solución de suelo. Las plantas absorben el fósforo como ion fosfato, de los cuales el ion $H_2PO_4^-$ es mas rápidamente absorbido por la mayoría de plantas.

Buckman (5), considera que una gran proporción del fósforo en el suelo es aportado en forma orgánica, la cual es atacada por microorganismos y estos compuestos orgánicos del suelo, aún no son muy conocidos como aquellos del fósforo inorgánico presente en el mismo.

Estrada (12), manifiesta que el contenido total de potasio natural en el suelo varía fundamentalmente, de acuerdo al tipo de mineral primario presente en el material parental.

Cook (8), indica que el potasio en el suelo se encuentra en forma no disponible, lentamente disponible y disponible; estas formas de potasio mantienen equilibrio dinámico de modo que un cambio en cualquier componente del sistema tiende a ser compensado por cambios apropiados para mantener dicho equilibrio. De estas formas, la fácilmente disponible corresponde al potasio que se encuentra en la solución del suelo y absorbido en el complejo coloidal del mismo de donde la planta lo toma.

Tisdale y Nelson (35), por su parte manifiestan que los minerales que constituyen la fuente principal de potasio en el suelo son las micas y los feldespatos potásicos, los cuales durante el proceso de meteorización, liberan potasio que habrá de ser utilizado por las plantas en su nutrición.

3.1.8 FIJACIÓN DEL FÓSFORO

Para Cajuste (6), la fijación del fósforo se refiere a cualquier procedimiento o mecanismo por medio del cual las formas solubles y disponibles son convertidas a formas insolubles y no disponibles a la planta. El origen del suelo afecta la fijación del fósforo, para Swindale (34), en los suelos derivados de cenizas volcánicas la fijación de fósforo es una característica propia, debido a la formación de taranakita, que son cristales o minerales claramente reconocibles que se forman a partir de la alófana.

Sánchez (31), considera la fijación como el proceso que altera la disponibilidad de los compuestos fosfatados conforme lo indica el crecimiento de la planta. El proceso consiste en la transformación de fosfatos monocalcicos solubles en fosfatos menos solubles de calcio, aluminio o hierro.

Fassbender (13), indica que el tipo de arcilla es otro factor que influye en el fenómeno de fijación de fósforo por el coloide inorgánico, el ion fosfato reemplaza al radical OH, o es absorbido por la micela de arcilla mediante un puente de calcio.

Kobo y Ohba (22), sugiere que el carácter mineralógico de las cenizas volcánicas pueden tener gran importancia sobre la fijación de fósforo, pero de todas maneras, ésta se incrementa con el grado de interpretación y también con el contenido de arcilla.

Palencia (26), indica que al caracterizar algunos suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas de Centro América, encontró una correlación negativa entre el contenido de fósforo disponible y el aluminio extraíble y el Fe_2O_3 , señalando que se debe al efecto de fijación por la formación de fosfatos de hierro y aluminio.

Tisdale y Nelson (35), señalan que los suelos con alto contenido de arcilla y arcillas de baja relación SiO_2/Al_2O_3 , tienen mayor poder de fijación.

3.1.9 DINÁMICA DEL FÓSFORO EN EL SUELO

Bertsch (2), indica que 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 consumido por la planta en gran magnitud, sino que su uso en el suelo resulta muy ineficiente. El fósforo se mueve muy poco en la mayoría de 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. La erosión y la remoción son las dos únicas formas de significativas de pérdida de fósforo.

3.1.10 FACTORES QUE AFECTAN LA DINÁMICA Y DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO

Para INPOFOS (20), la disponibilidad y dinámica del fósforo varía de acuerdo a los siguientes factores:

Cantidad de arcilla: A mayor cantidad de arcilla, habrá una mayor fijación del elemento.

Tipo de arcilla: suelos con alto contenido de arcillas como caolinita, óxidos, hidróxidos de Fe y Al, arcillas amorfas como la alofana, imoogolita y humus-Al que son comunes en suelos de origen volcánico, retienen o fijan mas fósforo que otros suelos.

Epoca de aplicación: Cuanto mayor sea el tiempo que el suelos se encuentre en contacto con fósforo añadido, mayor es la posibilidad de fijación.

Aireación: El oxígeno es necesario para el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes es esencial para la descomposición de materia orgánica del suelo, una fuente importante de fósforo.

Humedad: El incrementar la humedad del suelo a niveles óptimos hace que el fósforo sea mas disponible para la planta. El exceso de humedad reduce el oxígeno y limita el crecimiento de la raíz y hace lenta la absorción del elemento.

Contenido de P en el suelo: Los suelos que han recibido varios años mas de fósforo que la cantidad removida en los cultivos presentarán un incremento en los niveles de disponibilidad de fósforo.

Temperatura: Las altas temperaturas o bajas temperaturas pueden restringir la absorción.

El pH: Las formas mas solubles de fósforo existen en el rango de pH de 5.5 a 7.0.

3.1.11 FIJACIÓN DEL POTASIO

Suárez (33), define esta fijación como el proceso mediante el cual el potasio aprovechable pasa a la forma lentamente no aprovechable, debido a que los iones de potasio se encierran en las unidades de la celosía cristalina de los minerales arcillosos tipo 2:1 expandibles del grupo de la montmorillonita. Se ha demostrado que los iones de potasio se encierran entre las unidades de la micela cuando la arcilla montmorillonita se hincha y se encoge. Bornemiza (3), trabajando con suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas comprobó que al secarlos al aire o al horno mostraban una marcada tendencia a fijar potasio, pero al humedecerlos, la disponibilidad de potasio aumentaba aunque en cantidades pequeñas.

Cook, M. G. y Hutchenson (8), comprobaron que las arcillas del tipo 2:1 tienen alto poder de fijación, no encontrándose este problema en los minerales de arcilla 1:1. Al respecto, Morthand (25), observó que el tipo de arcilla como la montmorrillonita y la vermiculita fijan el potasio, el cual podría ser tomado directamente por la planta para su desarrollo, y el potasio de la biotita era más disponible a la planta que el potasio de la illita y muscovita. Sin embargo, la humedad del suelo es otro factor que interviene en la fijación directa del potasio, pues Hanway y colaboradores (18), trabajando con suelos de Iowa concluyeron que al efectuar la extracción de potasio, el contenido de humedad de éstos sí influía grandemente en la correlación de disponibilidad del elemento.

3.1.12 DINÁMICA DEL POTASIO EN EL SUELO

INPOFOS (20), indica que 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 tiende a mantenerse en el sitio que se coloca cuando se fertiliza. Cuando el potasio se mueve, lo hace por medio del proceso denominado difusión, en desplazamientos lentos y en un corto recorrido por las láminas de agua que rodean las partículas del suelo. Las condiciones secas hacen que este movimiento sea más lento, pero niveles altos de potasio 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 abastecido de potasio para asegurar que las necesidades de las plantas sean atendidas continuamente durante el ciclo de crecimiento, hasta el momento de la cosecha. En la figura 2, se presenta la dinámica del potasio en el complejo edáfico.

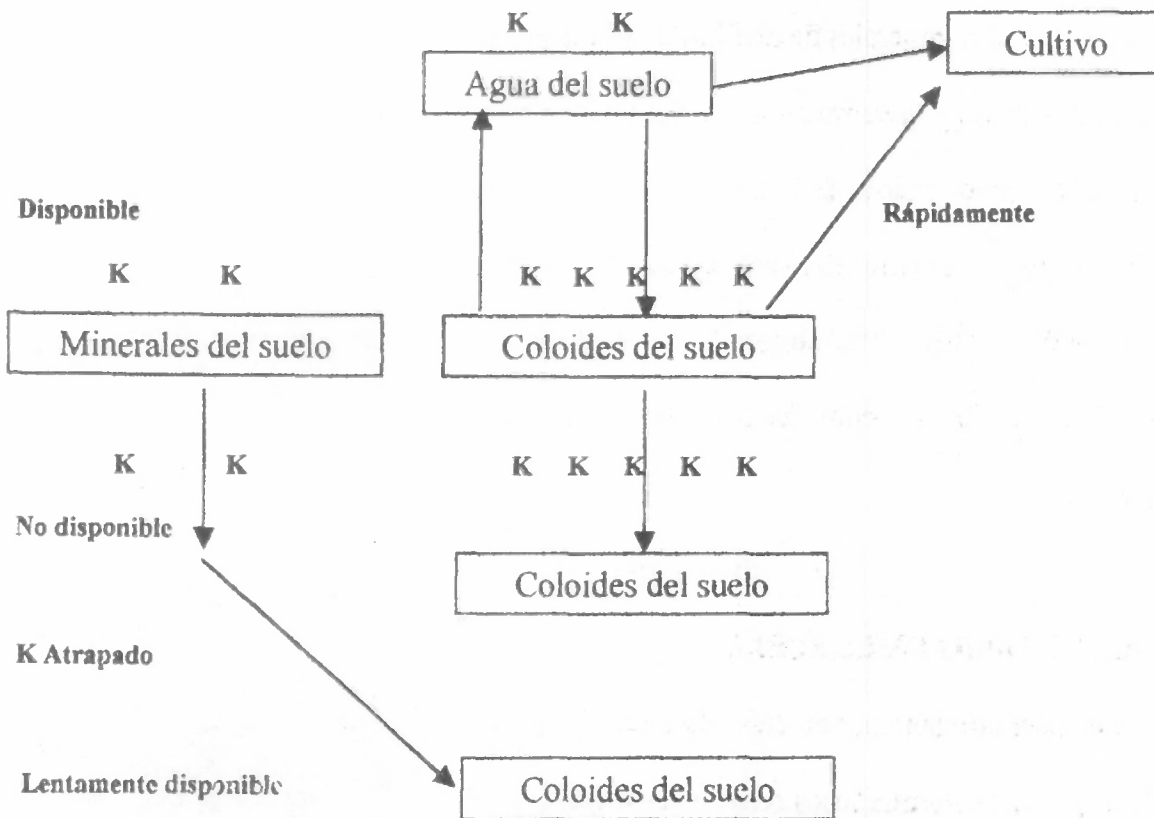


Figura 2 Dinámica del potasio en el complejo edáfico. Adoptado de INPOFOS (20), 1999.

3.1.13 FACTORES QUE AFECTAN LA DINÁMICA DEL POTASIO EN EL SUELO

Para INPOFOS (20), 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 potasio.

Fijación: Se reduce la cantidad de potasio, por las arcillas con alta capacidad de atrapar potasio, como arcillas 1:1 que retiene en forma no disponible, aumenta la capacidad de fijación con arcillas del grupo 2:1 como la illita, montmorrillonita y vermiculita.

Capacidad de intercambio catiónico: En general, los suelos que tienen alta CIC, tienen una mayor capacidad de almacenamiento y una mayor capacidad de entregar potasio a la planta.

Temperatura del suelo: La baja temperatura del suelo reduce la disponibilidad y la absorción de potasio por las raíces de las plantas.

3.1.14 PLANTA INDICADORA

Para determinar los niveles críticos de fósforo y potasio 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), recomiendan a nivel de invernadero, el uso del sorgo (Sorghum vulgare L.), por las ventajas que ésta planta presenta; entre las cuales se tienen: es sensible a la mayoría de deficiencias, crece rápido, tiene semilla pequeña y crece bien en un amplio rango de condiciones climáticas y edáficas.

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 LOCALIZACION DEL AREA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio e invernadero de la Facultad de Agronomía, que se encuentra ubicado en la ciudad universitaria zona 12, ciudad capital, Guatemala. Sus coordenadas son 14° 35' 11" latitud norte y 90° 31' 58" longitud oeste y a una altura de 1,502.32 metros sobre en nivel del mar (15), con una precipitación anual de 1,246 milímetros, distribuidos en 110 días del año, con una temperatura media de 18.2 °C, y con una humedad relativa de 79%, (16).

3.2.2 LOCALIZACION Y UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza y ubica en la costa sur del país, cuadro 2, figuras 3 y 4, teniendo su localización desde el nivel del mar hasta los 800 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas geográficas son 14° 10' y 14° 35' latitud norte (14). Los suelos estudiados pertenecen a los departamentos de: Escuintla, Retalhueu, Suchitepéquez, se tomó como base el Estudio Semidetallado de Suelos de la zona cañera del sur de Guatemala (14).

Cuadro 2. Localización y ubicación de los puntos de muestreo.

Identificación		Localización				Ubicación		
Suelo	Propietario	Finca	Aldea	Municipio	Departamento	Altitud	Coordenadas	
							Latitud	Longitud
1	Yanco Moe	La Fuente		Retalhuleu	Retalhuleu	314	14° 44' 19" N	91° 41' 6" W
2		Chinan		Chicacao	Suchitepéquez	610	14° 44' 38" N	91° 21' 33" W
3		Hacienda Morelia		Santo Domingo	Suchitepéquez	390	14° 27' 57" N	91° 28' 20" W
4	Delfina Ramírez	Cuyutlán	Tabunco	Mazatenango	Suchitepéquez	27	14° 16' 0" N	91° 36' 51" W
5	Ingenio Madre Tierra	Barberena		Tiquisate	Escuintla	40	14° 4' 59" N	91° 27' 3" W
6	Jorge Yanes	El Pantanal trocha 11	Tecojuste	Nva. Concepción	Escuintla	30	14° 0' 16" N	91° 20' 18" W
7	José Luis Díaz	Parcela B-14-1	San José Mogollón	Nva. Concepción	Escuintla	59	14° 12' 27" N	91° 16' 9" W
8	Ingenio Madre Tierra	Petén		Tiquisate	Escuintla	44	14° 16' 52" N	91° 22' 47" W
9	Ingenio Pantaleón	Limonas	El Paraíso	La Gomera	Escuintla	90	14° 7' 14" N	91° 4' 22" W
10	Ingenio Magdalena	Las Delicias		La Democracia	Escuintla	70	14° 7' 39" N	90° 55' 1" W
11	FAUSAC	Sabana Grande	El Rodeo	Escuintla	Escuintla	562	14° 22' 1" N	90° 47' 40" W
12	Adrián Morales	Los Apentios		Guanagazapa	Escuintla	588	14° 14' 32" N	90° 37' 31" W
13	Filadelfo Gonzáles	El triunfo	Brito	Guanagazapa	Escuintla	259	14° 8' 17" N	90° 39' 37" W
14	Ingenio Madre Tierra	Xatá		Santa Lucía Cotz.	Escuintla	443	14° 21' 50" N	91° 3' 48" W
15	Ingenio El Baúl	Nimayá		Santa Lucía Cotz.	Escuintla	804	14° 23' 14" N	90° 0' 37" W
16	Juan del Cid	El Recuerdo	Las Playas	Santa Lucía Cotz.	Escuintla	56	14° 10' 40" N	91° 7' 52" W
17	Selvin René Paiz		San Jerónimo	La Gomera	Escuintla	36	13° 56' 32" N	91° 8' 28" W
18	Ingenio San Diego	María Laura		Izapa	Escuintla	32	13° 58' 57" N	90° 45' 4" W
19	Felipa Roldán	Santa Clara		Managua	Escuintla	42	14° 8' 39" N	90° 46' 54" W
20	Thelma Girón	Santa Anita	El Jobo	Guanagazapa	Escuintla	215	14° 5' 60" N	90° 35' 28" W

REPUBLICA DE GUATEMALA

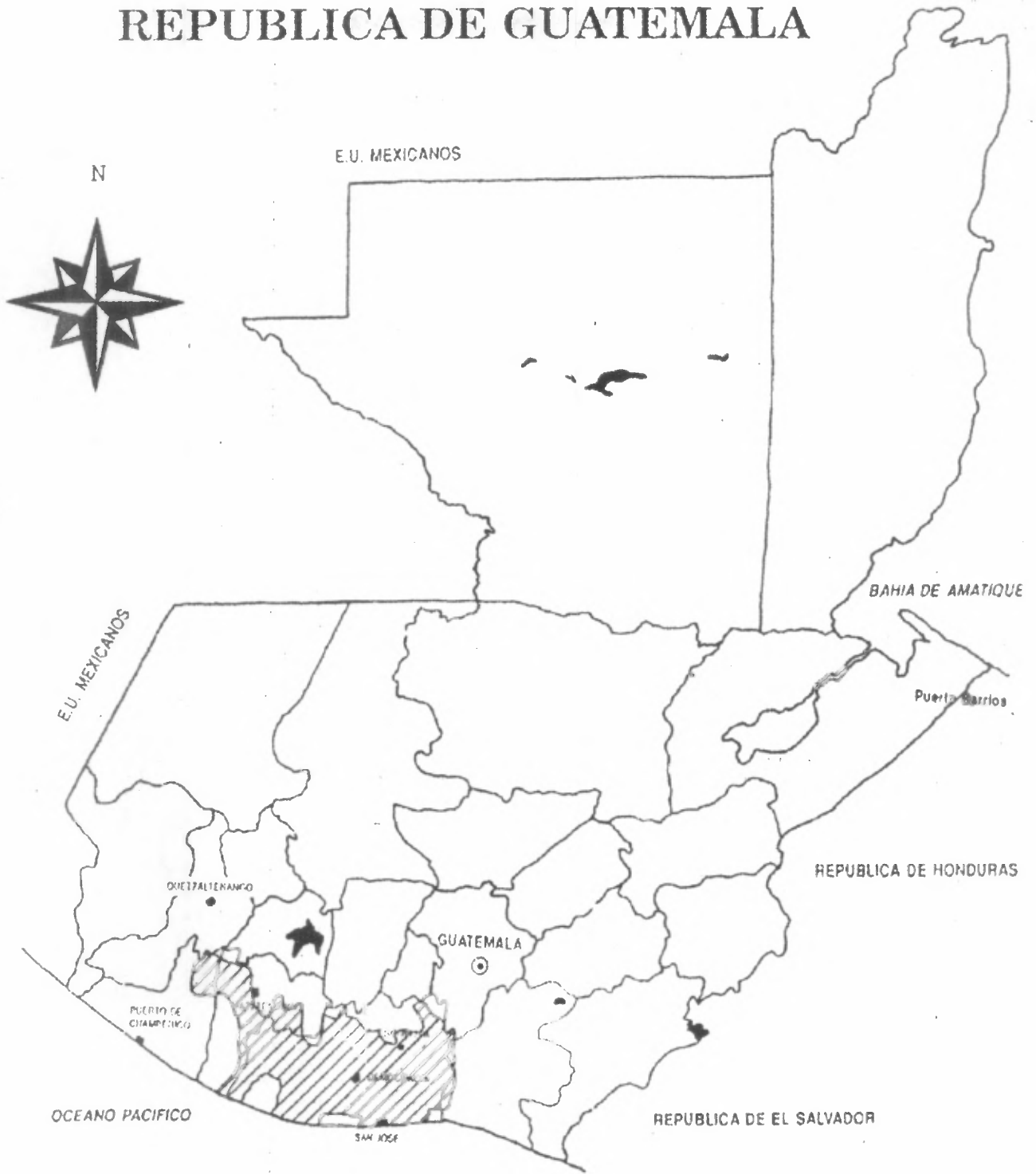


Figura 3. Zona actual y potencial del cultivo de la caña de azúcar (14).

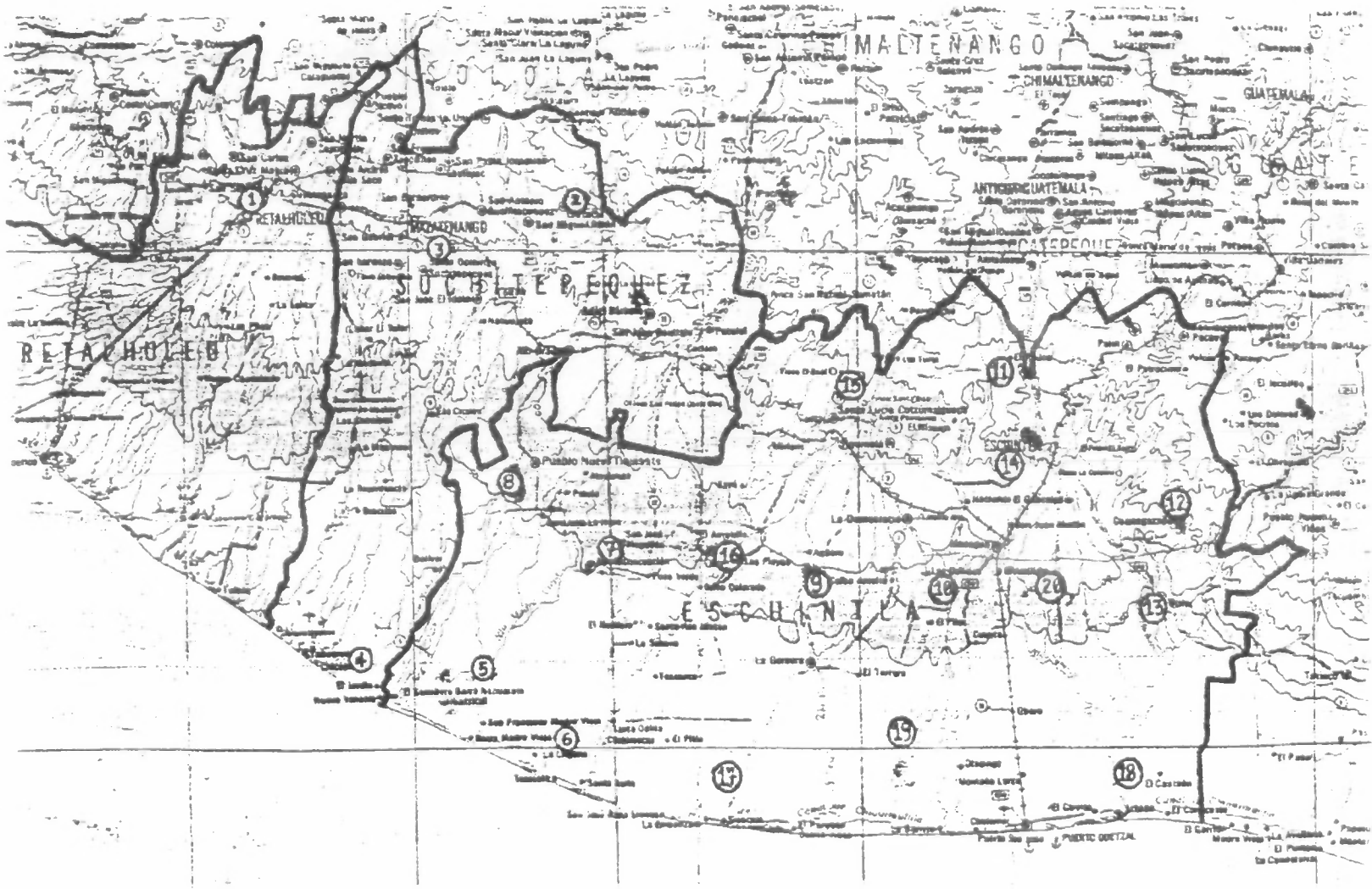
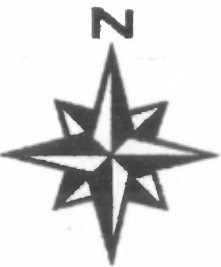


Figura 4

Localización de los puntos de muestreo.

3.2.2.1 CONDICIONES EDÁFICAS

El cuadro 3, muestra las características de los suelos estudiados, se encuentra en su totalidad el paisaje Planicie Fluviovolcánica de Pié de Monte, los principales ordenes presentes son Inceptisol, Mollisol, Andisol y Entisol, la serie predominante es Achiguate y en sus fases se observa con mas frecuencia la relieve ligeramente plana, una profundidad de mayor de 50 centímetros, con buen drenaje y no susceptible a erosión. El uso potencial de los suelos es el cultivo de la caña de azúcar.

Cuadro 3 Uso, paisaje, órdenes, series y descripción de fases de la zona en estudio.

Ident. Suelo	Uso	Paisaje	Orden	** Serie	Descripción de Fases				
					Relieve	Profundidad	Pendiente	Drenaje	Erosión
1	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Inceptisoles	Retalhuleu	Ligeramente plano	Moderado	1-3%	Bien	Ligera
2	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Andisoles	Suchitepéquez	Ligeramente Inclinado	Profundo	3-7%	Bien	Moderada
3	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Andisoles	Mazatenango	Ligeramente Plano	Moderado	1-3%	Bien	Ligera
4	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Alfisolos	Champerico	Ligeramente Inclinado	Moderado	3-7%	Bien	Moderada
5	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
6	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
7	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Tiquisate	Ligeramente Plano	Profundo	1-3%	Bien	Ligera
8	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
9	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
10	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Entisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
11	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Andisoles	Guatlón	Ligeramente Inclinado	Moderada	3-7%	Bien	Moderado
12	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Inceptisoles	Torolita	Ligeramente Plano	Profundo	1-3%	Bien	Sin
13	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Inceptisoles	Bucul	Ligeramente Plano	Profundo	1-3%	Bien	Sin
14	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Andisoles	Guacalate	Ligeramente Inclinado	Moderada	3-7%	Bien	Moderado
15	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Andisoles	Mazatenango	Ligeramente Inclinado	Profundo	3-7%	Bien	Moderado
16	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Andisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
17	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
18	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
19	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Achiguate	Plano	Profundo	0-1%	Bien	Sin
20	Caña	Planicie fluviovolcánica De pié de monte	Mollisoles	Paxinamá	Ligeramente Plano	Profundo	1-3%	Bien	Ligera

Fuente: García, Martínez, Rodríguez, Varella (14). **Simmons (32).

3.2.2.2 CONDICIONES CLIMATICAS

El cuadro 4, muestra las características de las condiciones climatológicas de la zona de estudio, se nota que son características propias para la zona climática Planicie Costera del Pacífico, con dos zonas de vida establecidas, que son: bs-s= bosque seco subtropical y Bmh-s(c)= bosque muy húmedo, subtropical cálido.

Cuadro 4 Evaluación climatológica y zonas de vida presentes en la zona de estudio.

ESTACION	ZONA DE VIDA	PRECIPITACION (mm)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA
San José	bs-s	1,256.95	26.64	78.29 %
Sabana Grande	bmh-s(c)	3,205.43	24.13	74.07 %
Chupadero	bmh-s(c)	2,897.46	25.98	75.08 %
Comantulul	bmh-s(c)	3,577.57	24.84	80.50 %
Los Esclavos	bmh-s(c)	1,569.51	24.82	76.20 %

Fuente: (16).

3.2.2.3 PLANTA INDICADORA

Díaz Romeu-Hunter (10), indican que el sorgo (Sorghum vulgare L.), 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 a otro, junto con las lemas laterales y las hojas son de limbos sin vellosidades y de superficie céria. 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: el 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 para todos los elementos, y el sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) será en este caso una de las mejores, (10).

3.2.2.4 MANEJO AGRONÓMICO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA DE ESTUDIO

En entrevista personal el momento de realizar los muestreos respectivos de suelos y completado con observaciones, se logró recopilar la siguiente información con respecto al manejo del cultivo de la caña de azúcar en la zona de estudio. En la preparación del terreno se encontró que son pocas las fincas que nivelan el terreno antes de prepararlo, motivo por el cual sufren encharcamientos o inundaciones, no se acostumbra usar el destronque, únicamente el desbasurado, el cual se lleva a cabo a mano o con recogedores accionados por tractor, esta basura la colocan entre los surcos. Las fincas con mayor posibilidad económica han subsolado el terreno con suelo seco y perpendicular a la pendiente y el uso de la rastra es más común en todas las fincas. El arado del terreno lo hacen en cruz o de manera sencilla, el cual lleva una profundidad de 1 a 1.5 pies. La distancia entre surcos es de 5 a 6 pies, con la surquería con forma a las curvas de nivel. La siembra la realizan a mano o mecanizada por el método de siembra en cadena sencilla o doble, levantando regularmente de 4 a 5 socas, es notoria la realización del aporque. La fertilización está basada en el análisis de suelo aunque no lo hacen seguido. Normalmente efectúan dos aplicaciones: En plantilla, utilizando 15-15-15, 12-24-12 y urea, con dosis de 4 a 5 quintales por manzana, aplicado en banda. En soca utilizan las mismas formulaciones además de 16-6-24, en la misma dosis. Además utilizan como abono el bagazo de caña y el chícharo. En el momento del corte realizan quemadas para facilitar el manejo del cultivo o cosecha, cortan la caña fresca y manualmente.

3.2.4 INVESTIGACIONES REPORTADAS:

Meneses (24), señala que los niveles críticos en la serie de suelos Alotenango son: para fósforo, con Carolina del Norte es de 12.4 ppm, con Olsen Modificado 15.4 ppm y Morgan Modificado por Wolf es de 5.2 ppm.

Para el potasio con la solución de extracción de Carolina del Norte es de 90 ppm, con Olsen modificado es de 140 ppm y con Morgan modificado por Wolf es de 85 ppm.

Espinoza (11), indica que la serie Tempisque, el rango y nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la solución extractora de Carolina del Norte, el rango de concentración crítica es de 10 ppm a 16 ppm y el nivel crítico 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 Carolina del Norte el rango crítico es de 23 ppm a 28 ppm y el nivel crítico es de 25 ppm. Para la solución extractora de Olsen modificado el rango crítico es de 3 ppm a 3.5 ppm y el nivel crítico es de 3.45 ppm.

Márquez (23), indica que en la serie Cauqué, el rango y nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la metodología de Carolina del Norte, el rango de concentración crítica es de 6.63 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 Tecpán, el rango y nivel crítico es con la metodología Carolina del Norte 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 (36), señala que para la serie de suelos Suchitepéquez, el rango y nivel crítico de fósforo es el siguiente: con la metodología de Carolina del Norte, 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 Suchitepéquez, el rango y nivel crítico de potasio es el siguiente: con la metodología de Carolina del Norte el rango crítico es de 80 ppm a 95 ppm y su nivel crítico es de 88 ppm. Con la metodología de Bray 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.

En Guatemala, Palencia (26), determinó que para granos básicos, en distintas regiones del país, utilizando la solución de Carolina del Norte, el nivel crítico de fósforo es de 5.7 ppm y para potasio es de 54 ppm.

Recinos (28), determinó que para la serie de suelos Culma, las metodologías de extracción presentaron los siguientes coeficientes de correlación para fósforo: Carolina del Norte 0.67, Bray I 0.76; al mismo tiempo concluye que la correlación de potasio manifestó mucha dispersión, indicando que las soluciones extractoras, no correlacionan con el rendimiento relativo para esta serie de suelos. El nivel crítico de fósforo es el siguiente: Carolina del Norte 9 ppm, Bray I 10 ppm; así también concluye que para potasio no fue posible determinar el nivel crítico, debido a que los valores de rendimiento relativo son altos para este elemento, en esta serie de suelos.

3.2.5 OTRAS INVESTIGACIONES REPORTADAS

Rone, J., y colaboradores (29), En su estudio de correlación de cuatro métodos de análisis químico de fósforo aprovechable con suelos de los campos cañeros del ingenio "Los Mochis" de Sinaloa, utilizando los métodos de extracción: Bray I, Olsen original, Mehlich I y Bray II, se encontró que el método que presenta un coeficiente de correlación mas alto entre fósforo extraído del suelo y el fósforo absorbido por la planta es el de Bray I con un coeficiente de correlación de 0.77, con lo cual recomendaron adoptar el método Bray I como prueba química de rutina en el análisis de fósforo aprovechable del suelo en la región del estudio.

Cruz, J., y colaboradores (9), en suelos de región de Tezulutlán, Puebla, México. En la determinación de el fósforo disponible con la solución extractora de Bray I, presentó variaciones desde 5 a 31 ppm, el procedimiento general de 10 ppm considerado como bajo con respecto al promedio de las demás soluciones extractoras, los valores mas altos se obtuvieron con el método ácido doble diluido con 110 ppm, seguido por Bray II con 33 ppm, el de Bray I con 8 ppm y Wolf con 3 ppm.

Bautista, y colaboradores (1), en su estudio de correlación de métodos químicos para determinar fósforo disponible en el suelo de Tehuantepec, Oaxaca, México, estudiaron los métodos de Olsen, Bray II, Soltanpour y Mehlich III, encontraron que el método de Olsen y Soltanpour presentaron los coeficientes mas altos de 0.578, los dos con rendimiento de materia seca (g/maceta), en tanto Mehlich III

presentó la correlación mas alta con la concentración de fósforo en la materia deseca de 0.511 y la extracción de fósforo en mg/maceta dio el coeficiente mas alto de 0.698 con Olsen.

4. OBJETIVOS

1. Determinar los niveles críticos para P y K con las soluciones extractoras Mehlich I, Olsen Modificado, Bray I y Mehlich III evaluadas en suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala.
2. Seleccionar la solución extractora para P y K que posea un coeficiente de correlación mayor de 0.8 entre la fracción disponible de suelo y el rendimiento relativo de biomasa del cultivo.

5. HIPÓTESIS

- 5.1 El nivel crítico para P y K será igual para las cuatro soluciones extractoras evaluadas en ensayo biológico, a nivel de invernadero en el cultivo del sorgo (Sorghum vulgare L.) en los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala.
- 5.2 Al menos en una de las soluciones extractoras presentará un coeficiente de correlación mayor que 0.8 entre la fracción disponible del suelo y el rendimiento relativo de biomasa del cultivo.

6. METODOLOGIA

6.1. SELECCION DE PUNTOS DE MUESTREO

Para seleccionar los puntos de muestreo de los suelos bajo estudio, se consideró su distribución en los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez, tal como lo muestra la figura 4, y se tomó como base el estudio semidetallado de los suelos de la zona cañera (14), así como el uso de hojas cartográficas escala 1:50,000 que corresponden a la zona de estudio, mapas de Clasificación y Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala, escala 1:250,000.

6.2. MUESTREO DE PUNTOS SELECCIONADOS

Se seleccionaron 20 sitios de muestreo, figura 4, los cuales fueron ubicados por medio de mapas de la zona y por Geoposicionador Satelital (GPS); se recolectó una muestra completa por sitio y se tomaron 45 kilogramos de suelo a una profundidad de 0 a 20 centímetros, a los cuales se les realizó una prueba preliminar de campo para determinar: Fósforo por colorimetría, utilizando comparadores previamente establecidos en laboratorio, pH por medio de potenciómetro y textura al tacto, para luego ser analizadas en el laboratorio análisis de suelos, agua y planta "Ingeniero Salvador Castillo", adscrito a la subárea de Manejo de Suelo y Agua, de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

6.3. SECADO, TAMIZADO Y HOMEGENEIZADO

El secado del suelo se hizo al aire, de tal manera de formar una capa delgada sobre un plástico, para el tamizado se trituró la muestra y se hizo pasar por un tamiz de 2 mesh, y para el homogeneizado se mezcló completamente cada muestra y se almacenó en bolsas de plástico debidamente identificadas y en un lugar seco.

6.4. DETERMINACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELOS

Se utilizó una fracción de cada una de las muestras de suelos, previamente homogeneizadas.

Para la determinación de sus características físicas y Químicas, de acuerdo a la metodología siguiente:

6.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

- A. La distribución granulométrica de partículas primarias se determinó utilizando el método del Hidrómetro de Bouyucos.
- B. La clase textural se determinó sobre la base de la escala USDA modificada.
- C. El color del suelo superficial determinado a través de las escalas colorimétricas de Munsell.
- D. La densidad aparente determinado por el método de la probeta y a través de la fórmula $Da = Pss/Vt$

donde

Da= densidad aparente

Pss= peso del suelo seco

Vt= volumen total

6.4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

- A. La materia orgánica se determinó por medio del método de combustión húmeda modificada por Walkley y Black y reducción con dicromato de potasio.
- B. La CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico), extraído con acetato de amonio 1N a pH 7. Las bases intercambiables K, Ca, Mg, Na, cuantificadas a través de espectrofotómetro de absorción atómica.
- C. El pH, determinado con potenciómetro se utilizó la relación suelo-agua 1:2.5.
- D. Las fracciones disponibles: P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn por extracción con Carolina del Norte. Cuantificados por espectrofotometría, excepto el fósforo cuantificado por colorimetría.

6.5. SOLUCIONES EXTRACTORAS EVALUADAS

6.5.1 SOLUCION EXTRACTORA MEHLICH I

Descripción: Este método es utilizado básicamente para determinar fósforo en los suelos arenosos que tienen una capacidad de intercambio menor a 10 meq/100g, 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).

Reactivos: H_2SO_4 0.025N + HCl 0.05N.

Metodología: 5 ml de suelo + 25 ml de solución extractora, se agitó durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto, y se filtró, la determinación de K se hizo por espectrofotometría de absorción atómica a través de dilución 1:5 (2 mililitros del extracto + 8 mililitros de agua destilada), del filtrado y el P por el método de azul de fosfomolibdeno y leído por colorimetría.

6.5.2 SOLUCION EXTRACTORA OLSEN MODIFICADO

Descripción: Trabajos realizados anteriormente han reportado que esta solución tiene una buena correlación con resina intercambiable, este método es apropiado para suelos de origen volcánico, además representa un método para extracción de macro y micronutrientes. Esta solución es recomendable para suelos de amplio rango de pH, para la extracción de fósforo se utiliza la relación suelo:solución 1:10 (12).

Reactivos: NaHCO_3 0.5N + EDTA 0.01M + 0.5g de superflo 127

Metodología: 2.5 ml de suelo + 25 ml de solución extractora, se agitó durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto, y se filtró, la determinación de K se hizo por espectrofotometría de absorción atómica en forma directa del filtrado y el P por el método azul de fosfomolibdeno y leído por colorimetría.

6.5.3 SOLUCION EXTRACTORA BRAY I

Descripción: Este método ha sido utilizado 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 el medio ácido, en gran parte los fosfatos de calcio y una porción de los fosfatos de aluminio y 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 más exitoso en suelos ácidos (6).

Reactivos: HN_4F 0.03N + HCl 0.025N

Metodología: 5 ml de suelo + 25 ml de solución extractora, se agitó durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto, y se filtró, la determinación de K se hizo por espectrofotometría de absorción atómica en forma directa del filtrado y el P por el método azul de fosfomolibdeno y leído por colorimetría.

6.5.4 SOLUCION EXTRACTORA PARA MELICH III

Descripción: La extracción de fósforo por este método, es designado para ser aplicado en un rango amplio de propiedades de los suelos y con un rango amplio de propiedades para una reacción ácido - básico. Estudios anteriores probaron que este método correlaciona de buena manera con la metodología de Bray I en ácido para suelos neutrales ($r^2=0.966$).

Reactivos: CH_3COO 0.2N + H_4NO_3 0.25N + NH_4F 0.015N + HNO_3 0.013N + EDTA 0.001M

Metodología: En 2.5 ml de suelo con 25 ml de solución extractora, se agitó durante 5 minutos a 400 revoluciones por minuto, y se filtró, la determinación de K se hizo por espectrofotometría de absorción atómica en forma directa del filtrado y el P por el método azul de fosfomolibdeno y leído por colorimetría.

6.6. DETERMINACION DE LAS CANTIDADES DE ELEMENTOS A SER USADOS EN LA DEFINICIÓN DEL TRATAMIENTO COMPLETO

6.6.1 ESTUDIO DE SORCION

Este estudio se realizó para conocer la capacidad de fijación que tiene el suelo sobre P, K, Cu, Zn, Mn. Los estudios se llevaron a cabo añadiendo al suelo una solución con distintas concentraciones de elementos. La cantidad de solución agregada fue en relación 1:1 (por cada mililitro de suelo se agregó un mililitro de solución).

Cuadro 5 Concentración de elementos en las soluciones de tratamiento de sorción diluidas a 100 ml .

Tratamiento de sorción	ml de solución diluidos en 100 ml	P Mg/ml	K Mg/ml	Cu Mg/ml	Mn Mg/ml	Zn Mg/ml
1	5	35	43	2	5	4
2	10	70	86	4	10	8
3	20	140	178	8	20	16
4	40	280	352	16	40	32
5	80	560	704	32	80	64

FUENTE: Días Romeu (10)

Días Romeu (10), indica que el tratamiento completo se basa en los datos obtenidos en el laboratorio y los resultados de las curvas de sorción para P, K, Cu, Zn, Mn. Si la cantidad de elemento extraído con la solución Mehlich I, del suelo original está abajo de 3 veces el nivel crítico para cada elemento, entonces debe agregársele la cantidad de ese elemento necesario para obtener 3 veces el nivel crítico.

6.7 ENSAYO BIOLÓGICO (FASE DE INVERNADERO)

6.7.1 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para correlacionar los índices de P y K en los suelos, obtenidos con las soluciones extractoras en laboratorio, se realizó un ensayo biológico con distintos tratamientos seleccionados los cuales se sometieron a evaluación mediante un estudio al completo azar con 3 tratamientos y 3 repeticiones para cada una de las 20 muestras compuestas de suelo. Se utilizó para ello, el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Mouch), variedad forrajera Kowkandy como planta indicadora, con un 95% de germinación donada por Semillas Mejoradas de Centro América (SEMECA).

6.7.2 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental consistió en una maceta de 500 centímetros cúbicos de capacidad, con 500 mililitros de suelo, haciendo un total de 180 macetas.

Cuadro 6 Descripción de tratamientos a evaluar.

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

Nota: Para cada uno de los suelos estudiados.

6.7.3 VARIABLE A EVALUAR

6.7.3.1 RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

Se secó el tejido vegetal de cada unidad experimental a 65 °C, seguidamente se pesó el material en una balanza analítica de donde se obtuvo la biomasa expresada en materia seca y en gramos/planta.

6.8 MANEJO DEL ENSAYO BIOLÓGICO

6.8.1 SIEMBRA

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Mouch) se sembró distribuyendo 10 semillas en la superficie del suelo de cada uno de las unidades experimentales a 1 centímetro de profundidad.

6.8.2 RIEGO

A cada unidad experimental se le abrieron agujeros en su base y se les colocó una fuente de agua (plato desechable) a la cual se le agregó agua destilada de manera que la misma llegara en forma ascendente al

suelo y la planta manteniendo la humedad constante. No se aplicó agua directa al suelo para evitar la formación de costras en los mismos.

6.8.3 ENTRESAQUE

Pasados 5 días después de la germinación, se seleccionaron 5 plantas de cada unidad experimental, estas fueron las más vigorosas y homogéneas.

6.8.4 COSECHA

A los 40 días se cortaron las plantas a 1 centímetro por encima de la superficie del suelo, las que se separaron por tratamientos y repeticiones, se almacenaron en bolsas de papel previamente identificadas, para luego, determinarles su peso seco para la obtención del rendimiento relativo.

6.9 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Este análisis se elaboró siguiendo la metodología para la prueba de correlación utilizando para ello los valores de Rendimiento Relativo (RR) obtenido en ensayo biológico y la concentración de fósforo y potasio con cada una de las soluciones extractoras obtenidas en laboratorio.

6.9.1 RENDIMIENTO RELATIVO

Este rendimiento se obtuvo a través de la fórmula siguiente:

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

Entre más cercano a 100 sea el % de rendimiento relativo, menor será la respuesta de la aplicación del elemento. Por lo tanto se deben separar los rendimientos que indiquen que hubo respuesta positiva de aquellos con respuesta negativa (10).

6.9.2 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Este factor se obtuvo por el método de Pearson cuya fórmula es:

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum x)(\sum Y)}{n \sqrt{[X^2 - (\sum X)^2] [Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

En donde:

X = Concentración de P, K en el suelo extraído de cada solución extractora.

Y = La producción de materia seca, o sea el Rendimiento Relativo.

6.9.3 NIVEL CRITICO

La determinación de los niveles críticos se realizó para cada elemento con cada solución extractora. Estos niveles críticos se determinaron por medio de la gráfica de Cate y Nelson, colocando en el eje de las Y el rendimiento relativo y en el eje de las X la concentración de cada uno de los elementos (P y K) expresado en partes por millón (ppm).

Un material plástico transparente (acetato) dividido por cuadrantes que son líneas horizontales y verticales se sobrepuso en el diagrama de dispersión de coordenadas rectangulares y se movió en un sentido u otro hasta conseguir que el mayor número de puntos del gráfico quedaran ubicados en los cuadrantes positivos. La línea perpendicular horizontal se hizo coincidir con un valor del eje de las ordenadas (Rendimiento relativo), bajo el cual las respuestas fueron altas o bajas. Simultáneamente la perpendicular vertical coincidió sobre el eje de las abscisas con concentración del elemento en el suelo sobre el cual estuvo el grupo de suelos que mostró respuestas altas o medias. Por debajo del nivel crítico podrán esperarse altas respuesta del rendimiento del cultivo y por encima del nivel crítico, la respuesta esperada será pequeña o simplemente nula. El nivel crítico obtenido dependerá de la solución extractora, del tipo de suelo y de la clase de cultivo (17).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la determinación de niveles críticos de fósforo y potasio con diferentes soluciones extractoras, a nivel de invernadero, en suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala, son presentados y discutidos de acuerdo a la metodología experimental correspondiente.

7.1 ANALISIS DE DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO Y POTASIO

En el cuadro 7, se presentan los resultados de la disponibilidad de P y K, cuantificados en el laboratorio de análisis de suelo y agua "Ing. Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El fósforo analizado con la solución de Carolina del Norte, presenta valores de 0 en un 10 por ciento de los suelos estudiados, este valor puede atribuirse al manejo de los suelos así como al uso de la solución extractora mencionada, pues dicha solución es débil y el fósforo se encuentra fuertemente retenido, al analizarlo con las otras soluciones en estudio, cuadro 10, si se reportaron valores de extracción de este elemento, en los mismos suelos, también se observa en el cuadro 7, que existe un 40 por ciento de suelos más con valores menores a 7 $\mu\text{g/ml}$, considerados como deficientes, según valores estandarizados por el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, así como valores mayores a este rango en el resto de suelos considerado como adecuados. El potasio presenta en general valores altos analizados con la solución de Carolina del Norte, un valor bajo se encuentra únicamente en el suelo 15, es importante señalar que al hacer la extracción del mismo elemento con las otras soluciones estudiadas, cuadro 11, se encontró deficiencia en el mismo suelo, los valores altos de este elemento puede atribuirse al manejo de los suelos en la zona cañera ya que año con año se realizan quemas en esta área para facilitar el manejo del cultivo durante la cosecha, lo que da como consecuencia la adición de este elemento a través de dicha práctica. El análisis general de disponibilidad de fósforo y potasio en estos suelos presenta una deficiencia de fósforo de 65% y una deficiencia de potasio del 5%, de lo que se deduce la importancia del análisis de

fósforo, así como confirmar el trabajo de Brolo (4), al conocer el alto contenido de potasio, el cual lo atribuye a su origen volcánico.

Cuadro 7. Disponibilidad de fósforo y potasio en los suelos evaluados.

Suelo	* P $\mu\text{g/ml}$	* K $\mu\text{g/ml}$
1	9.98	180.00
2	6.57	275.00
3	5.07	377.50
4	8.08	277.50
5	4.49	310.00
6	15.86	317.50
7	7.23	290.00
8	5.54	252.50
9	24.70	235.00
10	21.78	177.50
11	4.13	127.50
12	0.00	350.00
13	0.00	377.50
14	0.00	252.50
15	0.00	50.00
16	1.36	130.00
17	26.64	312.50
18	6.16	315.00
19	1.92	87.50
20	0.00	192.50

*solución de Carolina del Norte

7.2 ANALISIS FISICO QUIMICO

En los cuadros 8 y 9, se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos de cada una de las 20 muestras de suelos realizados en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala "Ing. Salvador Castillo".

Los valores de pH, varían de 5.0 a 7.2; este pH clasifica a estos suelos de neutros a ligeramente ácidos, debido principalmente al material parental de estos suelos (influencia volcánica) y a las sales solubles presentes en la zona, con la excepción del suelo 18 con que presenta un pH de 8.3 que lo clasifica como ligeramente alcalino, cuadro 9 (14).

La materia orgánica varía entre 2.22 a 11.22 por ciento que corresponde a niveles bajos y altos, respectivamente, la mayoría presenta valores altos debido a la buena actividad de organismos y microorganismos favorecidos por el clima presente en la zona, dando como consecuencia una rápida descomposición de materia producto de la vegetación.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), tiene valores de 9.84 a 48.69 meq/100 g ; considerado de baja en el suelo 10 debido a que el porcentaje de arcilla es menor (6.64%) así como el valor de materia orgánica (2.74) características que influyen en la CIC, adecuada en la mayoría de suelos y moderadamente alta en los suelos 13 y 18 debido a las cantidades de arcilla y de materia orgánica presente en estos suelos.

El contenido de bases intercambiables, Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio en general se consideran adecuados.

El porcentaje de saturación de bases se sitúa en un rango comprendido entre 19.00 a 87.14%, valores considerados bajos a medianamente altos.

La clase textural de los suelos corresponden a: Franco arenoso, franco arcillo arenoso, franco limoso y franco arcilloso.

La densidad aparente (D.A.) de estos suelos presentan valores de 0.97 a 1.48 g/cc.

Cuadro 8. Características físicas de los 20 suelos en estudio.

Suelo	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA	Clase textural	g/cc D.A.	Color seco	Color húmedo
1	23.14	19.19	57.66	Franco arcillo arenoso	1.05	Café oscuro amarillo	Café muy oscuro
2	22.09	26.25	51.66	Franco arcillo arenoso	1.02	Café oscuro	Café muy oscuro
3	26.29	26.25	47.46	Franco arcillo arenoso	1	Café oscuro amarillo	Café muy oscuro
4	36.79	21.00	42.21	Franco arcilloso	1.29	Café oscuro amarillo	Gris muy oscuro
5	17.51	36.08	46.41	Franco arcilloso	1.14	Café oscuro	Café muy oscuro
6	31.84	23.86	44.31	Franco arcillo arenoso	1.48	Café oscuro	Negro
7	15.04	28.06	56.91	Franco arenoso	1.08	Café oscuro grisáceo	Gris muy oscuro
8	8.74	19.66	71.61	Franco arenoso	1.17	Café oscuro	Negro
9	10.84	51.16	38.01	Franco limoso	0.97	Café oscuro	Gris muy oscuro
10	6.64	17.56	75.81	Arena franca	1.4	Café oscuro	Gris muy oscuro
11	10.84	21.76	67.41	Franco arenoso	1.16	Café oscuro grisáceo	Gris muy oscuro
12	28.39	26.54	45.06	Franco arcillo arenoso	1.08	Café oscuro	Gris muy oscuro
13	19.99	29.99	50.02	Franco arenoso	0.97	Café	Negro
14	13.69	18.14	68.16	Franco arenoso	0.97	Café oscuro	Gris muy oscuro
15	5.29	13.94	80.76	Arena franca	1.11	Café oscuro grisáceo	Negro
16	17.89	30.74	51.36	Franco arenoso	1.08	Café oscuro	Gris muy oscuro
17	21.04	25.49	53.46	Franco arcillo arenoso	0.97	Café oscuro grisáceo	Gris muy oscuro
18	36.79	32.09	31.12	Franco arcillo arenoso	1.29	Café oscuro	Gris muy oscuro
19	32.59	29.99	37.42	Franco arcilloso	0.97	Café oscuro	Gris muy oscuro
20	38.14	23.55	38.31	Franco arcilloso	1	Café oscuro grisáceo	Gris muy oscuro

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelo, agua y planta, "Ing. Salvador Castillo" FAUSAC.

Cuadro 9. Características químicas de los 20 suelos en estudio.

Suelo	p ^H	♣ Ca	♣ Mg	• Cu	• Zn	• Fe	• Mn	♣ Ca/Mg	♣ Ca/K	♣ Mg/k	♣(Ca+Mg)/K	M.O. %	CIC	% S.B.
1	5.00	2.81	1.13	2.00	5.50	24.50	23.50	2.49	6.09	2.45	8.54	7.12	21.64	19.00
2	6.30	10.30	1.13	1.00	4.50	5.00	4.00	9.12	14.61	1.60	16.21	6.39	35.41	32.80
3	6.70	8.42	4.63	1.00	3.00	11.50	8.00	1.82	8.70	4.78	13.48	5.21	36.89	41.68
4	7.20	14.00	3.19	1.00	4.50	8.00	9.50	4.39	19.68	4.48	24.16	2.64	30.49	63.45
5	7.20	18.72	4.01	1.00	5.50	5.00	8.00	4.67	0.00	0.00	0.00	3.00	23.11	87.14
6	6.70	14.00	7.14	1.00	3.50	6.50	21.00	1.96	17.20	8.77	25.97	2.74	31.97	74.59
7	6.60	16.54	2.72	0.50	5.00	5.00	9.00	6.08	22.24	3.66	25.90	7.30	35.41	55.55
8	6.60	8.42	0.98	15.50	2.00	7.00	5.50	8.59	13.01	1.51	14.52	4.04	20.66	38.92
9	6.70	12.79	1.80	0.50	5.50	5.00	6.00	7.11	21.23	2.99	24.21	4.83	24.10	52.61
10	6.80	7.80	1.64	1.00	4.00	15.00	10.50	4.76	17.14	3.60	20.74	2.74	9.84	63.41
11	6.30	8.11	1.49	0.50	6.50	6.50	5.50	5.44	24.81	4.56	29.36	11.22	32.46	26.67
12	6.30	13.10	2.93	0.50	3.50	8.00	19.00	4.47	14.60	3.26	17.86	6.13	34.92	58.42
13	6.50	16.54	3.80	0.00	5.50	2.00	25.00	4.35	17.09	3.93	21.01	8.09	41.80	54.33
14	6.20	5.62	0.77	1.00	2.50	18.00	17.00	7.30	8.68	1.19	9.87	7.30	16.23	41.62
15	6.40	4.37	0.46	2.00	9.00	20.00	8.50	9.50	34.09	3.59	37.67	7.96	13.28	27.25
16	6.40	13.73	1.29	0.00	7.00	3.50	15.50	10.64	41.19	3.87	45.06	11.09	31.48	43.03
17	6.40	17.16	2.93	0.00	7.50	4.00	26.00	5.86	21.42	3.66	25.07	6.26	31.97	60.45
18	8.30	19.34	9.77	0.00	2.00	1.50	14.00	1.98	23.94	12.10	36.04	3.78	48.69	78.55
19	6.00	7.18	2.16	2.50	3.50	204.00	36.00	3.32	32.00	9.63	41.63	2.22	21.64	50.39
20	5.60	5.30	1.03	4.00	3.50	22.50	17.50	5.15	10.74	2.09	12.82	3.13	23.61	30.74

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, agua y planta "Ing. Salvador Castillo Orellana" FAUSAC.

♣ = meq/100 ml = Cm+ Kg-

• = partes por millón (ppm) = µg/ml

7.3 DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS PARA FÓSFORO Y POTASIO

7.3.1 FÓSFORO EXTRAÍDO CON CADA SOLUCIÓN EXTRACTORA

En el cuadro 10, se presentan las concentraciones de fósforo extraído por cada solución extractora y el porcentaje de rendimiento relativo.

Se puede observar, en el cuadro 10 y en términos generales que, a medida que el contenido de fósforo extraído con las cuatro soluciones extractoras va aumentando, también el rendimiento relativo incrementa su valor, es importante señalar que en el suelo 5, las cantidades extraídas con las soluciones Olsen modificado, Bray y Mehlich III, son los más altos a excepción de la solución Mehlich I, esto puede deberse como ya se mencionó anteriormente a que la solución extractora es una solución muy débil ya que la normalidad con que se usan los ácidos es baja. dando como resultado un rendimiento relativo que llegó a su máxima expresión (mayor de 100%).

Existen también suelos que no alcanzaron valores en extracción con la solución extractora Mehlich I como los suelos 12, 13, 14, 15 y 20; así como la solución extractora de Olsen modificado para los suelos 15 y 20 y la solución extractora de Bray I para los suelos 8 y 20, lo que evidencia que la solución que extrae con mayor eficiencia el fósforo es la solución extractora de Mehlich III.

Cuadro 10. Fósforo extraído con las cuatro soluciones extractoras y el porcentaje de rendimiento relativo, en los suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala.

Suelo	*Mehlich I	*Olsen	*Bray I	*Mehlich III	Rendimiento Relativo del P (%)
1	9.98	18.52	8.48	1.29	44.00
2	6.57	13.42	26.72	1.29	13.80
3	5.07	6.02	20.05	0.59	23.10
4	8.08	6.94	15.44	0.94	50.00
5	4.49	142.14	209.92	53.69	109.70
6	15.86	41.68	62.22	18.92	88.60
7	7.23	14.82	1.15	3.76	36.80
8	5.54	3.24	0.00	0.82	19.80
9	24.70	15.74	37.10	5.40	77.40
10	21.78	36.12	59.68	31.96	94.50
11	4.13	11.58	22.12	0.94	24.20
12	0.00	14.35	18.43	0.35	17.10
13	0.00	13.90	4.15	0.94	25.50
14	0.00	0.45	3.69	0.24	16.70
15	0.00	0.00	2.53	0.12	25.20
16	1.36	9.26	10.14	0.47	16.10
17	26.64	35.18	29.26	8.93	80.00
18	6.16	86.58	71.20	48.87	80.60
19	1.92	15.28	2.76	1.06	18.00
20	0.00	0.00	0.00	0.12	14.60

* = partes por millón = $\mu\text{g/ml}$

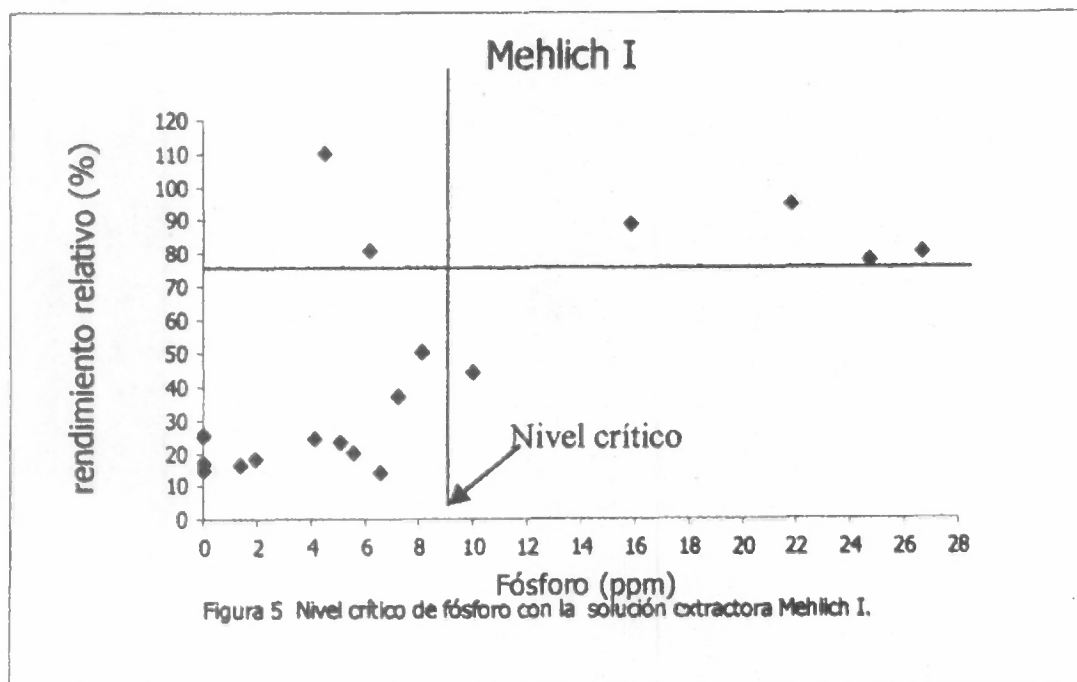
7.5.2 NIVEL CRITICO DE FOSFORO

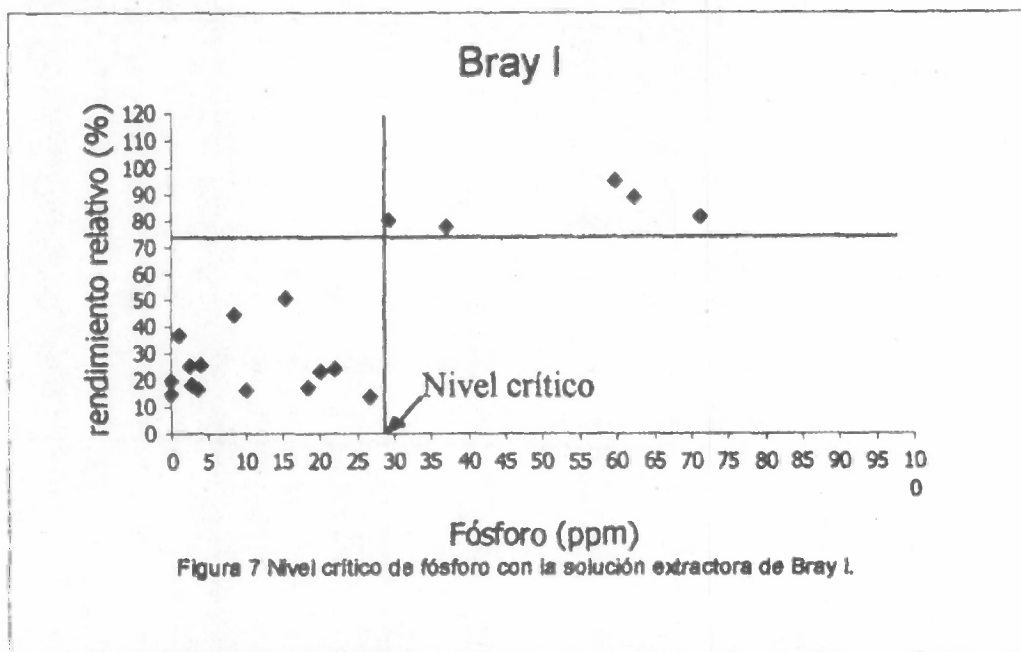
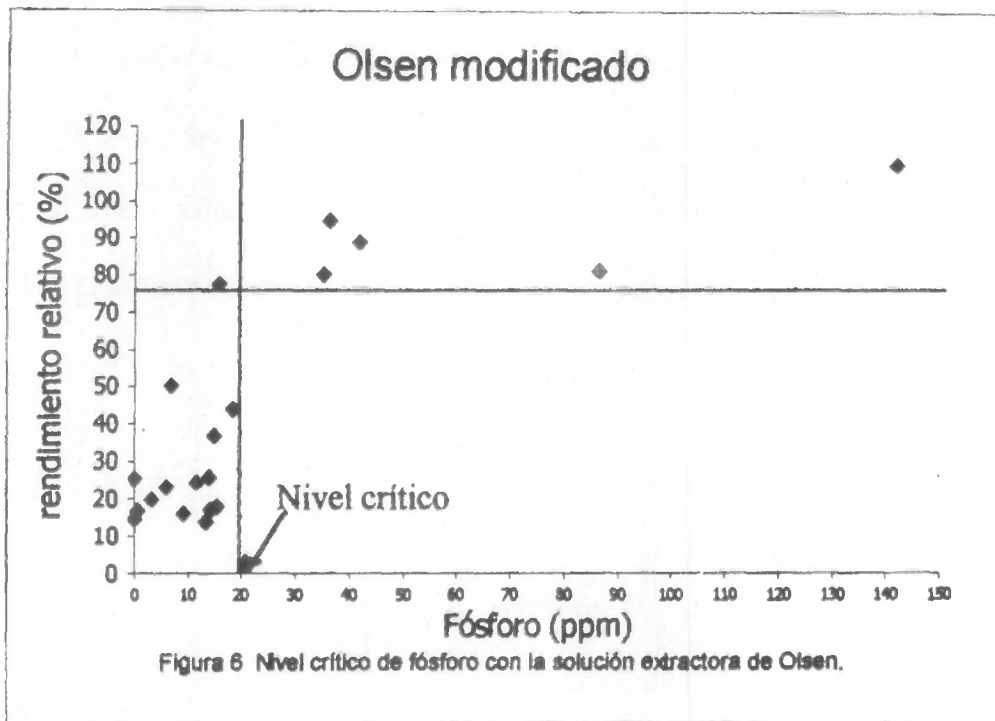
En las figuras 5, 6, 7, y 8, se observan los valores de los niveles críticos de fósforo con respecto a cada metodología de extracción, obtenido con el método gráfico de Cate y Nelson. Como se evidencia en la figura 5, el nivel crítico es de 9 partes por millón para fósforo con la solución de Mehlich I, tomando un rendimiento relativo de 75%, separando la mayoría de suelos con respuesta alta y un mínimo con respuesta baja, se nota también la presencia en cuadrantes negativos de dos suelos que son suelo 5 y 18 los cuales presentan pH de 7.20 y 8.30 respectivamente excluyéndolos del alcance de la solución mencionada, ya que esta solución es apta para suelos con pH menor de 6.5 (6). Con la solución de Olsen modificado, figura 6, el nivel crítico es de 20 partes por millón, se puede observar también que la mayoría de los suelos se encuentran con bajos rendimientos situándolos entre los suelos con alta probabilidad de respuesta al fósforo. Para Bray I, figura 7, el nivel crítico es de 28 partes por millón, donde se observa una correlación completa

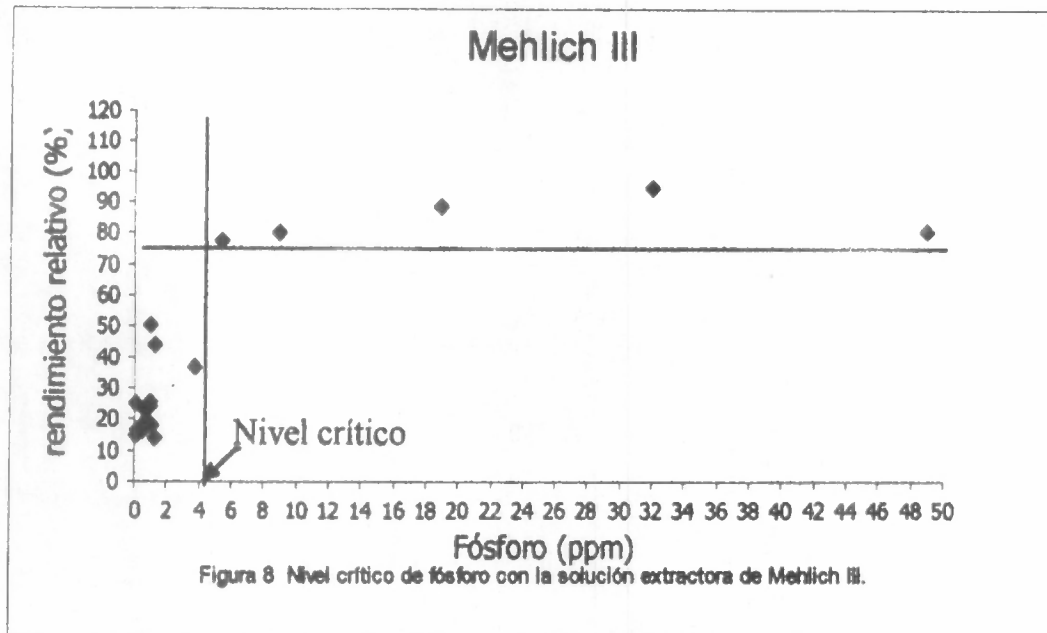
mientras que con la metodología Mehlich III, figura 8, el nivel crítico es de 4 partes por millón para fósforo, se nota que en todas las soluciones los rendimientos son bajos por lo que presentan alta probabilidad de respuesta.

Es importante constatar que Brolo (4), al analizar 80,746 muestras de suelo en la República de Guatemala, encontró que el 55.7% mostró deficiencias de fósforo, lo que para Recinos (28), fue esencial en la determinación de niveles críticos de fósforo, donde reportó 9 partes por millón para Mehlich I, que al compararlo con el presente estudio obtuvo resultados similares para la solución mencionada. En resumen los valores obtenidos en los suelos de la zona cañera son:

Mehlich I	9 partes por millón
Olsen	20 partes por millón
Bray I	28 partes por millón
Mehlich III	4 partes por millón







7.3.3 POTASIO EXTRAIDO CON CADA SOLUCION EXTRACTORA

En el cuadro 11, se presentan las concentraciones para potasio que extrae cada metodología, como se puede observar, es evidente que existe diferencia entre las cantidades de potasio extraído; en tanto que los porcentajes de rendimientos relativos, tienden a ser altos, más del 87%. Tal situación indica que los suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala, presenta baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio, pues los rendimientos relativos son altos, Guerrero (17).

Cuadro 11. Potasio extraído con cuatro soluciones extractoras en el porcentaje relativo, en suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala.

Suelo	*Mehlich I	*Olsen	*Bray I	*Mehlich III	Rendimiento Relativo de K (%)
1	180.00	730.00	175.00	225.00	109.00
2	275.00	1140.00	315.00	378.00	95.00
3	377.50	1530.00	555.00	620.00	114.00
4	277.50	1170.00	240.00	355.00	103.00
5	310.00	1120.00	790.00	885.00	101.00
6	317.50	1340.00	455.00	415.00	93.00
7	290.00	1260.00	530.00	385.00	123.00
8	252.50	1020.00	490.00	278.00	93.00
9	235.00	970.00	220.00	173.00	124.00
10	177.50	690.00	390.00	155.00	108.00
11	127.50	660.00	25.00	145.00	114.00
12	350.00	1570.00	340.00	590.00	98.00
13	377.50	1560.00	530.00	560.00	121.00
14	252.50	1050.00	275.00	315.00	109.00
15	50.00	390.00	50.00	58.00	99.00
16	130.00	740.00	145.00	188.00	89.00
17	312.50	1340.00	415.00	400.00	87.00
18	315.00	1460.00	515.00	540.00	98.00
19	87.50	660.00	100.00	135.00	89.00
20	192.50	960.00	240.00	305.00	91.00

* = partes por millón = $\mu\text{g/ml}$

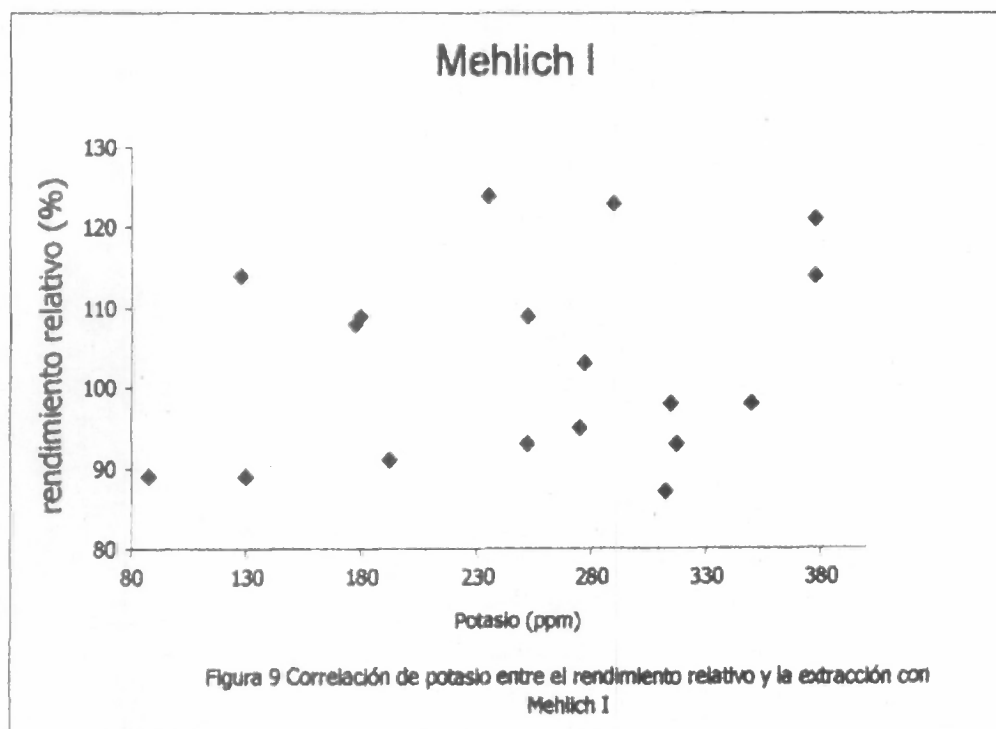
7.3.4 NIVEL CRITICO DEL POTASIO

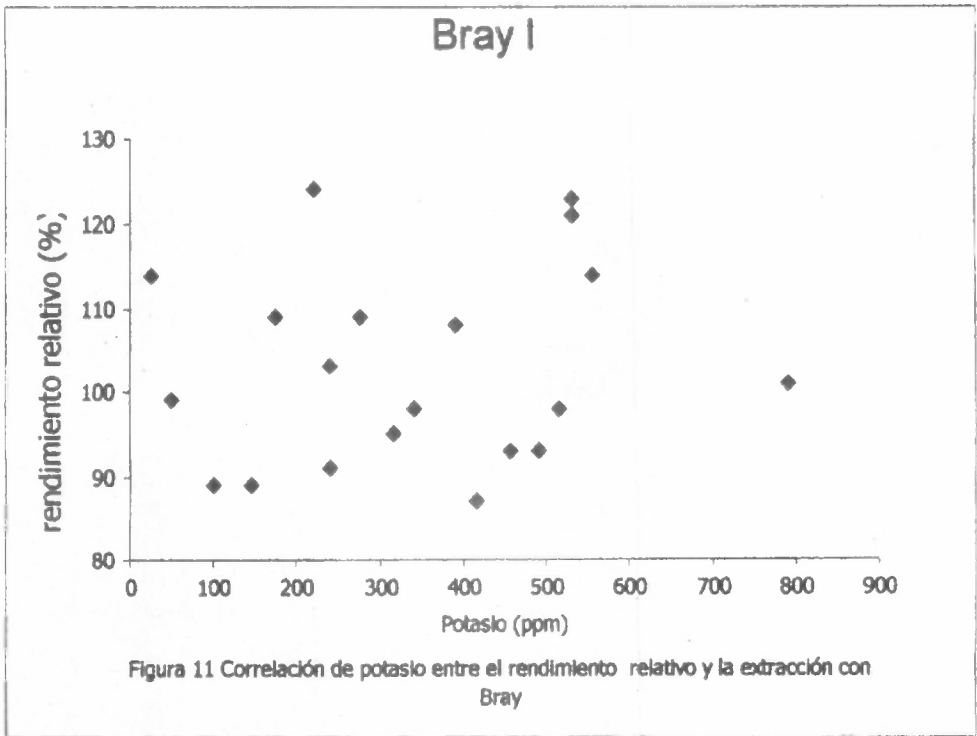
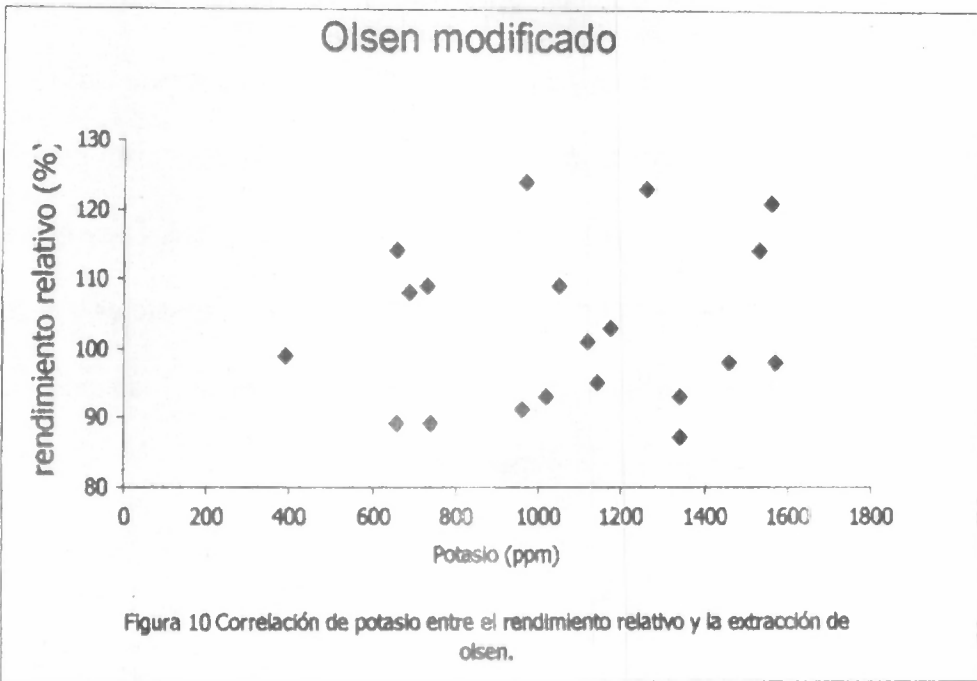
En el cuadro 11, se aprecia el porcentaje de rendimiento relativo para los suelos estudiados; nótese que los valores de estos rendimientos son altos, por esta razón la probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio es baja o nula, Guerrero (17).

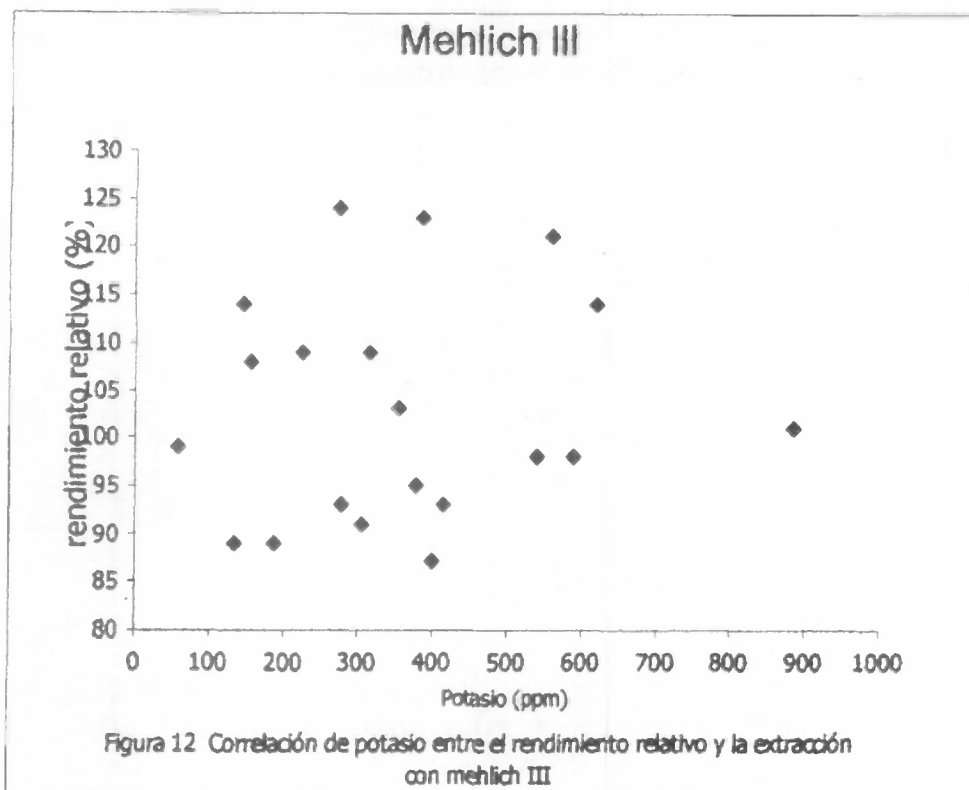
En las figuras 9, 10, 11 y 12 puede observarse el comportamiento de las soluciones extractoras empleadas, en ellos puede apreciarse al igual que en el cuadro 11, que los rendimientos relativos obtenidos son altos, presentando estos suelos, baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio, ante tal situación no fue factible determinar el nivel crítico, de cada solución por la dispersión marcada que se refleja con este elemento.

Es importante señalar que Brolo (4), al analizar 80,746 muestras de suelo de toda la República de Guatemala, encontró que el 14.5% de los mismos presentan deficiencias de potasio, indicando que este elemento está

presente en la mayoría de suelos de Guatemala, atribuyéndolo a su origen volcánico, situación que confirma el trabajo realizado por Recinos (28), que al determinar los niveles críticos para fósforo y potasio en la serie de suelos Culma, no encontró coeficientes de correlación ni el nivel crítico para potasio, concluyendo que esto se debió a los altos rendimientos relativos reportados en este elemento. Dada esta circunstancia, en el presente estudio al correlacionar el potasio extraído con las soluciones extractoras y el rendimiento relativo, se evidenció que los índices de disponibilidad del nutriente son altos y que el rango de exploración no fue lo suficientemente amplio para el efecto de los mismos.







7.4 SELECCIÓN DE SOLUCIONES EXTRACTORAS PARA CUANTIFICAR FOSFORO Y POTASIO

7.4.1 COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE EL FOSFORO EXTRAIDO Y EL RENDIMIENTO RELATIVO

En el cuadro 12, se observan los coeficientes de correlación lineal entre el fósforo que extrajo cada metodología y el rendimiento relativo. Se puede observar que estos coeficientes estadísticamente son significativos por lo que todas las soluciones de extracción utilizadas son valederas para el análisis de fósforo, aunque la solución mas confiable es Mehlich III por su alto coeficiente de correlación.

Cuadro 12 Coeficientes de correlación para fósforo entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala.

Metodología de Extracción	Coefficiente de correlación (r)	T Calculada	T Tabulada
Mehlich I	0.695	5.63 **	2.88
Bray I	0.759	5.035 **	
Olsen Modificado	0.764	5.035 **	
Mehlich III	0.811	5.92 **	

**= significancia al 1%

7.4.2 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE POTASIO EXTRAIDO CON LAS SOLUCIONES DE EXTRACCION Y EL RENDIMIENTO RELATIVO

En el cuadro 13 se observan los coeficientes de correlación lineal entre el potasio que extrajo cada metodología y el rendimiento relativo.

Como puede observarse las cuatro soluciones extractoras no son significativas para la prueba estadística, mucho menos para los fines del estudio que requiere de aquella solución extractora que presente un coeficiente de correlación mayor de 0.8.

Cuadro 13 Coeficientes de correlación para potasio entre las metodologías de extracción y el rendimiento relativo, en suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala.

Metodología de Extracción	Coefficiente de correlación (r)	T Calculada	T Tabulada
Mehlich I	0.217	0.961 NS	2.88
Bray I	0.124	0.550 NS	
Olsen Modificado	0.127	0.550 NS	
Mehlich III	0.019	0.410 NS	

**= significancia al 1%

8. CONCLUSIONES

Con base a lo discutido en el capítulo correspondiente y con el propósito de satisfacer los objetivos planteados, se presentan las siguientes conclusiones:

- 8.1 Las soluciones de extracción presentaron los siguientes niveles críticos para fósforo: la solución extractora de Mehlich I presenta un nivel crítico de 9 ppm, la solución de Olsen 20 ppm, para Bray I el nivel crítico es de 28 ppm y para la solución de Mehlich III el nivel crítico es de 4 ppm.
- 8.2 El nivel crítico de potasio no fue posible determinarlo, debido a que la correlación mostró mucha dispersión y a que los valores de los rendimientos relativos son altos, influyendo en gran medida el origen volcánico y manejo de los suelos, por tal motivo presentan baja probabilidad de respuesta a la aplicación de potasio.
- 8.3 Las soluciones extractoras presentaron los siguientes coeficientes de correlación entre el fósforo extraído y el rendimiento relativo: Mehlich I de 0.69, para Olsen de 0.76, para Bray I de 0.76 y para Mehlich III de 0.81, valores que evidencian cierta similitud entre soluciones, pero que satisface la solución de Mehlich III por su índice de confiabilidad más aceptable.
- 8.4 Las soluciones extractoras utilizadas presentaron coeficientes de correlación no significativas entre el potasio extraído y el rendimiento relativo, se evidencia que los índices de disponibilidad de nutrientes es alta y el rango de exploración no fue lo suficientemente amplio para este elemento.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Calibrar el valor del nivel crítico de fósforo para los suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala, en condiciones de campo y con diferentes cultivos. Para el caso del potasio se recomienda evaluar con índices de disponibilidad bajos y con un rango de exploración mas amplio.

- 9.2 Se recomienda el uso de las cuatro soluciones extractoras utilizadas en el presente estudio para el análisis de fósforo en los suelos de la zona cañera, así como el uso de una solución alternativa para el análisis de potasio.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. BAUTISTA, G.; *et al.* 1998. La investigación edafológica en México. *En*: Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (25, 1998, Acapulco, Guerrero, México.) Memorias. México, CECSA. p. 7-12
2. BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
3. 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.
4. BROLO, J. 1973. Evaluación preliminar del contenido de fósforo y potasio disponibles en los suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 50 p.
5. BUCKMAN, H.; BRADY, N. 1971. Naturaleza y propiedad de los suelos. Barcelona, España, Montander y Simón. p. 146-151.
6. CAJUSTE, L.J. 1986. El fósforo aprovechable en los suelos. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología. Serie de Cuadernos de Edafología. 20 p.
7. CATE, R.B.; NELSON, L.A. 1965. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Traducido por Isabel de Mendoza. Carolina del Norte, Universidad Estatal. Boletín Técnico no.7. p. 106.
8. COOK, M.G.; HUTCHENSON Jr., T.B. 1960. Soil potassium reactions as relates to clay mineralogy of selected kentucky soil. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 24 (4): 252- 256.
9. CRUZ, J.; *et al.* 1992. La investigación edafológica en México. *En*: Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (25, 1998, Acapulco, Guerrero, México.) Memorias. México, CECSA. p. 14.
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 suelo 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. GARCIA, A.; *et al.* 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala, CENGICA. 242 p.
15. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1962. Atlas geográfico nacional. Guatemala. s.p.
16. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1980. Registros climáticos. Guatemala. 296 p.
17. GUERRERO, R. 1979. El diagnóstico de la fertilidad del suelo. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. p. 156-170.
18. HANWAY, J.; SCOTT, A. 1952. Profile distribution of exchangeable potassium in Iowa soil influence by brying requeritting. Soil Sci. Soc. Amer. Pro. (EE.UU.) 25 (5): 501-505.
19. HUNTER, A. 1977. Técnicas de laboratorio e invernadero para estudios de nutrientes con miras a determinar las enmiendas de suelos, requeridas para un óptimo crecimiento de las plantas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 58-60.
20. INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO. 1996. Manual internacional de fertilidad de suelos. Queretaro, México. 85 p.
21. INTERNACIONAL SOIL FERTILITY EVALUATION AND IMPROVEMENT PROGRAM. 1967. Annual reports. EE.UU., North Carolina State University. 86 p.
22. KOBO, K.; OHBA, Y. 1963. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. *En:* Ishizuka, Y.; Black, C. Eds. Suelos derivados de cenizas volcánicas del Japón. México, Ediciones las Américas. p. 51.
23. MARQUEZ HERNÁNDEZ, J. 1987. Determinación del rango y nivel crítico de fósforo con tres metodologías de extracción, en la serie de suelos Cauqué y Tecpán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.
24. 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.
25. 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.
26. PALENCIA, M. 1974. Correlación para análisis de fósforo y potasio; informe anual 1973. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, Programa de Nutrición Animal. p. 5-14.

27. PEANNSFIELD, D. C. 1975. Phosphorous and crop production. Texas, EE.UU., The Texas A y M University System/Texas Agricultural Extension Service. 16 p.
28. RECINOS, A. 1991. Determinación del nivel y rango crítico para fósforo y potasio con diferentes soluciones extractoras en la serie de suelos culma. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 60 p.
29. RONE, J.; et al. 1992. Correlación de cuatro métodos de análisis químico de fósforo aprovechable, con suelos de los campos cañeros del ingenio "los Mochis" de Sinaloa. En: Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (25, Acapulco, Guerrero, México.) Memorias. México, CECSA. p. 16.
30. SALINAS, J.; SÁNCHEZ, P. 1972. Relación suelo planta que afecta los rendimientos entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Ciencia y Cultura. (Mex.). no. 28:156-168.
31. SÁNCHEZ, P.A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Trad. por Ediberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 660 p.
32. 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, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
33. SUÁREZ, 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.
34. SWINDALE, L.D. 1969. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. En: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. (1, 1970, Turrialba, Costa Rica.) Memorias. Costa Rica, IICA. p.B. 10.1-B. 10.9.
35. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1982. Fertilidad de los suelos. Trad. Jorge Balasch. México, UTEHA. 760 p.
36. YOC SÁNCHEZ, 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 Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 51 p.

Vo. Bo.
Patualla



11. APENDICE

Apéndice 1. Cuadros de coeficientes de correlaciones para fósforo y potasio.

Cuadro 14 A. Coeficiente de Correlación de P entre rendimiento relativo y Mehlich I

N	carolina P x	rend rel P y	x ²	xy	y ²
1	9.98	44	99.60	439.12	1936
2	6.57	13.8	43.16	90.67	190.44
3	5.07	23.1	25.70	117.12	533.61
4	8.08	50	65.29	404.00	2500
5	4.49	109.7	20.16	492.55	12034.09
6	15.86	88.6	251.54	1405.20	7849.96
7	7.23	36.8	52.27	266.06	1354.24
8	5.54	19.8	30.69	109.69	392.04
9	24.7	77.4	610.09	1911.78	5990.76
10	21.78	94.5	474.37	2058.21	8930.25
11	4.13	24.2	17.06	99.95	585.64
12	0.00	17.1	0.00	0.00	292.41
13	0.00	25.5	0.00	0.00	650.25
14	0,00	16.7	0.00	0.00	278.89
15	0,00	25.2	0.00	0.00	635.04
16	1.36	16.1	1.85	21.90	259.21
17	26.64	80	709.69	2131.20	6400
18	6.16	80.6	37.95	496.50	6496.36
19	1.92	18	3.69	34.56	324
20	0	14.6	0.00	0.00	213.16
Suma	149.51	875.7	2443.1073	10078.496	57846.35

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sqrt{[x^2 - (\sum x)^2][y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r = 0.694712$$

Cuadro 15 A. Coeficiente de Correlación de P entre rendimiento relativo y Olsen

N	Olsen P x	rend rel P y	x ²	xy	Y ²
1	18.52	44	342.99	814.88	1936
2	13.42	13.8	180.10	185.20	190.44
3	6.02	23.1	36.24	139.06	533.61
4	6.94	50	48.16	347.00	2500
5	142.14	109.7	20203.78	15592.76	12034.09
6	41.68	88.6	1737.22	3692.85	7849.96
7	14.82	36.8	219.63	545.38	1354.24
8	3.24	19.8	10.50	64.15	392.04
9	15.74	77.4	247.75	1218.28	5990.76
10	36.12	94.5	1304.65	3413.34	8930.25
11	11.58	24.2	134.10	280.24	585.64
12	14.36	17.1	206.21	245.56	292.41
13	13.9	25.5	193.21	354.45	650.25
14	0.45	16.7	0.20	7.52	278.89
15	0	25.2	0.00	0.00	635.04
16	9.26	16.1	85.75	149.09	259.21
17	35.18	80	1237.63	2814.40	6400
18	86.58	80.6	7496.10	6978.35	6496.36
19	15.28	18	233.48	275.04	324
20	0	14.6	0.00	0.00	213.16
Suma	485.23	875.7	33917.6981	37117.519	57846.35

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sqrt{[x^2 - (\sum x)^2][y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r = 0.763701$$

Cuadro 16A Coeficiente de correlación de P entre rendimiento relativo y la extracción de Bray

N	Bray P x	rend rel P y	x ²	xy	Y ²
1	8.48	44	71.91	373.12	1936
2	26.72	13.8	713.96	368.74	190.44
3	20.05	23.1	402.00	463.16	533.61
4	15.44	50	238.39	772.00	2500
5	209.92	109.7	44066.41	23028.22	12034.09
6	62.22	88.6	3871.33	5512.69	7849.96
7	1.15	36.8	1.32	42.32	1354.24
8	0	19.8	0.00	0.00	392.04
9	37.1	77.4	1376.41	2871.54	5990.76
10	59.68	94.5	3561.70	5639.76	8930.25
11	22.12	24.2	489.29	535.30	585.64
12	18.43	17.1	339.66	315.15	292.41
13	4.15	25.5	17.22	105.83	650.25
14	3.69	16.7	13.62	61.62	278.89
15	2.53	25.2	6.40	63.76	635.04
16	10.14	16.1	102.82	163.25	259.21
17	29.26	80	856.15	2340.80	6400
18	71.2	80.6	5069.44	5738.72	6496.36
19	2.76	18	7.62	49.68	324
20	0	14.6	0.00	0.00	213.16
Sumas	605.04	875.7	61205.6582	48445.662	57846.35

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sqrt{[x^2 - (\sum x)^2][y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r = 0.758953$$

Cuadro 17 A. Coeficiente de correlación de P entre rendimiento relativo y la extracción de Mehlich III

N	Mehlich III P	rend rel P y	x ²	xy	Y ²
	x				
1	1.29	44	1.66	56.76	1936
2	1.29	13.8	1.66	17.80	190.44
3	0.59	23.1	0.35	13.63	533.61
4	0.94	50	0.88	47.00	2500
5	53.69	109.7	2882.62	5889.79	12034.09
6	18.92	88.6	357.97	1676.31	7849.96
7	3.76	36.8	14.14	138.37	1354.24
8	0.82	19.8	0.67	16.24	392.04
9	5.4	77.4	29.16	417.96	5990.76
10	31.96	94.5	1021.44	3020.22	8930.25
11	0.94	24.2	0.88	22.75	585.64
12	0.35	17.1	0.12	5.99	292.41
13	0.94	25.5	0.88	23.97	650.25
14	0.24	16.7	0.06	4.01	278.89
15	0.12	25.2	0.01	3.02	635.04
16	0.47	16.1	0.22	7.57	259.21
17	8.93	80	79.74	714.40	6400
18	48.87	80.6	2388.28	3938.92	6496.36
19	1.06	18	1.12	19.08	324
20	0.12	14.6	0.01	1.75	213.16
Sumas	180.7	875.7	6781.8964	16035.536	57846.35

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sqrt{[x^2 - (\sum x)^2][y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r = 0.810616$$

Cuadro 18 A. Coeficiente de Correlación de K entre rendimiento relativo y la extracción de Mehlich I

N	Mehlich i K x	rend rel K y	x ²	xy	Y ²
1	180	109	32400.00	19620.00	11881
2	275	95	75625.00	26125.00	9025
3	377.5	114	142506.25	43035.00	12996
4	277.5	103	77006.25	28582.50	10609
5	0	101	0.00	0.00	10201
6	317.5	93	100806.25	29527.50	8649
7	290	123	84100.00	35670.00	15129
8	252.5	93	63756.25	23482.50	8649
9	235	124	55225.00	29140.00	15376
10	177.5	108	31506.25	19170.00	11664
11	127.5	114	16256.25	14535.00	12996
12	350	98	122500.00	34300.00	9604
13	377.5	121	142506.25	45677.50	14641
14	252.5	109	63756.25	27522.50	11881
15	50	99	2500.00	4950.00	9801
16	130	89	16900.00	11570.00	7921
17	312.5	87	97656.25	27187.50	7569
18	315	98	99225.00	30870.00	9604
19	87.5	89	7656.25	7787.50	7921
20	192.5	91	37056.25	17517.50	8281
Sumas	4577.5	2058	1268943.75	476270	214398

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sqrt{[x^2 - (\sum x)^2][y^2 - (\sum y)^2]}}$$

r = 0.217443

Cuadro 19 A. Coeficiente de Correlación de K entre rendimiento relativo y la extracción Olsen

N	Olsen K x	rend rel K y	x ²	xy	Y ²
1	730	109	532900.00	79570.00	11881
2	1140	95	1299600.00	108300.00	9025
3	1530	114	2340900.00	174420.00	12996
4	1170	103	1368900.00	120510.00	10609
5	1120	101	1254400.00	113120.00	10201
6	1340	93	1795600.00	124620.00	8649
7	1260	123	1587600.00	154980.00	15129
8	1020	93	1040400.00	94860.00	8649
9	970	124	940900.00	120280.00	15376
10	690	108	476100.00	74520.00	11664
11	660	114	435600.00	75240.00	12996
12	1570	98	2464900.00	153860.00	9604
13	1560	121	2433600.00	188760.00	14641
14	1050	109	1102500.00	114450.00	11881
15	390	99	152100.00	38610.00	9801
16	740	89	547600.00	65860.00	7921
17	1340	87	1795600.00	116580.00	7569
18	1460	98	2131600.00	143080.00	9604
19	660	89	435600.00	58740.00	7921
20	960	91	921600.00	87360.00	8281
Sumas	21360	2058	25058000	2207720	214398

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sqrt{[x^2 - (\sum x)^2][y^2 - (\sum y)^2]}}$$

r = 0.217443

Cuadro 20A. Coeficiente de Correlación entre K y rendimiento relativo con la solución Bray

N	Bray I K x	Rend rel K y	x ²	xy	Y ²
1	175	109	30625.00	19075.00	11881
2	315	95	99225.00	29925.00	9025
3	555	114	308025.00	63270.00	12996
4	240	103	57600.00	24720.00	10609
5	790	101	624100.00	79790.00	10201
6	455	93	207025.00	42315.00	8649
7	530	123	280900.00	65190.00	15129
8	490	93	240100.00	45570.00	8649
9	220	124	48400.00	27280.00	15376
10	390	108	152100.00	42120.00	11664
11	25	114	625.00	2850.00	12996
12	340	98	115600.00	33320.00	9604
13	530	121	280900.00	64130.00	14641
14	275	109	75625.00	29975.00	11881
15	50	99	2500.00	4950.00	9801
16	145	89	21025.00	12905.00	7921
17	415	87	172225.00	36105.00	7569
18	515	98	265225.00	50470.00	9604
19	100	89	10000.00	8900.00	7921
20	240	91	57600.00	21840.00	8281
Sumas	6795	2058	3049425	704700	214398

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sqrt{[x^2 - (\sum x)^2] [y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r = 0.217443$$

Cuadro 21A. Coeficiente de Correlación de K entre rendimiento relativo y la extracción Mehlich III

N	Bray I K x	rend rel K y	x ²	xy	Y ²
1	225	109	50625	24525.00	11881.00
2	378	95	142884	35910.00	9025.00
3	620	114	384400	70680.00	12996.00
4	355	103	126025	36565.00	10609.00
5	885	101	783225	89385.00	10201.00
6	415	93	172225	38595.00	8649.00
7	385	123	148225	47355.00	15129.00
8	278	93	77284	25854.00	8649.00
9	273	124	74529	33852.00	15376.00
10	155	108	24025	16740.00	11664.00
11	145	114	21025	16530.00	12996.00
12	590	98	348100	57820.00	9604.00
13	560	121	313600	67760.00	14641.00
14	315	109	99225	34335.00	11881.00
15	58	99	3364	5742.00	9801.00
16	188	89	35344	16732.00	7921.00
17	400	87	160000	34800.00	7569.00
18	540	98	291600	52920.00	9604.00
19	135	89	18225	12015.00	7921.00
20	305	91	93025	27755.00	8281.00
Suma	7205	2058	3366925	745870	214398

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sqrt{[x^2 - (\sum x)^2] [y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r = 0.09937$$



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "DETERMINACION DE NIVELES CRITICOS PARA FOSFORO Y POTASIO,
CON CUATRO SOLUCIONES EXTRACTORAS, A NIVEL DE INVERNADERO,
EN SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DEL SUR DE GUATEMALA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: EDGAR ROLANDO YOOL ROSALES

CARNET No: 8515349

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Víctor Manuel Alvarez Cajas
Ing. Agr. Edgar Martínez Tambito
Ing. Agr. Ervin Maxdelio Herrera de León
Ing. Agr. Iván Dimitri Santos Castillo

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

Ing. Agr. M.Sc. José Jesús Chonay Pantzay
ASESOR

Inga. Agr. Ana Celena Carías Sánchez
ASESORA

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
DECANO



cc:Control Académico
IIA.
Archivo
AO/prr.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.
TEL/FAX (502) 476-9794
e-mail: llusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>