

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

DETERMINACIÓN DEL NIVEL CRÍTICO DE FÓSFORO Y POTASIO DE LOS SUELOS DE LA FRANJA TRANSVERSAL CON LA METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN POR RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO A NIVEL DE INVERNADERO, DIAGNOSTICO Y SERVICIOS EN NATURALAB, EN FINCA YALCOBÉ, NATURACEITES S.A, FRAY BARTOLOMÉ DE LA CASAS, ALTA VERAPAZ.

**JOSÉ ADOLFO ROLDÁN VÁSQUEZ**

GUATEMALA, JULIO DE 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

DETERMINACIÓN DEL NIVEL CRÍTICO DE FÓSFORO Y POTASIO DE LOS SUELOS DE LA FRANJA TRANSVERSAL CON LA METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN POR RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO A NIVEL DE INVERNADERO, DIAGNOSTICO Y SERVICIOS EN NATURALAB, EN FINCA YALCOBÉ, NATURACEITES S.A, FRAY BARTOLOMÉ DE LA CASAS, ALTA VERAPAZ.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JOSÉ ADOLFO ROLDÁN VÁSQUEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, JULIO DE 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO

VOCAL PRIMERO

VOCAL SEGUNDO

VOCAL TERCERO

VOCAL CUARTO

VOCAL QUINTO

SECRETARIO

Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López

Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara

Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras

Ing. Agr. M.Sc. Eberto Raúl Alfaro Ortiz

B. Industrial Milton Juan José Caní Aguilar

MEH. Ruth Raquel Curruchich Cúmez

Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón.

Guatemala, julio de 2016



Guatemala julio de 2016

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

Honorables 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 vuestra consideración, el trabajo de Graduación realizado en Finca Yalcobé, NaturAceites S.A, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

José Adolfo Roldán Vásquez





## ACTO QUE DEDICO

**A:**

**DIOS:** Todo poderoso, quien me dio el privilegio de la vida, y por permitirme alcanzar una meta más, dándome sabiduría, entendimiento, fortaleza y bendiciones, siendo siempre luz y guía en mi camino.

**MIS PADRES:** Gustavo Adolfo Roldán Morales y Juana de Jesús Vásquez de Roldán con todo mi amor y respeto, por estar siempre a mi lado apoyándome en todo momento, siendo guías en mi camino y brindarme su amor, doy gracias a Dios por haberme brindado unos padres tan amorosos.

**MIS ABUELOS:** José Mercedes Roldán (+), María Elena Morales de Roldán (+), Daniel Vásquez Yol (+), María del Carmen Parada de Vásquez, por su paciencia y enseñanzas impartidas a través de mis padres.

**MI HERMANA:** Luz Elena Roldán Vasquez, por su apoyo incondicional y cariño mostrado en todo momento.

**MIS FAMILIARES:** Tíos, primos, sobrinos a todos y cada uno ustedes por su apoyo incondicional, y muestras de solidaridad y afecto, que me permitieron seguir adelante y culminar una meta más en mi vida.

**MIS AMIGOS:** A todos y cada uno de ustedes por brindarme su amistad y apoyo incondicional y compartir tantos gratos momentos que serán un recuerdo de las experiencias vividas, en especial a María Antonieta Argueta, Ludwing Escobar, Maco Juarez y Bruno Revolorio, por ser más que amigos y apoyarme en todo momento y a su vez compartir y llevar a cabo el sueño de ser Ingenieros Agrónomos.



## TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

- Dios
- Guatemala, país de la eterna primavera que me vio crecer
- La Escuela Nacional Central de Agricultura, alma mater que me formo como profesional y permitió obtener conocimiento sobre el ámbito de la Agronomía.
- La Universidad de San Carlos de Guatemala, alma mater que abrió sus puertas para brindarme educación de alta calidad y amistades inolvidables.
- La Facultad de Agronomía, unidad académica que me permitió vivir y experimentar las experiencias fundamentales para el buen desarrollo profesional de la carrera.
- Mis padres, por darme la oportunidad de alcanzar esta meta, la confianza depositada en mí y el apoyo incondicional que me brindaron siempre.



## **AGRADECIMIENTOS**

**A:**

Mis padres: Por todo su amor y apoyo incondicional en cada etapa y momento de mi vida.

Mis amigos: Ludwing Escobar y María Antonieta Argueta, por tantos años de amistad y apoyo incondicional, y tantos momentos compartidos que son gratos recuerdos guardados en mi corazón.

Dr. Marco Vinicio, gracias por el asesoramiento brindado durante la ejecución del ejercicio profesional supervisado, EPS y apoyo después del mismo.

Dr. Anibal Sacbaja, por el asesoramiento brindado en la planificación, ejecución y elaboración de la investigación.

A NaturAceites, empresa que abrió sus puertas para que realizara el ejercicio profesional supervisado.

Al personal del laboratorio NaturAlab, les agradezco por compartir durante el tiempo de EPS, y brindarme su amistad y apoyo incondicional en todo momento.



## ÍNDICE GENERAL

	Página
CAPITULO I.....	1
1.1 PRESENTACIÓN .....	2
1.2 MARCO REFERENCIAL .....	3
1.2.1 Localización y Delimitación .....	3
1.2.2 Superficie Geográfica.....	3
1.2.3 Vías de acceso: .....	3
1.2.4 Clima.....	4
1.2.5 Uso Actual del Suelo.....	4
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 General .....	4
1.3.2 Específicos.....	4
1.4 METODOLOGÍA.....	5
1.4.1 Fase de Gabinete inicial.....	5
1.4.2 Descripción de procedimientos .....	5
1.4.3 Identificación de problemas .....	5
1.4.4 Jerarquización de problemas .....	5
1.5 RESULTADOS .....	5
1.5.1 Descripción de Procedimientos generales en el análisis químico de suelo y tejido vegetal .....	5
1.5.2 Identificación de problemas internos.....	11
1.5.3 Jerarquización de Problemas.....	14
1.6 CONCLUSIONES .....	16
1.7 BIBLIOGRAFÍA.....	17
CAPITULO II.....	18
2.1 INTRODUCCIÓN.....	19
2.2 MARCO TEÓRICO .....	21
2.2.1 MARCO CONCEPTUAL .....	21
2.2.2 MARCO REFERENCIAL.....	28
2.3 HIPÓTESIS.....	35
2.4 OBJETIVOS.....	36
2.4.1 General .....	36
2.4.2 Específicos.....	36
2.5 METODOLOGÍA.....	37

	Página
2.5.1 Selección de los puntos de muestreo y suelos seleccionados.....	37
2.5.2 Toma de las muestras de suelo .....	39
2.5.3 Preparación de las muestras de suelo.....	39
2.5.4 Estudio de sorción .....	40
2.5.5 Extracción por resinas de intercambio iónico.....	41
2.5.6 Metodología experimental.....	42
2.5.7 Manejo agronómico.....	44
2.5.8 Análisis de la información .....	45
2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
2.6.1 Determinación de la correlación y nivel crítico para el elemento fósforo .....	52
2.6.2 Determinación de la correlación y nivel crítico para el elemento potasio.....	56
2.6.3 Determinación de los niveles críticos utilizando la solución extractora Mehlich III.....	57
2.6.4 Correlación de los métodos de análisis químico.....	59
2.7 CONCLUSIONES .....	61
2.8 RECOMENDACIONES.....	62
2.9 BIBLIOGRAFÍA.....	63
2.10 ANEXOS.....	65
CAPITULO III.....	72
3.1 PRESENTACIÓN .....	73
3.2 ÁREA DE INFLUENCIA.....	74
3.3 OBJETIVO GENERAL.....	74
3.4 SERVICIOS PRESTADOS .....	75
3.4.1 Sistematización y cuantificación del uso y disponibilidad de reactivos, cristalería y equipo utilizado en el laboratorio NaturAlab. ....	75
3.4.2 Optimización del proceso de secado de las muestras de suelo y tejido vegetal que ingresan en el laboratorio NaturAlab. ....	80
3.4.3 Colaboración y elaboración de instructivos de procedimientos para el análisis de suelo por resinas de intercambio iónico. ....	83
3.5 Conclusiones .....	87
3.6 Recomendaciones .....	87
3.7 Bibliografía:.....	88



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Croquis de vista de planta del laboratorio.....	6
Figura 2: Relación existente entre rendimiento y contenido de nutriente en el suelo. ....	26
Figura 3: Relación existente entre rendimiento relativo y cantidad de nutrientes. ....	26
Figura 4: Determinación del nivel crítico del suelo, según Cate y Nelson .....	28
Figura 5. Mapa de órdenes de suelo del país de Guatemala, según la aproximación del estudio realizado por Simmons. ....	34
Figura 6: Correlación del fosforo con resina de intercambio iónico y el RR de sorgo.....	53
Figura 7: Gráfico de Cate y Nelson para determinar el nivel crítico de fósforo.....	54
Figura 8. Nivel crítico de potasio de los suelos investigados para la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico. ....	56
Figura 9: Gráfico de Cate y Nelson para determinar el nivel crítico de fósforo para la solución extractora Mehlich III. ....	58
Figura 10: Gráfico de Cate y Nelson para determinar el nivel crítico de potasio para la solución extractora Mehlich III. ....	58
Figura 11: Correlación de resultados de análisis químico con dos diferentes métodos de análisis para el elemento fósforo. ....	59
Figura 12: Correlación de resultados de análisis químico con dos diferentes métodos de análisis para el elemento potasio.....	60
Figura 13A. Toma de muestras de suelo.....	70
Figura 14 A. Secado de las muestras de suelo. ....	70
Figura 15A. Identificación y de unidades experimentales.....	71
Figura 16A. Desarrollo del cultivo en las diversas unidades experimentales a los treinta días luego de la siembra.....	71
Figura 17: Hoja electrónica, control de reactivos utilizados en el análisis rutinario. ....	78
Figura 18: Hoja electrónica, control de reactivos utilizados en el análisis eventuales.....	78
Figura 19: Hoja electrónica, control de insumos varios utilizados en el laboratorio.....	79
Figura 20: Muestras de suelo secándose al aire y deshumidificadores instalados.....	82
Figura 21: Muestras de tejido vegetal secadas en hornos convencionales. ....	82
Figura 22 Equipo de preparación de resinas de intercambio iónico. ....	84
Figura 23 Preparación de muestras de suelo para determinación de Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio. ....	85
Figura 24: Agitación de muestras en agitador de potencia orbital. ....	85
Figura 25: Filtrado de la solución para la determinación de Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio por espectrofometria de absorción atómica ICP.....	86

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Matriz de priorización de problemas .....	14
Cuadro 2: Jerarquización de problemas .....	15
Cuadro 3. Rangos de contenido de elementos tomados como referencia para la selección de suelos. ....	37
Cuadro 4. Procedencia de los suelos considerados en la evaluación y niveles de fósforo y potasio a una profundidad de 0-20 cm para el año 2014. ....	38
Cuadro 5: Tratamientos aplicados en el estudio de sorción .....	40
Cuadro 6. Descripción de los tratamientos aplicados, definidos en base al estudio de sorción. ....	47
Cuadro 7. Rendimiento relativo de sorgo y contenido de fósforo en ppm obtenido con la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico. ....	49
Cuadro 8. Rendimiento relativo de sorgo y contenido de potasio en $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ obtenido con la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico. .	51
Cuadro 9. Procedencia y niveles de fósforo, calcio y $\text{p}^{\text{H}}$ de suelos que presentaron un comportamiento anormal en la prueba de invernadero. ....	55
Cuadro 10A. Cuadro de niveles críticos en la producción de palma aceitera ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.), utilizados en la empresa NaturAceites S.A. ....	65
Cuadro 11A. Descripción de los tratamientos aplicados en la investigación. ....	66
Cuadro 12A. Croquis de campo de la investigación .....	69
Cuadro 13: Cantidades mínimas de reactivos necesarios para realizar análisis de rutina a 2000 muestras mensuales. ....	77

## RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación se realizó como parte del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía -EPSA- en el periodo comprendido de febrero a noviembre de 2014; en el laboratorio de análisis químico de suelos y foliares NaturAlab, ubicado en el municipio de Fray Bartolomé de Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala, C. A.

En el Capítulo I, se presenta el diagnóstico del proceso de análisis de suelo y foliares del laboratorio NaturAlab, finca Yalcobé, NaturAceites. El mismo contempló la recopilación de todas y cada una de las áreas con las que cuenta, como la descripción de las diversas actividades que se llevan a cabo en cada una de las áreas. Para identificar que problemas se presentaban, se realizó un árbol de problemas, así como también se realizó una jerarquización de los problemas encontrados, determinando de este modo que era necesario establecer un control mediante alarmas de la disponibilidad de los reactivos, y a su vez se encontró la necesidad de reforzar el área de extracción por resinas de intercambio iónico, resultando de este modo la implementación de una investigación para obtener el nivel crítico de fosforo y potasio para dicha metodología.

En el Capítulo II se presenta el trabajo de investigación, en el cual, mediante el método grafico de Cate y Nelson y la prueba biológica bajo invernadero, se logró determinar el comportamiento que presentaba el desarrollo del cultivo indicador en suelos cultivados con palma africana (*Eleais guinneensis jacq*), provenientes de la Franja Transversal del Norte, San Luis Peten y del valle del Polochic, áreas en las cuales se encuentra establecidos los cultivos de palma pertenecientes a la empresa NaturAceites. Para su efecto se establecieron unidades experimentales que constaban de un recipiente con capacidad de 500 gramos de suelo y cinco plantas de sorgo que, en la investigación fue establecido como cultivo indicador, realizando para su distribución el modelo estadístico completamente al azar, al cual se le dio manejo agronómico durante un periodo de cuarenta días, realizando la aplicación de tratamientos en base al estudio de sorción.

Los resultados que se obtuvieron de la prueba biológica mostraron un comportamiento en el cual, los rendimientos relativos bajos correspondieron a niveles bajos de concentración de nutrientes en el suelo, obteniendo de este modo para el elemento fósforo un coeficiente de correlación lineal ( $R^2$ ) de 0.5199; valor que permitió mediante el método gráfico propuesto por Cate y Nelson, determinar la primera aproximación de nivel crítico para la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, situándose en 28 ppm para el elemento fósforo, en relación al elemento potasio, se encontró un  $R^2$  de 0.0098, lo cual indica que no se muestra un comportamiento lineal de los rendimientos alcanzados con diversos contenidos de dicho elemento, sin embargo dicho comportamiento puede deberse a que, los rangos de contenidos del elemento potasio en los suelos evaluados no fue amplio, siendo este entre  $1 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$  hasta  $1.16 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$ , debido a lo anterior se dice que el nivel crítico para potasio puede estar situado por debajo del  $0.08 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$ .

Debido a que se contaba con la información de los análisis químicos de las muestras de suelo consideradas en la investigación utilizando la solución extractora Mehlich III, se realizó una correlación entre ambos métodos de análisis, dando como resultado para el elemento fósforo un valor de  $R^2$  de 0.533 y para el elemento potasio dio como resultado un valor de  $R^2$  de 0.5644, indicando dichos valores que existen diferencias entre ambos métodos de análisis, puesto que no presentaron valores  $R^2$  cercanos a 1.

En el Capítulo III, se muestran los servicios prestados a NaturAlab, durante la ejecución del -EPS-, contribuyendo con los mismos en optimizar el control del inventario de los reactivos utilizados en el análisis diario de suelo y foliares, promoviendo de este modo que los reactivos no sean una limitante en el proceso diario de trabajo del laboratorio, así mismo se contribuyó con la realización de diversos análisis de muestras de suelo haciendo uso de la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico puesto que este procedimiento por ser un análisis de reciente implementación no contaba con un analista encargado de su realización, por último se encuentra la importancia del secado de las muestras de suelos, puesto que en muchas ocasiones es este proceso causaba atrasos en el laboratorio, instalando para este fin eliminadores de humedad, que promueven un secado uniforme y de manera más rápida de las muestras de suelo.



**CAPITULO I**

**DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE SUELO Y FOLIARES DEL LABORATORIO NATURALAB, FINCA YALCOBÉ, NATURACEITES.**

## 1.1 PRESENTACIÓN

En el cultivo de palma africana como en otros cultivos es necesario realizar un análisis de suelo para poder estimar de forma general el estado de fertilidad actual del suelo; NaturAceites cuenta con un laboratorio de análisis de suelo y foliares dentro del Departamento Técnico Agrícola cuyo objetivo principal es realizar el análisis de la muestras de suelo y foliares de cada una de las fincas en las cuales se encuentra la producción de palma africana.

El diagnóstico se realizó en los meses febrero y marzo del año 2014, dentro de las instalaciones del laboratorio NaturAlab, ubicado en finca Yalcobé. Inicialmente se observó que el uso actual del suelo en dicha finca es con el cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis Jacq*), así mismo se logró observar que la división actual del Departamento Técnico Agrícola de la empresa NaturAceites, está conformada por tres áreas principales las cuales son: el área de Sistemas de Información Geográfica (SIG), el área de Investigación Agrícola y el Laboratorio de análisis de suelo y foliares NaturAlab.

La función que el laboratorio de análisis de suelos y foliares NaturAlab, realiza es principalmente el análisis e interpretación de los componentes químicos del suelo y tejido vegetal. Los procedimientos van desde una adecuada recepción y preparación de las muestras hasta la obtención e interpretación del resultado del análisis químico de suelo y tejido vegetal, en cada proceso se conllevan diversas actividades las cuales se encuentran descritas de manera general en el presente diagnóstico.

El diagnóstico se llevó a cabo en tres fases, la primera fase consistió en la búsqueda de información bibliográfica, en la segunda fase se obtuvieron los resultados, en base a la metodología planteada en el plan de diagnóstico, la tercera fase consistió en la elaboración del presente informe en el cual se detallan a lo largo del mismo toda la información recolectada, los procesos generales que son llevados, los problemas encontrados y la jerarquización de los mismos.

## **1.2 MARCO REFERENCIAL**

### **1.2.1 Localización y Delimitación**

La finca Yalcobé, NaturAceites se encuentra ubicada en el municipio de Fray Bartolomé de las casas, Alta Verapaz, Guatemala el cual se encuentra localizado a 15°50´44" latitud Norte y 89°51´57" longitud Oeste a una altura de 146.34 msnm.

### **1.2.2 Superficie Geográfica**

De acuerdo con los datos del sistema de información Geográfica de NaturAceites, la finca Yalcobé posee una superficie total de 633.9 ha de extensión.

### **1.2.3 Vías de acceso:**

El recorrido para poder ingresar a la finca Yalcobé, NaturAceites, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz dirigiéndose desde la ciudad capital de Guatemala puede ser por dos vías, una de ellas es por la ruta que conduce a Cobán con un promedio de 4 horas y media de viaje utilizando el transporte monja blanca, luego de Cobán a Fray Bartolomé de las Casas atravesando las poblaciones Chisec y Raxruhá con microbuses que se dirigen de Cobán a Fray Bartolomé de las Casas, el recorrido total es de 325 km de la ciudad capital con un promedio de 7 horas y media de viaje.

Otra vía de acceso es por la Franja Transversal del norte dirigiéndose de la ciudad Capital a Rio Dulce, Cadenas, Chahal, Fray Bartolomé de las Casas, para ingresar a la finca Yalcobé, el tiempo promedio desde Fray Bartolomé de las Casas es de 10 minutos, estando el ingreso a la finca sobre la franja transversal del norte.

#### **1.2.4 Clima**

De acuerdo con (Barrera, 2006), el clima que predomina en la región es cálido húmedo, marcándose dos épocas, la época seca en los meses de marzo a mayo y la época lluviosa el resto del año, la temperatura promedio percibida en el municipio es de 25 grados Celsius, la máxima extrema de 38 °C y la mínima extrema de 14 °C.

#### **1.2.5 Uso Actual del Suelo**

Debido a las condiciones climáticas predominantes en la finca Yalcobé, el uso actual del suelo es con cultivo de palma africana.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 General**

Conocer los procesos del análisis de suelo y foliares del laboratorio NaturAlab, finca Yalcobé, NaturAceites, para identificar los problemas internos que puedan limitar la eficiencia del laboratorio.

#### **1.3.2 Específicos**

- ✓ Describir los procedimientos que conllevan los análisis químicos de suelo y foliares.
- ✓ Identificar los problemas que se encuentran dentro del laboratorio análisis de suelo y foliares, NaturAlab, NaturAceites.
- ✓ Jerarquizar los problemas internos encontrados en los procesos del análisis de suelo y foliares del laboratorio NaturAlab.



## **1.4 METODOLOGÍA**

### **1.4.1 Fase de Gabinete inicial**

Revisión bibliográfica que permitió tener un conocimiento teórico de los diversos métodos que son utilizados en laboratorios de análisis químico de suelo y tejido vegetal.

### **1.4.2 Descripción de procedimientos**

Revisión de protocolos seguidos en el laboratorio de análisis de suelo y foliares NaturAlab, para cada uno de los procedimientos del análisis sujetos al mismo y comparación con otros protocolos establecidos en laboratorios de suelo ajenos.

### **1.4.3 Identificación de problemas**

Utilización de la técnica del árbol de problemas, para identificar las causas y efectos que presentan los problemas internos de los procesos que son llevados a cabo en el análisis de muestras de suelo y foliares.

### **1.4.4 Jerarquización de problemas**

Realización de una matriz de problemas, con el objetivo de lograr jerarquizar los problemas en un orden descendente.

## **1.5 RESULTADOS**

### **1.5.1 Descripción de Procedimientos generales en el análisis químico de suelo y tejido vegetal**

El análisis de suelo y foliares que es llevado a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio de análisis de suelos NaturAlab, NaturAceites, conlleva diversos procedimientos que involucran desde la adecuada recepción de muestras hasta el análisis

químico de suelos por espectrofometría, en términos generales el laboratorio se divide en las siguientes áreas:

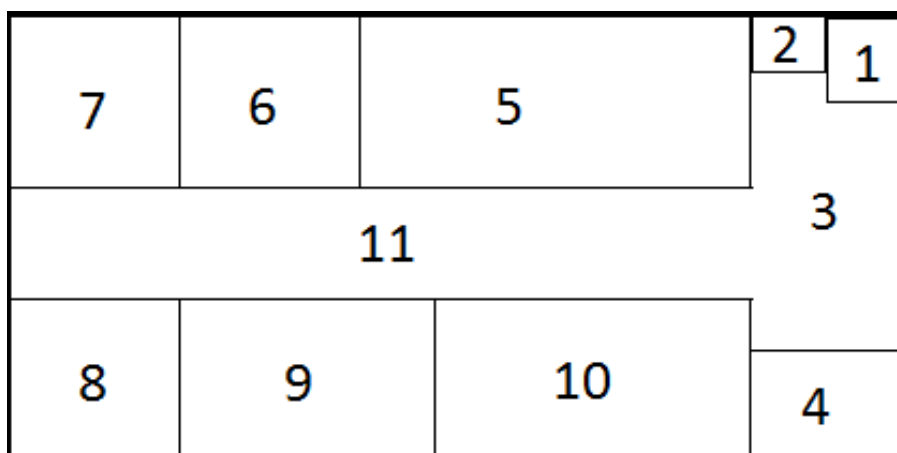
- Recepción
- Molido secado y tamizado de muestras
- Preparación de Foliares
- Análisis de nitrógeno
- Espectrofometría
- Extracción de resinas
- Lavado de cristalería

En cada una de las áreas mencionadas con anterioridad se realizan diversos procedimientos, los cuales influyen directamente en el funcionamiento óptimo del laboratorio, debido a que una de las finalidades del presente diagnóstico es describir el procedimiento que conlleva el análisis de muestras dentro del laboratorio, inicialmente se realizó un reconocimiento del área obteniendo el siguiente resultado:

#### A. Reconocimiento de las diversas áreas dentro del laboratorio:

Durante este proceso, se logró identificar que el laboratorio se encuentra dividido en siete áreas principales, de las cuales únicamente el área de recepción se encuentra subdividida, como resultado de este procedimiento se presenta un croquis de vista de planta del laboratorio en la figura 1, en la cual cada área está identificada con una numeración la cual corresponde al siguiente listado:

1. Sanitarios
2. Bodega
3. Recepción
4. Oficina
5. Lavado de Cristalería
6. Extracción de resinas
7. Espectrofometría
8. Análisis de nitrógeno
9. Preparación de Foliares
10. Molido secado y tamizado de muestras
11. Pasillo



**Figura 1:** Croquis de vista de planta del laboratorio

Posteriormente al reconocimiento efectuado, se procedió a identificar las actividades que son llevadas dentro de cada una de las áreas en las cuales se divide el laboratorio, para ello se realizó una revisión de los protocolos establecidos para el análisis de las muestras así como también una verificación de dichos procesos mediante la observación obteniendo el siguiente resultado

### **B. Área de recepción:**

Las actividades que son llevadas a cabo en esta área se basan principalmente en la recepción, tanto de personas que visitan el laboratorio como también las muestras de suelo y tejido vegetal que son llevadas para su análisis, a su vez como se muestra en la figura 1 esta área se encuentra dividida puesto que en la misma se encuentra la oficina del laboratorio así como también una bodega y los servicios sanitarios.

Al momento de recibir la muestra, esta se encuentra identificada según la región de la que provenga, puesto que el laboratorio analiza muestras de suelo y tejido vegetal de las tres regiones que posee en producción actualmente NaturAceites, siendo estas la Franja transversal de norte, San Luis peten y el Polochic, así como también incluye en su identificación el año del análisis, y el lote del cual provenga

### **C. Área de secado, molido y tamizado de muestras.**

Posteriormente a la recepción, las muestras son llevadas al área de secado, molido y tamizado, en la cual las muestras pasan por un proceso de preparación, para su posterior análisis dentro del laboratorio, el manejo que se les da a las muestras varía de acuerdo si estas son de suelo o de tejido vegetal, por lo cual se describe a continuación el manejo dado para cada una de las muestras que ingresan dentro del laboratorio.

### **a. Manejo de Muestras de Suelo**

Al momento de ingresar la muestra de suelo esta es secada en un horno convencional, a una temperatura de 45 °C, por un tiempo aproximado de 12 horas, esto con el fin de lograr un peso constante para poder realizar los análisis en base a suelo seco, el secado a dicha temperatura es debido a que, con una temperatura de 45 °C no existen riesgos que la muestra de suelo sufra desnaturalización y por ende se asegura que los resultados reportados de los análisis son correctos.

Posteriormente al secado de las muestras estas pasan al proceso de preparación para análisis, este proceso consiste en el tamizado y de ser necesario el molido de la muestra de suelo, el tamiz que es utilizado es un tamiz número 10, esto asegura que en la muestra a analizar se encuentren presenten las tres partículas que conforman el suelo, siendo estas arenas, limos y arcillas, durante todo este procedimiento se realiza una limpieza del equipo utilizado, esto con la finalidad de evitar la contaminación de la muestra, dicha limpieza se realiza por medio de un sopleteado con aire comprimido, por lo cual las actividades descritas con anterioridad se realizan dentro de una cámara de extracción de gases, asegurando de este modo que las partículas de polvo que se encuentran en el aire sean extraídas, logrando así que el riesgo de contaminación sea nulo o bajo.

Una vez que la muestra haya sido molida y tamizada, es colocada en cajas de cartón, en la cual es almacenada dentro del área de secado, molido y tamizado, puesto que a dicha caja se le asigna un código numérico, el cual corresponde al número de laboratorio, es decir el número de muestra correspondiente de ingreso al laboratorio durante el periodo de tiempo actual, dicho periodo corresponde a un año, en este caso para el año 2014.

### **b. Manejo de Muestras de Tejido Vegetal**

El manejo que se le da a las muestras de tejido vegetal en esta área es similar al manejo de las muestras de suelo, la muestra ingresa al laboratorio es secada en un horno convencional a una temperatura de 65 °C, por un tiempo aproximado de 24 horas,

posteriormente se realiza el molido de las muestras siguiendo el procedimiento del molido de suelo.

Posteriormente al molido las muestras son colocada en recipientes plásticos completamente limpios lo cual permite que no existan riesgos de contaminación, al igual que con la muestra de suelo, a los recipientes de plástico identificando el mismo con un código numérico que corresponde al número de laboratorio para el periodo de tiempo de un año determinado, en este caso el año 2014.

#### **D. Área de lavado de cristalería**

Como su nombre lo indica en esta área se lava toda la cristalería utilizada dentro del laboratorio, dicho lavado de cristalería permite tener seguridad que las muestras analizadas no presenten riesgos de contaminación puesto que los residuos de la misma son desechados y la cristalería queda completamente limpia.

A su vez en dicha área son llevados, otros procedimientos que permiten el adecuado análisis de las muestras que ingresan al laboratorio como lo es: preparación de muestras de suelo para espectrofometría utilizando la solución extractora de Mehlich 3, análisis de materia orgánica, análisis de pH y acidez y aluminio.

#### **E. Área de preparación de foliares.**

Dentro de esta área se prepara las muestras de tejido vegetal para su posterior lectura en el área de espectrofometria, para ello se realiza la mezcla de 0.5 gramos de la muestra de tejido vegetal y 5 mililitros de ácido nítrico, dicha mezcla se realiza en un balón de aforo de 50 mililitros, posteriormente a ello los balones son introducidos en un microondas por un lapso de tiempo de 35 minutos, permitiendo de este modo que los nutrientes contenidos en el tejido vegetal se disuelvan en la solución, posteriormente se afora el balón con agua desmineralizada y la muestra es pasada a recipientes plásticos para ser agitados y posteriormente analizados en el área de espectrofometria.

## **F. Área de Análisis de Nitrógeno**

Dentro de esta área se realizan varios procedimientos, el principal procedimiento es el análisis de nitrógeno, para ello se toma una muestra de aproximadamente 2 miligramos de tejido vegetal pesada en una balanza de ultra precisión, posteriormente a la toma de la muestra se introduce dentro de la máquina de análisis de nitrógeno, la cual mediante un procedimiento complejo con flujo de oxígeno, y helio permite la determinación del nitrógeno dentro de la muestra vegetal, digitando el resultando directamente en una computadora.

Otro proceso que se realiza dentro del área consiste en el pesado de la muestra de suelo para su análisis en una balanza semianalitica, presente en dicha área, a su vez también se incluye dentro del área el control de calidad de los procedimientos que son llevados a cabo en el laboratorio.

## **G. Área de Espectrofometría.**

Dentro de esta área se realiza el análisis químico de las muestras de suelo y tejido vegetal del laboratorio, para ello se utiliza un espectrofotómetro, el cual utiliza como medio principal el argón llevado al estado de plasma, y nebulizando las muestras líquidas de suelo y foliares, en si es en esta área que se reporta el resultado definitivo del análisis químico de suelos y tejido vegetal del laboratorio NaturAlab.

## **H. Área de Extracción por resinas.**

Esta área fue implementada recientemente con la finalidad de aplicar el análisis por medio de la utilización de resinas de intercambio iónico para mejorar la eficiencia en la determinación de fósforo y potasio disponible para la planta, puesto que son dichos elementos lo que presentan mayor dificultad para su extracción y determinación mediante el análisis, químico de suelos, por lo cual el laboratorio busca lograr emplear esta

metodología para tener un mejor análisis del fósforo y potasio que se encuentra disponible en el suelo para la planta.

Salisbury, S y Christensen, N. (2001) Indica que la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico es uno de los métodos más prometedores para estimar la disponibilidad de nutrientes del suelo, puesto que esta metodología, permite eliminar los problemas inherentes a la extracción química de los elementos en una muestra de suelos.

Palma, G. (1970), indica que las resinas de intercambio iónico consisten en celdas estructurales hidrocarbonadas que constituyen una matriz donde van unidos tanto los grupos ácidos como los básicos, en si una partícula de la resina es prácticamente una macromolécula de sus componentes básicos, los factores que influyen en la tasa de cambio son la naturaleza de la resina, el tamaño y la concentración de los iones que van a ser intercambiados.

## **I. Comparación con otros protocolos de análisis ajenos**

En términos generales las metodologías utilizadas para el análisis de suelo y foliares dentro del laboratorio NaturAlab, NaturAceites, no difieren con diferentes protocolos establecidos en otros laboratorios de análisis, puesto que los procedimientos de preparación de soluciones, han sido globalizadas por lo cual siguen el mismo patrón en los diversos laboratorios, sin embargo a pesar de la globalización de procedimientos se puede decir que las diferencias entre los diversos laboratorios se basa en el manejo de las muestras y en el tipo de equipo que utiliza en el análisis, puesto que actualmente el laboratorio NaturAlab, posee equipos sofisticados, permitiendo que se obtengan resultados confiables y exactos.

### **1.5.2 Identificación de problemas internos**

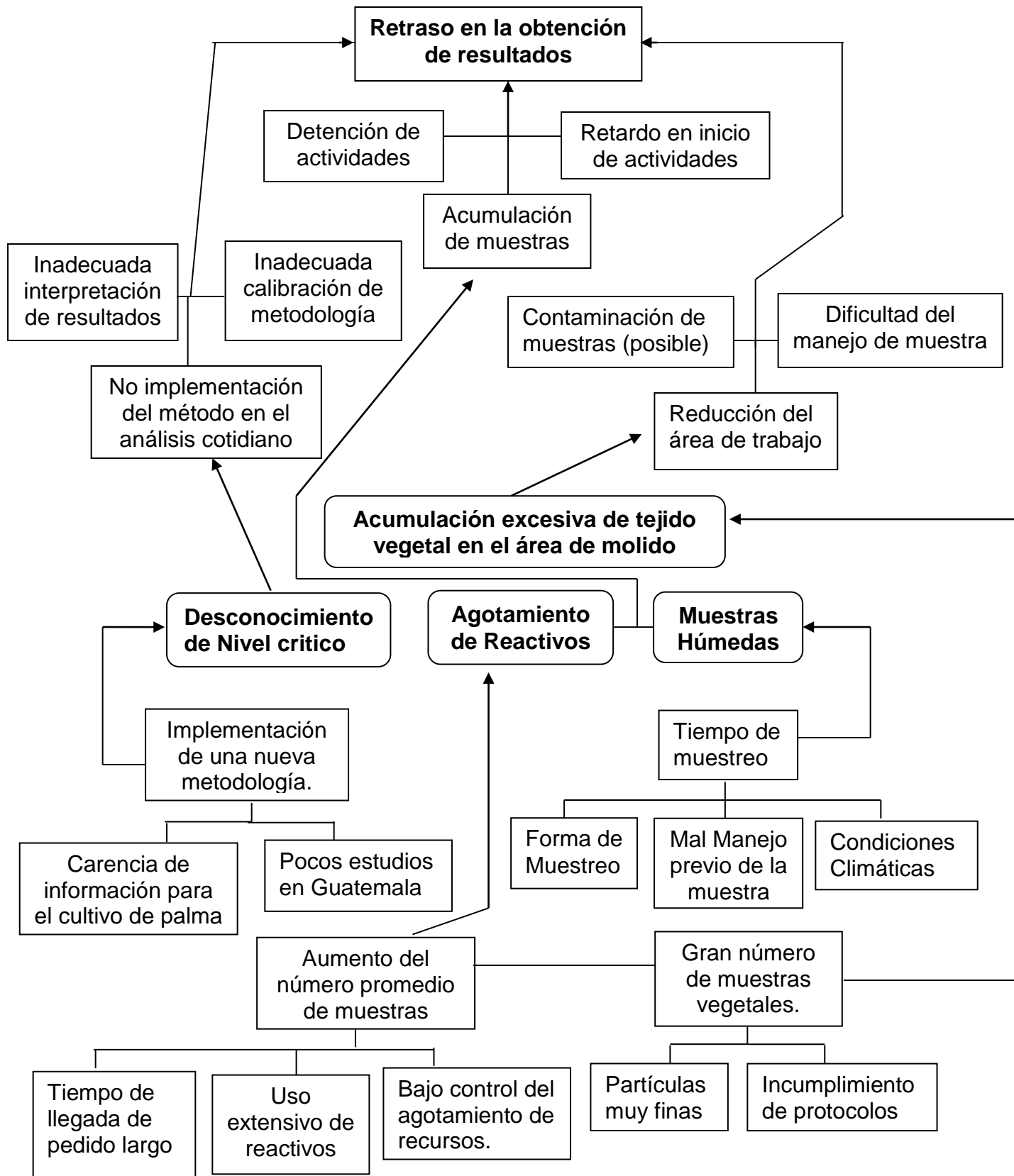
Durante el periodo de diagnóstico realizado en el laboratorio de análisis de suelo y foliares NaturAlab, se pudo observar que los mismos, son variados y a su vez cumplen con los protocolos establecidos para la realización del análisis de las muestras de suelo y foliares,

sin embargo como en todo proceso siempre existen problemas internos que pueden limitar el funcionamiento óptimo.

Debido a que uno de los objetivos del diagnóstico era identificar los problemas internos que se presentan en el laboratorio, durante la fase de reconocimiento se llevó a cabo a su vez la identificación de problemas, para lo cual se obtuvo el siguiente resultado.



**A. Árbol de Problemas identificados en el laboratorio NaturAlab**



### 1.5.3 Jerarquización de Problemas

Para jerarquizar los problemas encontrados mediante el diagnóstico se utilizó una matriz de priorización, en la cual se consideraron cuatro aspectos, los cuales son:

**Importancia:** Que tantas dificultades presenta la existencia del problema.

**Frecuencia:** Que tan frecuente se presenta el problema.

**Tolerancia:** Que tan tolerante son los procesos cotidianos al problema.

**Factibilidad:** Que tan factible puede ser la solución del problema.

Para complementar la matriz se utilizó una ponderación de 10 puntos para cada uno de los aspectos a considerar, para lo cual la asignación a cada problema se realizó de la siguiente manera: Para los aspectos importancia, frecuencia y factibilidad: ponderación de 1 a 10 donde 1 bajo y 10 es alto; y para el aspecto de tolerancia: ponderación de 1 a 10 donde 1 es muy tolerante y 10 es no tolerante, la matriz puede observarse en la tabla 1.

**Cuadro 1:** Matriz de priorización de problemas

Problema	Frecuencia	Importancia	Tolerancia	Factibilidad	Prioridad
Acumulación excesiva de tejido vegetal en el área de molido	7	9	8	8	32
Desconocimiento de nivel crítico	9	10	10	10	39
Agotamiento de Reactivos	8	9	7	10	34
Muestras Húmedas (contenido de humedad alto)	7	8	9	9	33

Como puede observarse en la cuadro 1, la matriz incluye una columna titulada total, la cual indica el valor total de ponderación dado a cada uno de los problemas, en base a ello se realizó la jerarquización de problemas, en la cual el problema que mayor puntuación ponderada presenta es el problema que debe atenderse o solucionarse de manera más inmediata, y el que menos ponderación presenta sería el problema que debe atenderse pero en menor proporción.

En base a lo anterior la jerarquización de problemas obtenida como producto del diagnóstico realizado, se puede observar en el cuadro 2, en la cual se observan los problemas ordenados del de mayor importancia al de menor importancia (jerárquicamente hablando), dicha jerarquización se realizó con el objetivo principal de tomar acciones posteriormente que ayuden a darle solución a los mismo, realizando dichas acciones según el orden de jerarquización establecido, por la ponderación realizada de cada uno de los aspectos considerados en el análisis de los problemas.

**Cuadro 2:** Jerarquización de problemas

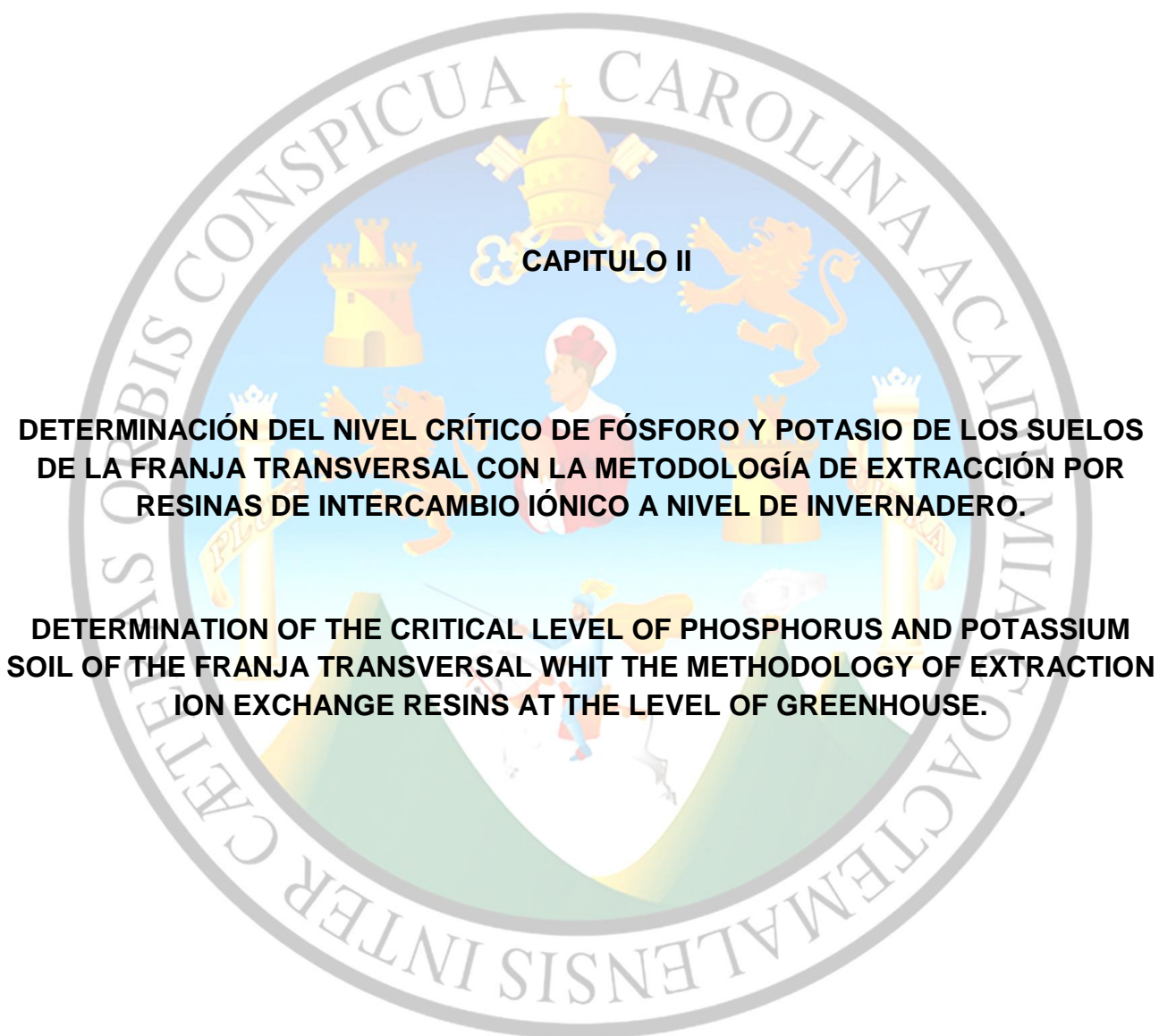
<b>PROBLEMA</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>
Desconocimiento de nivel crítico	95
Agotamiento de Reactivos	80
Muestras Húmedas (contenido de humedad alto)	78
Acumulación excesiva de tejido vegetal en el área de molido	78

## 1.6 CONCLUSIONES

1. Los procedimientos que conlleva el análisis químico de suelo y foliares dentro del laboratorio, son diversos y los mismos involucran desde una adecuada recepción e identificación de muestras hasta la obtención de los resultados referentes a la cantidad de nutrientes disponibles para la planta en el caso del análisis de suelo y para la determinación de la absorción de nutrientes por la planta y/o identificación de posibles deficiencias nutricionales en las mismas que no presentan síntomas visuales en el caso del análisis de foliares.
2. El laboratorio de análisis de suelo y tejido vegetal, NaturAlab, perteneciente a la empresa NaturAceites realiza cada uno de sus procedimientos bajo normas que garantizan el manejo adecuado de las muestras analizadas aunado a ello actualmente el laboratorio cuenta con equipos de análisis de alta tecnología lo cual permite tener la garantía que los resultados reportados por el mismo son correctos y confiables, sin embargo como en cualquier proceso se lograron identificar ciertos problemas dentro los cuales destacan: Retraso en las actividades cotidianas debido principalmente al agotamiento de los insumos y reactivos necesarios para el análisis de muestras, Falta de niveles críticos para la metodología de extracción de resinas debido a que es una metodología implementada recientemente, y el Retraso en el inicio del análisis de las muestras debido principalmente a la dificultad del secado de las muestras de acuerdo con la matriz de priorización.

## 1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Barrera Rangel, MR. 2006. Costos y rentabilidad de unidades artesanales (carpintería): municipio de Fray Bartolomé De Las Casas departamento de Alta Verapaz. Tesis Lic. Contador Púb. y Audit. Guatemala, USAC, Facultad de Ciencias Económicas. 176 p.
2. Palma Vargas, G. 1970. Uso de resinas de intercambio iónico para evaluar la disponibilidad de fósforo en suelos (en línea). Turrialba, Costa Rica, IICA, Centro de Enseñanza e Investigación, Departamento de Fitotecnia y Suelos. Consultado 18 feb. 2014. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A3089E/A3089E.PDF>
3. Raij, B; Cantarella, H; Quaggio, J; Prochnow, L. 2009. Resina de intercambio iónico para determinar la disponibilidad de fósforo en el suelo (en línea). IPNI.net, Informaciones Agronómicas. p. 11-14. Consultado 13 feb. 2014. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/C8C571780677C47305257627006EAF0E/\\$file/Resina+de+intercambio+i%C3%B3nico+para+determinar+la+disponibilidad.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/C8C571780677C47305257627006EAF0E/$file/Resina+de+intercambio+i%C3%B3nico+para+determinar+la+disponibilidad.pdf)
4. Salisbur, S; Christensen, N. 2001. Uso de resinas de intercambio para medir el efecto de las rotaciones en la disponibilidad de nutrientes (en línea). Canadá, Instituto de la Potasa y el Fósforo, Informaciones Agronómicas no. 42. 3 p. Consultado 20 feb. 2014. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/9BBEB9E2962EB7B8852579A300790773/\\$FILE/Usode%20resinas.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/9BBEB9E2962EB7B8852579A300790773/$FILE/Usode%20resinas.pdf)



## **CAPITULO II**

**DETERMINACIÓN DEL NIVEL CRÍTICO DE FÓSFORO Y POTASIO DE LOS SUELOS DE LA FRANJA TRANSVERSAL CON LA METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN POR RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO A NIVEL DE INVERNADERO.**

**DETERMINATION OF THE CRITICAL LEVEL OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM SOIL OF THE FRANJA TRANSVERSAL WHIT THE METHODOLOGY OF EXTRACTION ION EXCHANGE RESINS AT THE LEVEL OF GREENHOUSE.**

## 2.1 INTRODUCCIÓN

La producción agrícola involucra diversas actividades, dentro de las cuales se encuentran la realización de programas que permitan el desarrollo óptimo de los cultivos, estos abarcan desde la planificación de la fecha de siembra, hasta el manejo de la cosecha del cultivo; realizar un plan de fertilización específico para el cultivo de palma aceitera, garantiza que la misma se desarrolle en condiciones óptimas de nutrición y sanidad permitiendo de este modo obtener mayores rendimientos.

El análisis químico de suelo es una herramienta que permite la estimación del estado actual de la fertilidad de los suelos, por lo cual se requiere que el mismo presente la mayor correlación posible entre el rendimiento de las plantas y la cantidad de nutrientes extraídos y reportados por el análisis de suelo. Debido a ello muchas soluciones extractoras han sido elaboradas con la finalidad de mejorar la eficiencia en la estimación de la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas en el análisis químico de suelo.

Diversas soluciones extractoras han sido implementadas en los laboratorios de análisis de suelo, sin embargo, con el afán de lograr establecer una mejor correlación entre los rendimientos de los cultivos y las cantidades de nutrientes reportadas del análisis de suelo, se han implementado nuevas soluciones que permiten aumentar dicha correlación; dentro de estas, se encuentra la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, la cual por la naturaleza de las resinas y la metodología que conlleva la utilización del mismo simula de una mejor manera la extracción de nutrientes por la planta, lo cual permite una mayor correlación (Salisbury y Christensen, 2001).

Así mismo se han realizado investigaciones sobre diversas soluciones extractoras, sin embargo, el uso y estudio de la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, ha sido poco usual, por lo cual no se cuenta con datos que indiquen el nivel crítico para dicha metodología y aún más para los suelos de la franja transversal del norte cultivados con palma aceitera.

La utilización de una nueva solución extractora en el análisis químico de suelo implica la realización de un estudio de correlación, que permita la determinación del nivel crítico para la misma, esto debido a que, dicho nivel es un valor útil en la interpretación de resultados del análisis químico de suelos para la elaboración de planes de fertilización, que permitan que los cultivos se desarrollen bajo condiciones óptimas de nutrición.

En el laboratorio de suelos NaturAlab, NaturAceites se está implementando la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, debido a ello se llevó a cabo la presente investigación, que permitió determinar la primera aproximación del nivel crítico a nivel de invernadero de los elementos fósforo y potasio para dicha metodología, siendo este el primer paso para que posteriormente de calibrar en campo los niveles críticos pueda ser debidamente implementada dentro del análisis químico de suelos, realizado en el laboratorio NaturAlab, NaturAceites.



## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 MARCO CONCEPTUAL

#### A. Análisis de suelo

El análisis de suelo, por definición es un método químico que determina el suministro de nutrientes de un suelo, y este constituye una de las técnicas más utilizadas para la recomendación de tratamientos, puesto que presenta la ventaja de poder determinar la necesidad de aportar nutrientes antes de la siembra del cultivo, evitando de este modo problemas que pueden deberse a la deficiencia de nutrientes para el óptimo desarrollo de las plantas (Ramos, 2003).

Según Molina (2007) los objetivos que el análisis químico de suelos presenta son:

- ✓ Evaluar el estado de fertilidad de un suelo determinado
- ✓ Predecir la probabilidad de una respuesta positiva a la fertilización
- ✓ Determinar condiciones adversas que pueden perjudicar a los cultivos

Se ha demostrado que los análisis químicos de suelo constituyen una buena base para realizar recomendaciones sobre fertilización, sin embargo, no debe olvidarse que en la producción de cultivos, interviene un conjunto de factores de gran importancia como lo son: clima, variedades, control fitosanitario, manejo general y otras, que podrían limitar el desarrollo adecuado de una planta si no se encuentra en el grado óptimo requerido.

Oliveira, Khouri y López (2006), indican que el análisis químico de suelos conlleva los siguientes pasos:

- Toma de la muestra
- Pre tratamiento de la muestra.
- Estudio físico-químico de la muestra.
- Interpretación de los resultado

## **B. Soluciones extractoras**

La utilización de soluciones extractoras en el análisis químico de suelo, ha sido muy estudiado con el pasar de los años, debido a ello se han creado diversas soluciones extractoras, sin embargo, no siempre las soluciones extractoras son eficientes en la extracción del elemento en evaluación. En términos prácticos puede decirse que una solución extractora será eficiente o adecuada cuando exista una mayor correlación entre el rendimiento de las plantas cultivadas sobre el mismo y las cantidades de nutrientes extraídas por dichas soluciones, es decir que rendimientos altos correspondan a altas cantidades extraídas de nutrientes y rendimientos bajos correspondan a bajas cantidades de nutrientes extraídas (Ramos, 2003).

Ramos (2003), indica que las soluciones extractoras más comúnmente utilizadas en el análisis químico de suelo son:

### **a. Solución extractora Mehlich I**

Esta solución es utilizada para determinar el fósforo en suelos arenosos que presentan una capacidad de intercambio menor a 10 meq/100gr; no recomendada para suelos alcalinos.

### **b. Solución extractora Mehlich III**

Solución compuesta por ácido acético 0.2N, nitrato de amonio 0.25N, fluoruro de amonio 0.015N, ácido nítrico 0.013N y EDTA 0.001M, regulada a pH 2.5, dicha solución puede ser utilizada para la extracción de macro y micronutrientes, presentado una ventaja sobre las otras soluciones extractoras.

**c. Solución extractora Olsen Modificado**

Solución compuesta por  $\text{NaHCO}_3$  0.5N, EDTA 0.01M y 0.5 gr de superfloc 127 para preparar 10 litros de solución. El fósforo extraído con  $\text{NaHCO}_3$  generalmente es menor que el extraído con Mehlich I y Bray I. Se ha reportado que la solución extractora de Olsen Modificado tiene una buena correlación con la extracción de fósforo con Resina intercambiable. Este último método es apropiado para suelos de origen volcánico; además, representa un método para extracción de macro y micronutrientes.

**d. Solución extractora Bray I**

Solución compuesta por fluoruro de amonio 1M y ácido clorhídrico 0.5M. Para suelos ácidos, el fluoruro incrementa la liberación del fósforo y decrece la liberación del aluminio por la formación del complejo de aluminio y fluoruro. Es una solución extractora no recomendable para suelos calcáreos debido a la neutralización de los carbonatos de calcio lo cual disuelve el complejo de fósforo calcio. Una desventaja de esta solución es la interferencia del flúor en la formación del color, para evitar esta interferencia se adiciona bisulfito de sodio.

**C. Estudio de Sorción**

A causa de las características dinámicas del suelo, cuando se le agrega algún material o elemento, éste estará sujeto a cambios físicos químicos y biológicos debido a las reacciones que se llevan a cabo en su seno. Por esta razón es de esperar que su disponibilidad para la planta variara debido no solo al elemento agregado sino también a los elementos que ya se encontraban presentes. A este proceso o reactividad de los elementos se le llama sorción (Díaz y Hunter, 1982).

El estudio de sorción es llevado a cabo añadiendo al suelo, en una solución distintas cantidades y niveles de elementos, la cantidad de solución agregada es suficiente para saturar completamente la muestra de suelo y dejar un ligero exceso cubriéndola (Díaz y Hunter, 1982).

Este sistema permite que los elementos reaccionen con el suelo bajo una condición de humedad hasta la sequedad, lo que reduce en un corto periodo de tiempo las reacciones que se llevan a cabo cuando esto sucede a nivel de campo (Díaz y Hunter, 1982).

#### **D. Extracción por resinas de intercambio iónico**

En el análisis químico de suelos se han utilizado diversas soluciones extractoras con la finalidad de encontrar una mejor correlación entre el rendimiento relativo de los cultivos y los niveles de nutrientes reportados por el análisis químico de suelo, sin embargo, dichas soluciones no son del todo eficientes puesto que presentan cierta dificultad en la cuantificación exacta de la cantidad de nutrientes que el suelo tiene disponibles para el cultivo (Molina, 2007).

El uso de la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, es uno de los métodos más prometedores para estimar la disponibilidad de nutrientes del suelo, puesto que esta metodología permite eliminar los problemas inherentes a la extracción química de los elementos en una muestra de suelos (Salisbury y Christensen 2001).

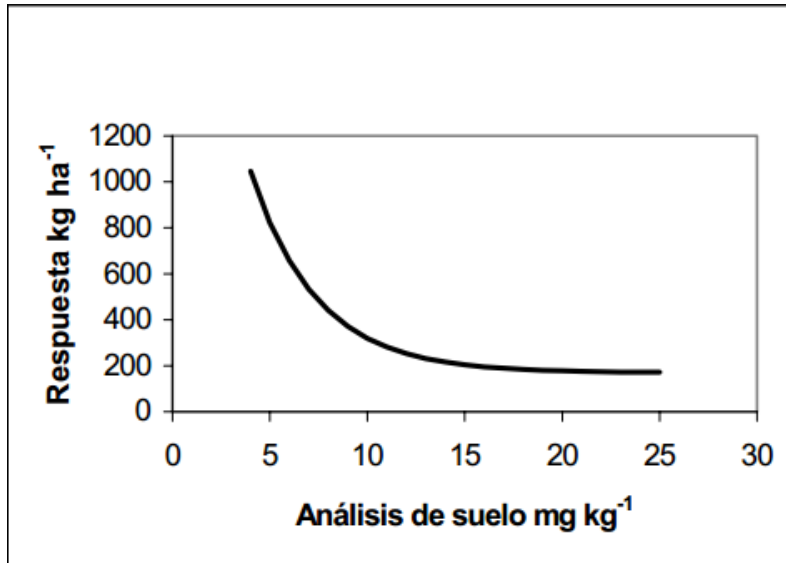
En términos generales se puede decir que las resinas de intercambio iónico consisten en celdas estructurales hidrocarbonadas que constituyen una matriz donde van unidos tanto los grupos ácidos como los básicos, en si una partícula de la resina es prácticamente una macromolécula de sus componentes básicos, los factores que influyen en la tasa de cambio son: la naturaleza de la resina, el tamaño y la concentración de los iones que van a ser intercambiados (Palma, 1970).

La extracción de los nutrientes por resinas de intercambio iónico, se realiza en una suspensión de agua, lo cual simula mejor que otros métodos de extracción, la dinámica de absorción de los nutrientes por las raíces de las plantas, en términos de macro nutrientes simula mejor la absorción de fósforo y potasio (Palma, 1970)

La resina actúa como un sitio de atracción de los iones que se encuentran en el agua de la suspensión, los iones cargados negativamente (fosfatos), son atraídos por las cargas positivas de la resina de intercambio iónico, promoviendo de esta forma la disolución de fósforo lábil en la fase sólida del suelo (Raij, Cantarella, Quaggio y Prochnow, 2009).

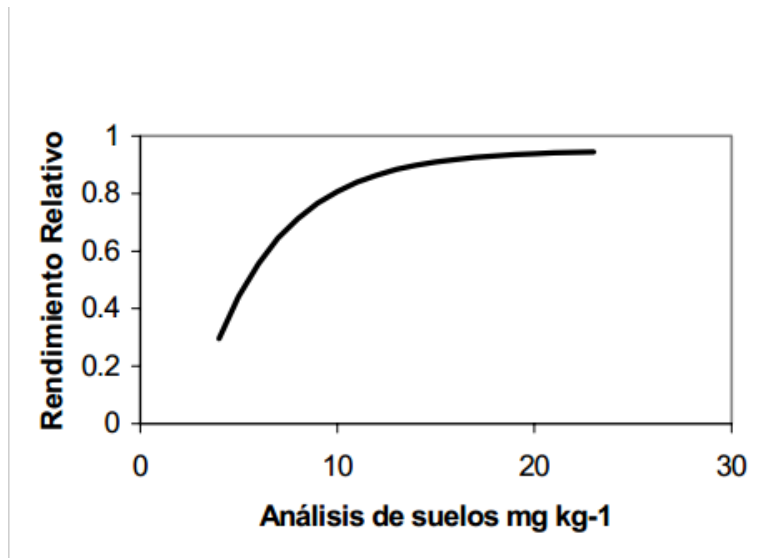
## **E. Calibración**

En la calibración de una solución extractora del análisis de suelo, para un cultivo y zona, importa su interpretación en términos de la predicción de la respuesta a la fertilización. En general se asume que el incremento de rendimiento será menor cuanto mayor sea el contenido original del elemento en el suelo estimado por análisis químico, esta relación a menudo se representa con una función continua exponencial (Figura 2), si en vez de la respuesta absoluta se utiliza el rendimiento relativo (RR), es decir el del cultivo sin fertilizar expresado como porcentaje del rendimiento máximo, la curva tomará una forma inversa (Figura 3) (Ron, 2003).



Fuente: Ron (2003).

Figura 2: Relación existente entre rendimiento y contenido de nutriente en el suelo.



Fuente: Ron (2003)

Figura 3: Relación existente entre rendimiento relativo y cantidad de nutrientes.

## **F. Niveles críticos**

Justus Von Liebig, desarrollo la ley del mínimo, la cual indica que el crecimiento de las plantas está limitado por el nutriente presente en menor cantidad, Díaz y Hunter, (1982) indica: si el principal factor limitante es corregido hasta el nivel adecuado, entonces el siguiente factor limitante pasa a ser el primero y así sucesivamente, hasta lograr una detección y corrección de cada factor limitante, lo cual establece una condición tal, que en último caso solo el potencial genético de la planta sería limitante.

En base a lo anterior se puede decir que el nivel crítico es un valor que sugiere que por debajo de él se considera críticamente limitante el factor y que la respuesta a la fertilización con dicho elemento o factor será con toda probabilidad mayor (Díaz y Hunter, 1982).

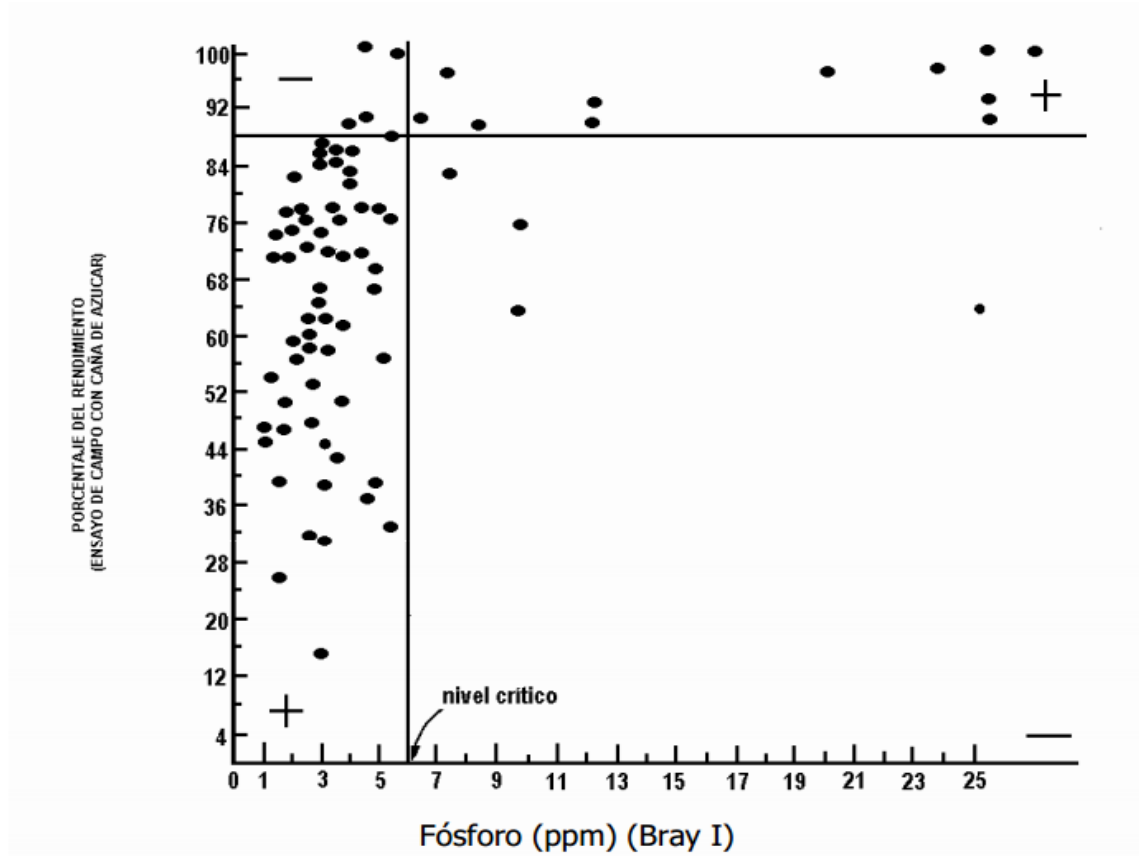
El procedimiento para obtener los niveles críticos consiste en: muestreo de suelo, análisis químico con las soluciones extractoras, ensayo de invernadero, correlación entre la absorción de nutrientes por la planta o con rendimientos relativos, selección y ubicación del nivel crítico, para este último paso Cate y Nelson propusieron un método gráfico muy sencillo de aplicar y eficiente en la determinación del nivel crítico para la solución extractora utilizada en el análisis químico de suelos (Díaz y Hunter, 1982).

### **a. Método Gráfico de Cate y Nelson**

Cate y Nelson, en 1965 desarrollaron un método gráfico sencillo para determinar con muy buena aproximación, un primer nivel crítico. En vez de intentar adecuar una función matemática continua a través de los puntos diseminados, se coloca una hoja transparente dividida en cuadrantes por líneas horizontales y verticales (Ramos, 2003).

El método propuesto por Cate y Nelson consiste en plotear los valores de los rendimientos relativos en el eje "Y" (ordenadas), en función del contenido del nutriente en el eje "X" (abscisa). Sobre este diagrama se coloca una hoja transparente dividida en cuadrantes

por líneas horizontales y verticales de tal manera que el máximo número de puntos se ubique en los dos cuadrantes positivos, tal como se observa en la (Figura 4).



Fuente: Ramos (2003).

**Figura 4:** Determinación del nivel crítico del suelo, según Cate y Nelson

## 2.2.2 MARCO REFERENCIAL

### A. Antecedentes

Palma (1970), concluye en su trabajo realizado en suelos de Centro América:



"Cuando se utilizan periodos de tiempos cortos en la extracción del fósforo disponible con resinas de intercambio, la tasa inicial de liberación de fósforo obtenida no correlaciona significativamente con la absorción de fósforo por las plantas."

"La bondad del método para determinar el fósforo disponible utilizando una resina de intercambio iónico es comparable al método de Egner-Riehm y ellos superan a los otros métodos químicos de análisis usados Mehlich, Olsen, Bray 1, Saunder modificado y potenciales químicos ( $pH_2PO_4 + 0.5pCa$ )."

Raij, Cantarella, Quaggio y Prochnow, (2009) indican en su trabajo:

"La resina de intercambio iónico se ha utilizado en Brasil desde 1983 y al momento ha sido adoptada por alrededor de 100 laboratorios en dicho país"

"Se ha demostrado que el fósforo extraído por la resina de intercambio iónico es un indicador sensible de la disponibilidad de fósforo en el suelo. Esta excelente alternativa para la determinación de fósforo en el suelo permite optimizar las recomendaciones de fertilización con fósforo y avanzar hacia mejores tecnologías de fertilización como la agricultura de precisión."

## **B. Descripción del Área experimental**

### **a. Localización y Delimitación**

La finca Yalcobé, NaturAceites se encuentra ubicada en el municipio de Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz, Guatemala el cual se encuentra localizado a  $15^{\circ}50'44''$  latitud norte y  $89^{\circ}51'57''$  longitud oeste a una altura de 146.34 msnm.

## **b. Superficie Geográfica**

De acuerdo con los datos del sistema de información Geográfica de NaturAceites, la finca Yalcobé posee una superficie total de 633.9 ha.

## **c. Clima**

De acuerdo con Barrera (2006), el clima que predomina en la región es cálido húmedo, marcándose dos épocas, la época seca en los meses de marzo a mayo y la época lluviosa el resto del año, la temperatura promedio percibida en el municipio es de 25 grados Celsius, la máxima extrema de 38 grados Celsius y la mínima extrema de 14 grados Celsius.

## **C. Sorgo como planta indicadora**

Una planta indicadora es aquella planta utilizada en la técnica de prueba en invernadero, que permite observar las deficiencias de la mayoría los elementos en un periodo corto de tiempo, en las diversas pruebas de invernadero han sido utilizadas plantas como sorgo, arroz, trigo, girasol, maíz, rábanos, nabos o tomates, en términos generales no existe una planta que sea la mejor indicadora para todos los elementos, el sorgo parece ser una de la mejores plantas, puesto que es sensitiva a la mayoría de deficiencias, crece rápido, tiene semillas pequeñas y crece bien en un amplio rango de condiciones climáticas (Díaz y Hunter, 1982).

### **a. Híbrido utilizado en la investigación**

La semilla a utilizada es un híbrido creado por la empresa ANZU BROTHERS INC. Conocido por ser un sorgo de alto rendimiento comercializado bajo el nombre comercial pampa verde, distribuido en el país por la empresa Agroservert.

**Características:**

- ✓ Sorgo BMR 6 (Brown mid rib= nervadura café)
- ✓ Híbrido de sorgos forrajeros
- ✓ Bajo condiciones ambientales favorables permite dos buenos cortes
- ✓ Época de siembra de marzo a julio

**D. Suelos**

Los órdenes de los suelos seleccionados para la evaluación fueron identificados de acuerdo con el mapa de órdenes de suelo del IGN/MAGA en base al estudio realizado por Simmons, (ver figura 5), por lo cual se tienen las siguientes descripciones de los órdenes de suelo bajo los cuales se realizó la investigación:

**a. Vertisoles**

Suelos con altos contenidos de arcilla expandible desde la superficie. Se caracterizan por formar grietas profundas en todo el perfil, las cuales se observan principalmente en la época seca. Cuando están húmedos o mojados se vuelven muy plásticos. Generalmente, son suelos con alto potencial de fertilidad en la producción agrícola, pero tienen limitantes en lo que se refiere a su labranza, porque cuando están secos son muy duros y como ya se indicó, cuando están mojados son muy plásticos. Se recomienda manejar el contenido de humedad para controlar las limitantes físicas mencionadas. Casi siempre ocupan relieves planos o bien de suaves a moderadamente ondulados (Tobías y Lira, 2000).

**b. Mollisoles**

Suelos con un horizonte superficial grueso, oscuro, generalmente con alto contenido de materia orgánica y una alta saturación de bases (mayor del 50%). Son suelos bastante fértiles, y por sus características físicas y químicas, generalmente son muy buenos suelos

para la producción agrícola. Es común encontrarlos en relieves planos o casi planos, lo que favorece su mecanización. Sin embargo, se debe de planificar su aprovechamiento, para que este sea sostenible (Tobías y Lira, 2000).

### **c. Inceptisoles**

Suelos incipientes o jóvenes, sin evidencia de fuerte desarrollo de sus horizontes, pero son más desarrollados que los entisoles. Son suelos muy abundantes en diferentes condiciones de clima y materiales originarios (Tobías y Lira, 2000).

### **d. Andisoles**

Suelos desarrollados sobre ceniza volcánica que tienen baja densidad aparente (menor de 0.9 g/cc) y con altos contenidos de alófono. Generalmente son suelos con alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo. En condiciones de fuerte pendiente tienden a erosionarse con facilidad. Una característica de los andisoles es su alta retención de fosfatos (arriba del 85%), la cual es una limitante para el manejo, por lo que se debe considerar en los planes de fertilidad cuando se someten a actividades de producción agrícola (Tobías y Lira, 2000).

### **e. Solución extractora Mehlich III**

Solución compuesta por ácido acético 0.2N, nitrato de amonio 0.25N, fluoruro de amonio 0.015N, ácido nítrico 0.013N y EDTA 0.001M, regulada a pH 2.5, dicha solución puede ser utilizada para la extracción de macro y micronutrientes, presentado una ventaja sobre las otras soluciones extractoras (Ramos, 2003).

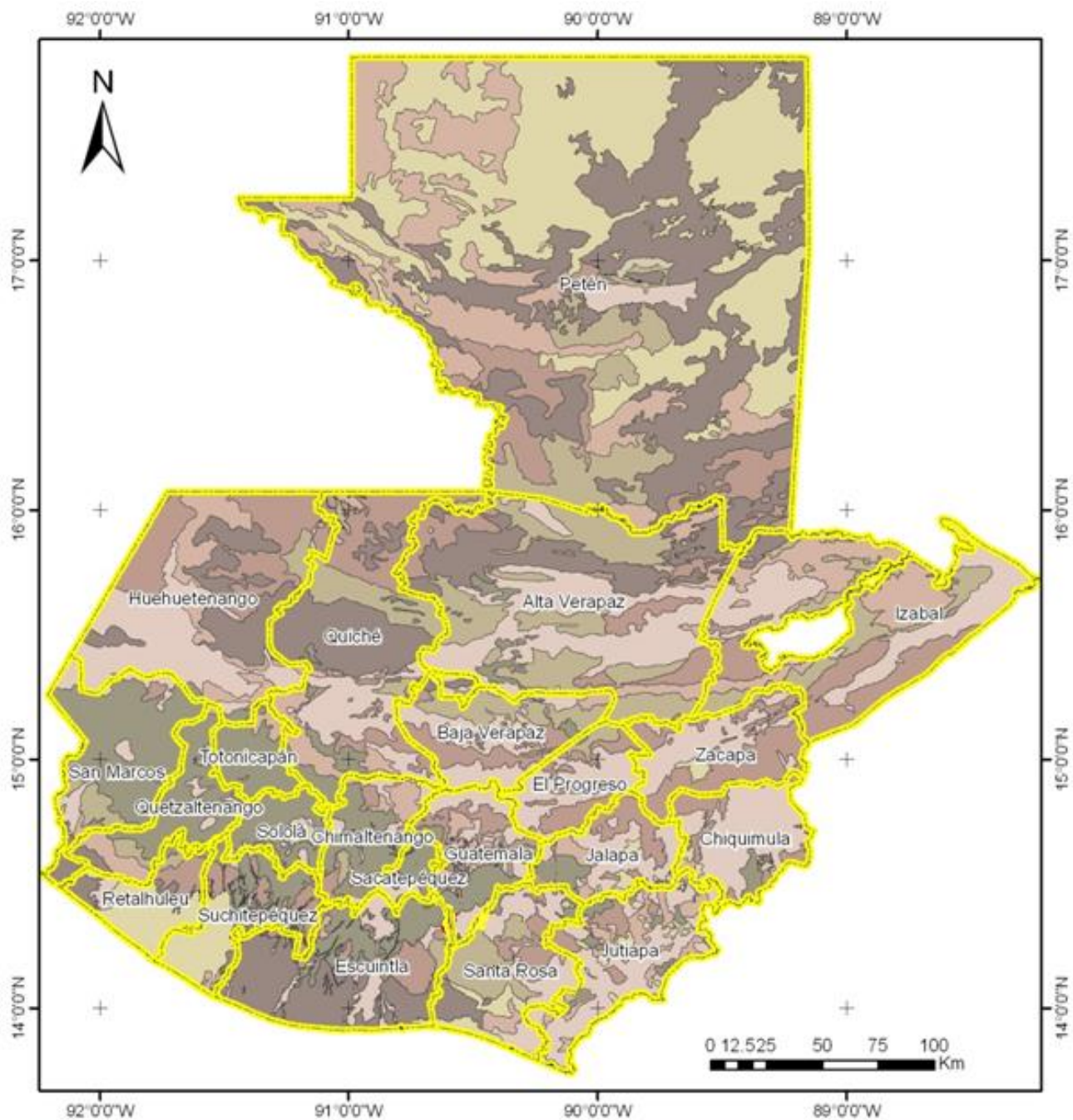
#### **f. Metodología de extracción por resinas**

En términos generales se puede decir que las resinas de intercambio iónico consisten en celdas estructurales hidrocarbonadas que constituyen una matriz donde van unidos tanto los grupos ácidos como los básicos, en si una partícula de la resina es prácticamente una macromolécula de sus componentes básicos, los factores que influyen en la tasa de cambio son la naturaleza de la resina, el tamaño y la concentración de los iones que van a ser intercambiados (Palma, 1970).

El procedimiento general que conlleva el análisis de suelo haciendo uso de la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico de acuerdo con la literatura base de Van, Cantarella, Quaggio y Prochnow (2001), utilizada para la implementación de dicha metodología dentro del laboratorio NaturAlab de NaturAceites.

#### **E. Condiciones de establecimiento de experimento**

El experimento fue establecido dentro de invernadero para garantizar que no existieran efectos por la gradiente del clima así como también se utilizaron recipientes plásticos con capacidad de 500 g cada uno.



<b>Leyenda</b>	
<b>Ordenes de Suelos</b>	
<b>Tipo de orden</b>	
Alfisoles	Inceptisoles
Andisoles	Mollisoles
Entisoles	Ultisoles
	Vertisoles
Sistema de Coordenas Geográficas Datum: World Geographic System -WGS 1984-  Escala: 1:2,300,000  Fuente: Cartografía digital básica IGN - MAGA, escala 1:250,000	

**Figura 5.** Mapa de órdenes de suelo del país de Guatemala, según la aproximación del estudio realizado por Simmons.

### **2.3 HIPÓTESIS**

Existe correlación lineal entre los rendimientos relativos de sorgo como planta indicadora y las cantidades extraídas de fósforo y potasio de los suelos analizados mediante la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.

## **2.4 OBJETIVOS**

### **2.4.1 General**

Establecer el valor del nivel crítico de fósforo y potasio a nivel de invernadero para la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico en suelos cultivados con palma africana pertenecientes a la empresa NaturAceites.

### **2.4.2 Específicos**

1. Determinar la correlación lineal entre el porcentaje de rendimiento relativo y los niveles de fósforo y potasio extraídos mediante la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.
2. Determinar el nivel crítico de fósforo y potasio, mediante el método gráfico de Cate y Nelson, para la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.



## 2.5 METODOLOGÍA

### 2.5.1 Selección de los puntos de muestreo y suelos seleccionados

Para la selección de los suelos utilizados en la investigación, inicialmente se analizó la base de datos del análisis químico de suelos del laboratorio NaturAlab, de NaturAceites, perteneciente al muestreo general del año 2013, el criterio de selección a aplicar fue: en primera instancia contar con muestras de suelo proveniente de las tres regiones en las cuales se desarrolla el cultivo de palma africana (Franja transversal del norte, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz, Polochic, el Estor, Izabal y San Luis Petén).

En segunda instancia se clasificó los suelos en base al contenido de fósforo y potasio reportado, estableciendo para ello rangos de alto, medio y bajo, los mismos fueron fijados de acuerdo con los niveles críticos reportados para la solución Mehlich III, utilizados por el laboratorio de análisis de suelo y foliares NaturAlab (ver cuadro 10A), los rangos tomados como criterios de selección pueden observarse en la cuadro 3.

**Cuadro 3.** Rangos de contenido de elementos tomados como referencia para la selección de suelos.

RANGO	FÓSFORO	POTASIO
BAJO	< 6 ppm	< 0.2 cmol/l
MEDIO	6 - 15 ppm	0.2 - 0.4 cmol/l
ALTO	> 30 ppm	> 0.9 cmol/l

La selección de los suelos se realizó de acuerdo con los criterios mencionados con anterioridad, utilizando para ello un estrato de suelo de 0 a 20 cm, puesto que es en este estrato en el cual se concentra la mayor cantidad de raíces activas, dando como resultado una mayor absorción de nutrientes por parte de la planta. Los suelos que fueron seleccionados, pueden observarse en el cuadro 4.

**Cuadro 4.** Procedencia de los suelos considerados en la evaluación y niveles de fósforo y potasio a una profundidad de 0-20 cm para el año 2014.

No.	FINCA	PANTE	P ppm	K cmol/l	No.	FINCA	PANTE	P ppm	K cmol/l
1	Chabiland	10403	3	0.12	28	Pataxte	10214	1	0.56
2	Chabiland	10410	10	0.32	29	Pataxte	10219	4	0.97
3	Chabiland	10412	7	0.36	30	Peñita	20312	29	0.31
4	El Canaleño	20613	29	1.19	31	Peñita	20314	38	0.52
5	El Canaleño	20636	2	0.69	32	Rio zarco	10301	14	0.94
6	El Chapín	10105	22	0.2	33	Rio zarco	10302	11	0.68
7	El Chapín	10117	11	0.38	34	Rosario	20221	23	1.05
8	El Chapín	10120	50	0.25	35	Rosario	20229	44	0.97
9	El Chapín	10139	35	1.07	36	Rosario	20230	14	0.96
10	La Bacadilla	20503	3	0.41	37	Rosario	20252	1	0.19
11	La Bacadilla	20508	9	0.39	38	Sacol	20404	6	0.54
12	La Bacadilla	20511	3	0.3	39	Sacol	20418	10	0.58
13	La Cabaña	10503	7	0.36	40	Sacol	20419	2	0.38
14	Machacas	30203	2	0.14	41	Sacol	20433	5	1.03
15	Machacas	30204	2	0.24	42	San Martin	30103	3	0.46
16	Machacas	30205	2	0.2	43	San Martin	30115	33	0.38
17	Machacas	30216	30	0.27	44	San Martin	30123	74	0.98
18	Machacas	30217	159	0.89	45	San Martin	30125	54	0.95
19	Machacas	30220	9	0.34	46	San Martin	30139	29	0.3
20	Machacas	30233	5	0.16	47	San Martin	30140	14	0.56
21	Machacas	30238	6	0.24	48	San Martin	30141	93	0.99
22	Panacte	10607	101	0.59	49	San Martin	30142	7	0.2
23	Panacte	10620	74	0.34	50	San Martin	30144	18	1.15
24	Panacte	10637	85	0.4	51	San Martin	30149	79	2.06
25	Panacte	10640	35	0.24	52	Yalcobé	20107	6	0.18
26	Pataxte	10205	5	0.18	53	Yalcobé	20115	2	0.13
27	Pataxte	10212	9	0.54	54	Yalcobé	20120	32	1.1

### **2.5.2 Toma de las muestras de suelo**

Se obtuvo una muestra de suelo de 25 libras de cada uno de los lotes seleccionados, muestreando a una profundidad de 0 a 20 centímetros.

### **2.5.3 Preparación de las muestras de suelo.**

Una vez extraídas las muestras de los diferentes lotes considerados en la investigación, se preparó para el análisis químico realizando para ello un secado, molido y tamizado de los mismos.

#### **A. Secado**

El secado de la muestra se realizó al aire y en la sombra, auxiliándose de deshumecedores para garantizar un secado uniforme.

#### **B. Molido**

Se realizó con molino, la finalidad fue homogenizar la muestra y pulverizar todas las partículas de mayor diámetro.

#### **C. Tamizado**

El tamizado se realizó utilizando un tamiz #10, lo cual garantizó que el tamaño de las partículas fuera uniforme en toda la muestra.

#### 2.5.4 Estudio de sorción

El estudio de sorción fue realizado en base a la metodología propuesta por Díaz Romereu y Arvel Hunter (1982), el cual consiste en añadir al suelo, en una solución distintas cantidades y concentración de elementos (estudio descrito en el marco teórico conceptual).

La metodología propone utilizar 11 recipientes a los cuales se les aplicó cinco tratamientos con duplicados y un testigo que contuvieron 2.5 ml de suelo y 2.5 ml agua desmineralizada.

Para los cinco tratamientos la metodología establece la disolución de distintas cantidades de solución madre en 100 ml de agua destilada, de los cuales se les agregó a cada suelo a analizar 2.5 ml, la preparación de los tratamientos del estudio de sorción puede observarse en el cuadro 5.

**Cuadro 5: Tratamientos aplicados en el estudio de sorción**

Tratamiento	Mililitros de solución madre en 100 ml de agua destilada	Concentración de los elementos	
		P	K
1	5	35 mg/ml	0.11 meq/100ml
2	10	70 mg/ml	0.22 meq/100ml
3	20	140 mg/ml	0.45 meq/100ml
4	40	280 mg/ml	0.90 meq/100ml
5	80	560 mg/ml	1.80 meq/100ml

**Fuente:** Díaz R, R y Hunter A. (1982)

Una vez aplicado los tratamientos a cada uno de los suelos, los mismos fueron llevados a la sequedad en un ambiente libre de polvo; posteriormente al secado de los suelos, se procedió a realizar un análisis químico de cada suelo agregando para ello 25 ml de la solución extractora Mehlich III.

### 2.5.5 Extracción por resinas de intercambio iónico.

- a) En un recipiente plástico con tapa, de aproximadamente 75 ml de capacidad se agregó  $2.5 \text{ cm}^3$  del suelo.
- b) Se agregaron al recipiente con el suelo 25 ml de agua desmineralizada así como también una bola de vidrio de aproximadamente 2 cm de diámetro.
- c) Se taparon los recipientes y se agitaron a 220 rpm por un lapso de tiempo de 15 minutos.
- d) Posteriormente a la agitación se retiró la bola de vidrio del recipiente.
- e) Se agregó a cada recipiente  $2.5 \text{ cm}^3$  de resina de intercambio iónico.
- f) Se taparon los recipientes y se agitaron a 220 rpm durante 16 horas.
- g) Posteriormente a la agitación, se separó la resina del suelo auxiliándose de un tamiz de 0,4 mm de abertura.
- h) Se colocó la resina en otro recipiente plástico con capacidad de 75 mililitros y se adiciono 50 ml de solución  $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{HCl}$  (cloruro de amonio en ácido clorhídrico).
- i) Se dejó en reposo el recipiente conteniendo la mezcla de resina con la solución  $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{HCl}$  por un lapso de tiempo aproximado de 30 min, esto con la finalidad de promover la evacuación del  $\text{CO}_2$  generado en la reacción existente dentro del recipiente (intercambio iónico).
- j) Se tapó el recipiente y se agito nuevamente a 220 rpm por un tiempo de una hora.
- k) Con el uso de un papel filtro Whatman No. 2, se realizó la separación de la resina con la finalidad de filtrar la solución de  $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{HCl}$
- l) Luego del filtrado se procedió a realizar la determinación mediante la utilización de ICP, realizando la lectura de los elementos P y K.

## 2.5.6 Metodología experimental

### A. Diseño experimental

Debido a que la investigación se llevó a cabo bajo condiciones ambientales controladas, el diseño experimental que se utilizó, fue el complemento al azar realizando una distribución aleatoria de las unidades experimentales.

### B. Unidad experimental

Esta constó de un recipiente plástico con capacidad de 500 g de suelo, con cinco plantas de sorgo cada uno.

### C. Número de unidades experimentales

El número total de unidades experimentales, utilizadas fue de 324 unidades.

### D. Tratamientos aplicados

Los tratamientos fueron aplicados en cada uno de los 54 suelos evaluados, siendo estos:

- **Tratamiento óptimo:** Aplicación del 100% del requerimiento nutricional de los macro elementos y micro elementos en base a los resultados del estudio de sorción.
- **Tratamiento óptimo menos elemento en estudio:** Aplicación del 100% del requerimiento de todos los macro y micro elementos en base al estudio de sorción y ausencia de la aplicación de P o K dependiendo de la evaluación requerida.

### **E. Número de repeticiones**

El número de repeticiones realizadas fueron tres, permitiendo de este modo obtener un promedio de rendimiento en gramos de materia seca.

### **F. Distribución aleatoria de tratamientos y repeticiones**

El proceso de aleatorización se realizó mediante la aplicación de la función Random de la calculadora científica, para ello inicialmente se creó una base de datos que describe los tratamientos a aplicar. (Ver cuadro 10A).

El croquis de campo, producto de la aleatorización de tratamientos y repeticiones, puede observarse en la cuadro 11A.

### **G. Variable respuesta**

La variable respuesta fue, el porcentaje de rendimiento relativo de materia seca, para ello inicialmente se realizó el secado del tejido vegetal del sorgo a una temperatura de 65°C por 48 horas, la unidad de medida utilizada para materia seca fue gramos, las plantas fueron cosechadas 40 días después de la siembra a una altura de 0.5 cm medida desde la superficie del suelo de la unidad experimental, el rendimiento relativo fue calculado con la formula siguiente:

$$\% RR = \frac{\text{Materia seca tratamiento óptimo menos elemento}}{\text{Materia seca tratamiento óptimo}} * 100$$

### **2.5.7 Manejo agronómico**

El manejo agronómico hace referencia al manejo que se le dio al cultivo indicador, en este caso siendo el sorgo (*sorghum vulgaris L*), dicho manejo permitió que el cultivo se desarrollara bajo condiciones adecuadas y así obtener al final de la investigación el rendimiento en gramos de materia seca.

#### **A. Siembra**

La siembra del sorgo se realizó en recipientes con capacidad de 500 gramos de suelo, en las cuales se sembraron un total de diez semillas de sorgo por recipiente.

#### **B. Raleo**

El raleo de la siembra se realizó a los quince días a partir de la fecha de siembra, dejando un total de cinco plantas por recipiente, lo cual permitió que el cultivo se desarrollara adecuadamente.

#### **C. Control de malezas**

El desmalezado de las unidades experimentales se realizó con una frecuencia de cuatro días, puesto que en esta investigación es de suma importancia que las unidades experimentales se encuentren completamente libres de malezas para que no afecte el desarrollo del cultivo indicador y a su vez no ocurran sesgos en la información recolectada al finalizar la investigación.



## D. Riego

El riego aplicado fue diario, aplicando 50 ml de agua desmineralizada a cada una de las unidades experimentales.

## E. Aplicación de tratamiento

La aplicación se realizó al momento de la siembra aplicando el 100% de los requerimientos de la planta, a excepción del nitrógeno el cual se aplicó 50% al momento de la siembra y el otro 50% a los 15 días después de la siembra.

## F. Cosecha

La cosecha se realizó a los 40 días después de la siembra.

### 2.5.8 Análisis de la información

Para el análisis de la información, se realizaron dos análisis, el primero consistió en determinar la correlación que existe entre el rendimiento relativo del sorgo y la cantidad de nutrientes extraída por ambas metodologías, por lo cual se requiere realizar un análisis del suelo utilizado en la investigación provenientes de campo para determinar la cantidad de fósforo y potasio que contengan los mismos, el cálculo del rendimiento relativo se realizó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\% RR = \frac{\text{Materia seca tratamiento óptimo menos elemento}}{\text{Materia seca tratamiento óptimo}} * 100$$

El segundo análisis consistió en la determinación del nivel crítico de fósforo y potasio para la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, por lo cual se graficaron los resultados obtenidos, siguiendo la metodología del método gráfico de Cate y Nelson,

ploteando en el eje de las abscisas el rendimiento relativo de la planta indicadora y en el eje de las ordenadas el resultado del análisis químico de suelo.

Una vez ploteados los puntos se procedió a determinar el nivel crítico de fósforo y potasio, sobreponiendo un cuadrante realizado en una plantilla transparente, tratando que la mayor cantidad de puntos se situaran en los cuadrantes positivos, el nivel crítico se observa en el eje X, correspondiendo el mismo, el punto en el cual la línea vertical corta el eje X de la gráfica obtenida.

## 2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Cuadro 6.** Descripción de los tratamientos aplicados, definidos en base al estudio de sorción.

Suelo	Dosis Requerida							Dosis a Aplicar (Tratamiento)						
	Meq/100 g			(ppm)				ml solución Madre						
	K	Ca	Mg	P	Cu	Mn	Zn	K	Ca	Mg	P	Cu	Mn	Zn
7370	0.45	2	1	106.94	1.00	0.00	5.80	9.90	4.40	22.00	23.53	2.20	0.00	1.28
7372	0.00	2	0	101.11	2.00	0.00	7.26	0.00	4.40	0.00	22.24	4.40	0.00	1.60
7373	0.48	2	1	144.24	2.00	0.00	6.93	10.56	4.40	22.00	31.73	4.40	0.00	1.52
7374	0.60	2	1	83.13	1.00	0.00	7.68	13.20	4.40	22.00	18.29	2.20	0.00	1.69
7375	0.19	2	0	168.47	2.00	0.00	9.04	4.18	4.40	0.00	37.06	4.40	0.00	1.99
7376	0.19	2	1	91.88	1.00	0.00	7.68	4.18	4.40	22.00	20.21	2.20	0.00	1.69
7377	0.27	2	0	206.96	2.00	0.00	8.88	5.94	4.40	0.00	45.53	4.40	0.00	1.95
7379	0.39	0	0	99.70	0.00	0.00	5.67	8.58	0.00	0.00	21.93	0.00	0.00	1.25
7380	0.63	2	1	23.86	0.00	4.16	7.84	13.86	4.40	22.00	5.25	0.00	9.15	1.72
7381	0.00	2	0	157.82	0.00	0.00	3.85	0.00	4.40	0.00	34.72	0.00	0.00	0.85
7382	0.29	2	1	97.50	0.00	0.00	4.27	6.38	4.40	22.00	21.45	0.00	0.00	0.94
7383	0.12	0	0	97.10	0.00	0.00	3.09	2.64	0.00	0.00	21.36	0.00	0.00	0.68
7385	0.42	2	1	61.76	0.00	0.00	4.90	9.24	4.40	22.00	13.59	0.00	0.00	1.08
7386	0.28	2	1	0.00	0.00	8.00	7.11	6.16	4.40	22.00	0.00	0.00	17.60	1.56
7387	0.32	2	1	0.00	0.00	5.00	6.27	7.04	4.40	22.00	0.00	0.00	11.00	1.38
7388	0.32	2	1	70.00	3.00	0.00	7.44	7.04	4.40	22.00	15.40	6.60	0.00	1.64
7389	0.24	2	1	87.26	2.00	0.00	6.90	5.28	4.40	22.00	19.20	4.40	0.00	1.52
7401	0.00	2	0	143.59	0.00	0.00	7.33	0.00	4.40	0.00	31.59	0.00	0.00	1.61
7422	0.49	0	0	142.24	1.33	0.00	9.85	10.78	0.00	0.00	31.29	2.93	0.00	2.17
7423	0.51	0	2	200.00	4.00	0.00	13.85	11.22	0.00	44.00	44.00	8.80	0.00	3.05
7424	0.83	0	0	140.00	0.00	0.00	6.83	18.26	0.00	0.00	30.80	0.00	0.00	1.50
7404	0.11	0	0	0.00	3.33	0.00	8.98	2.42	0.00	0.00	0.00	7.33	0.00	1.98
7405	0.00	0	0	100.51	2.00	0.00	9.72	0.00	0.00	0.00	22.11	4.40	0.00	2.14
7406	0.24	0	0	22.29	4.00	0.00	11.16	5.28	0.00	0.00	4.90	8.80	0.00	2.46
7407	0.45	0	0	79.86	2.00	0.00	6.13	9.90	0.00	0.00	17.57	4.40	0.00	1.35
7402	0.27	0	0	150.77	2.00	0.00	8.72	5.94	0.00	0.00	33.17	4.40	0.00	1.92
7403	0.24	0	0	105.00	0.00	0.00	7.65	5.28	0.00	0.00	23.10	0.00	0.00	1.68

“Continua página siguiente”

7408	0.13	0	0	140.00	6.00	0.00	9.18	2.86	0.00	0.00	30.80	13.20	0.00	2.02
7409	0.00	0	0	122.10	0.00	0.00	11.08	0.00	0.00	0.00	26.86	0.00	0.00	2.44
7410	0.16	0	0	65.33	2.00	0.00	11.52	3.52	0.00	0.00	14.37	4.40	0.00	2.53
7411	0.00	0	0	152.17	6.00	0.00	10.95	0.00	0.00	0.00	33.48	13.20	0.00	2.41
7392	0.20	0	0	115.50	2.67	0.00	7.42	4.40	0.00	0.00	25.41	5.87	0.00	1.63
7371	0.48	2	2	144.59	4.00	9.00	13.54	10.56	4.40	44.00	31.81	8.80	19.80	2.98
7378	0.27	2	2	144.52	3.00	0.00	9.95	5.94	4.40	44.00	31.79	6.60	0.00	2.19
7390	0.00	0	0	48.33	0.00	0.00	8.09	0.00	0.00	0.00	10.63	0.00	0.00	1.78
7391	0.00	0	0	155.89	3.00	0.00	11.32	0.00	0.00	0.00	34.30	6.60	0.00	2.49
7384	0.18	0	1	145.83	2.00	0.00	8.34	3.96	0.00	22.00	32.08	4.40	0.00	1.83
7393	0.19	0	1	18.57	3.00	0.00	5.92	4.18	0.00	22.00	4.09	6.60	0.00	1.30
7394	0.25	0	1	70.00	3.00	0.00	5.89	5.50	0.00	22.00	15.40	6.60	0.00	1.30
7395	0.14	0	1	14.58	2.67	0.00	5.10	3.08	0.00	22.00	3.21	5.87	0.00	1.12
7396	0.04	2	1	35.00	2.67	0.00	5.60	0.88	4.40	22.00	7.70	5.87	0.00	1.23
7397	0.39	2	1	72.50	3.00	0.00	7.36	8.58	4.40	22.00	15.95	6.60	0.00	1.62
7398	0.00	0	0	81.48	4.00	0.00	6.37	0.00	0.00	0.00	17.93	8.80	0.00	1.40
7399	0.00	0	0	23.90	3.00	0.00	4.13	0.00	0.00	0.00	5.26	6.60	0.00	0.91
7400	0.12	0	1	12.60	3.33	0.00	4.26	2.64	0.00	22.00	2.77	7.33	0.00	0.94
7412	0.28	0	1	94.80	3.33	0.00	7.09	6.16	0.00	22.00	20.86	7.33	0.00	1.56
7413	0.15	0	1	15.91	3.33	0.00	7.35	3.30	0.00	22.00	3.50	7.33	0.00	1.62
7414	0.00	0	0	82.28	2.00	0.00	8.93	0.00	0.00	0.00	18.10	4.40	0.00	1.96
7415	0.00	0	1	0.00	2.00	0.00	6.64	0.00	0.00	22.00	0.00	4.40	0.00	1.46
7416	0.00	0	1	0.00	3.00	0.00	7.22	0.00	0.00	22.00	0.00	6.60	0.00	1.59
7417	0.05	0	1	39.52	4.00	0.00	8.56	1.10	0.00	22.00	8.69	8.80	0.00	1.88
7419	0.00	0	0	0.00	2.00	0.00	7.45	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40	0.00	1.64
7420	0.00	0	0	0.00	2.00	0.00	2.23	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40	0.00	0.49
7421	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	6.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.49

En el cuadro anterior se puede observar que las columnas del lado izquierdo corresponden a las cantidades de nutrientes que debían aplicarse a los distintos suelos en base a los resultados obtenidos del estudio de sorción.

En las columnas presentadas al lado derecho, se observan los tratamientos en mililitros de la solución madre de los diferentes elementos, que fueron aplicados a los distintos suelos para suplir las cantidades de nutrientes establecidos de acuerdo con el estudio de sorción.

**Cuadro 7.** Rendimiento relativo de sorgo y contenido de fósforo en ppm obtenido con la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.

Suelo	% RR	A.Q. ppm	Suelo	% RR	A.Q. ppm
7384	46.96	10	7403	46.57	49
7393	79.29	34	7408	64.63	64
7394	51.74	18	7409	44.15	41
7395	78.57	38	7410	89.49	71
7396	46.34	20	7411	44.54	23
7397	38.77	11	7392	22.16	20
7398	49.34	21	7371	29.02	4
7399	90.10	46	7378	20.63	8
7400	81.33	45	7390	72.20	75
7412	44.18	31	7391	42.14	24
7413	85.71	63	7372	48.82	19
7414	53.05	65	7373	42.34	6
7415	96.34	125	7374	66.92	13
7416	92.16	99	7375	74.09	26
7417	83.89	57	7376	81.48	7
7419	94.44	93	7377	70.42	18
7420	91.40	113	7379	81.45	33
7421	77.86	189	7380	52.84	12
7422	42.32	11	7381	49.42	14
7423	34.68	6	7382	67.55	16
7424	37.66	32	7383	67.31	23
7404	91.84	82	7385	33.45	21
7405	76.91	51	7387	91.09	41
7406	92.92	42	7388	43.21	13
7407	53.79	26	7389	46.71	9
7402	30.93	47	7401	72.71	24

En el cuadro anterior se muestran los resultados del análisis químico (A.Q) por resinas de intercambio iónico correspondientes al elemento fósforo, y el promedio del porcentaje del rendimiento relativo (%RR) del cultivo indicador desarrollado en los distintos suelos.

Los contenidos de fósforo en el suelo, se encuentran situados en un rango que va desde 4 ppm hasta 189 ppm, lo cual permitió una variación de rendimientos y a su vez la determinación de la correlación del método de análisis.

En relación al rendimiento relativo, el cultivo indicador presento un rango que va desde 20.63 % hasta 96.34%, correspondiendo los rendimientos bajos a las cantidades de fósforo, como por ejemplo puede observarse que la muestra numero 7371 presento un contenido de fósforo de 4 ppm y un rendimiento de 29.02%.

**Cuadro 8.** Rendimiento relativo de sorgo y contenido de potasio en  $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  obtenido con la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.

Suelo	A.Q. $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$	% RR	Suelo	A.Q. $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$	% RR
7384	0.35	64.66	7408	0.48	75.61
7393	0.38	98.38	7409	0.37	94.64
7394	0.30	81.84	7410	0.33	94.55
7395	0.45	97.32	7411	1.16	87.77
7396	0.59	82.93	7392	0.44	72.43
7397	0.30	92.51	7371	0.41	69.72
7398	0.57	98.68	7378	0.41	73.24
7399	0.59	83.00	7390	0.34	72.54
7400	0.53	89.53	7372	0.81	98.92
7412	0.30	89.95	7373	0.25	97.97
7413	0.48	97.92	7374	0.16	96.75
7414	0.73	81.89	7375	0.38	85.76
7415	0.70	96.61	7377	0.34	98.86
7416	0.90	82.87	7379	0.30	97.01
7417	0.70	82.78	7380	0.10	98.86
7419	0.47	77.16	7381	0.77	99.22
7420	0.59	92.99	7382	0.39	94.13
7423	0.23	89.45	7383	0.43	92.94
7404	0.27	100.00	7385	0.33	89.27
7405	0.28	100.00	7387	0.36	89.77
7406	0.47	99.08	7388	0.41	68.72
7407	0.17	95.54	7389	0.43	94.61
7402	0.16	89.69	7401	1.05	83.26
7403	0.21	92.06			

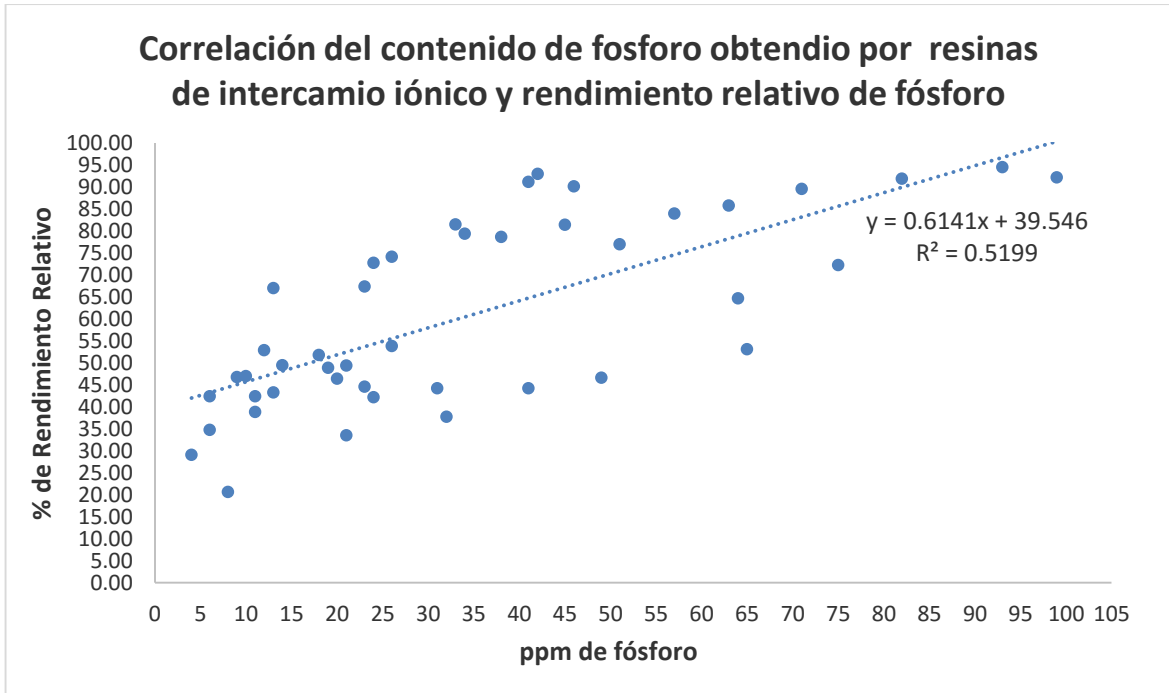
En el cuadro anterior se muestran los resultados del análisis químico (A.Q) por resinas de intercambio iónico correspondientes al elemento potasio, y el promedio del porcentaje del rendimiento relativo (%RR) del cultivo indicador desarrollado en los distintos suelos.

Los resultados del análisis químico para el elemento potasio se encuentran situados en un rango que va desde  $0.1 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  hasta  $1.16 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ , en relación al rendimiento relativo del cultivo indicador presento un rango comprendido desde 64.66 % hasta 100%, lo cual indica que las cantidades del elemento consideradas bajas, no presentaron rendimientos inferiores al 60%, como por ejemplo se puede observar que la muestra número 7371 que presento un contenido de potasio de  $0.1 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ , obtuvo un rendimiento de 98.86%.

### **2.6.1 Determinación de la correlación y nivel crítico para el elemento fósforo**

Para la determinación del nivel crítico de cualquier elemento en el suelo, existen diversos procedimientos, el método gráfico de Cate y Nelson es sencillo para determinar con muy buena aproximación, un primer nivel crítico. La determinación del nivel crítico para el elemento fósforo, puede observarse en las figuras 6 y 7.

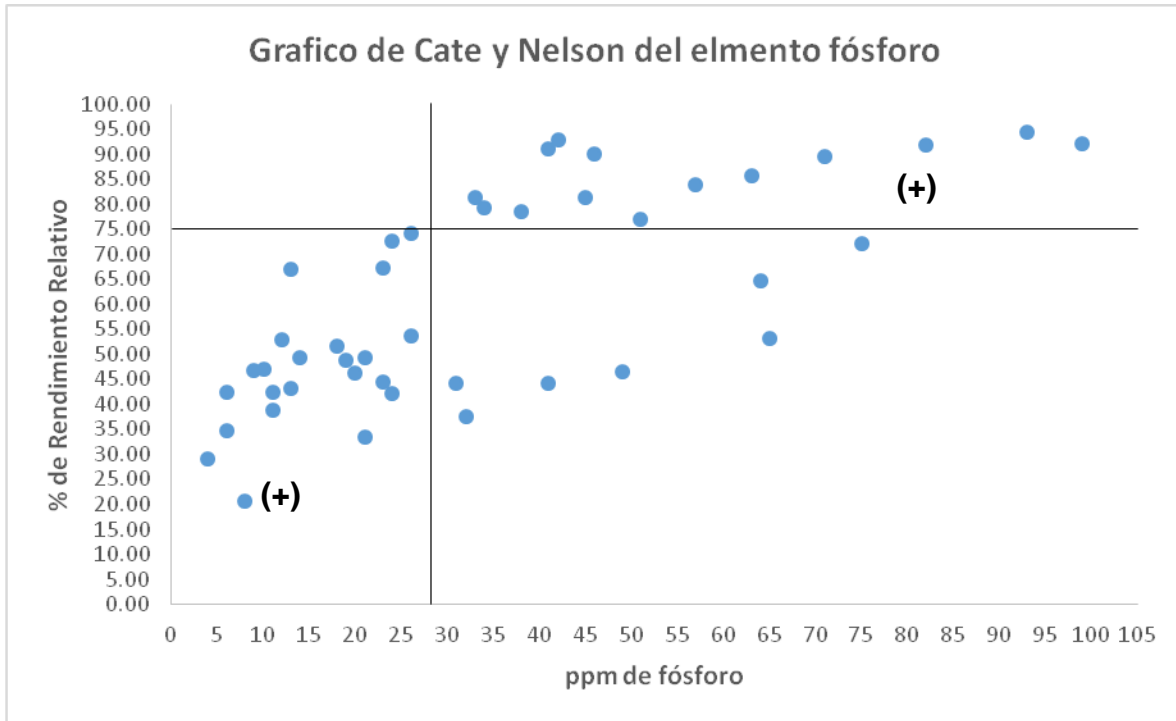




**Figura 6:** Correlación del fosforo con resina de intercambio iónico y el RR de sorgo.

En la figura anterior se presenta la determinación de la correlación para el elemento fósforo analizado mediante la metodología de extracción por resinas, para su efecto se utilizó el modelo lineal, dando como resultado un valor de coeficiente de correlación  $R^2$  de 0.5199, el cual representa el nivel de confiabilidad de la relación lineal que guarda el rendimiento relativo del cultivo indicador en función de las cantidades del elemento fósforo presente en el suelo.

De acuerdo con Ron (2003), cuando hay una asociación significativa entre variables, se ubican los cuadrantes en innumerables posiciones para cumplir la maximización de puntos en dos cuadrantes opuestos, lo anterior se da, debido a que las variables están correlacionadas. Muchos autores sitúan una confiabilidad en la determinación del nivel crítico, cuando se presentan coeficientes de correlación  $R^2$ , de 0.7 en adelante, por lo cual con la correlación encontrada puede realizarse una primera aproximación del nivel crítico de fósforo para el análisis químico utilizando la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, con una confiabilidad de 0.5199.



**Figura 7:** Gráfico de Cate y Nelson para determinar el nivel crítico de fósforo

En la figura anterior se presenta el cuadrante propuesto por Cate y Nelson para la determinación del nivel crítico, como se discutió con anterioridad, el método de análisis presenta un coeficiente de correlación de 0.5199, coeficiente que, se encuentra influenciado por un 16% de los suelos evaluados (atípicos), que presentaron niveles de fósforo considerados altos y rendimientos relativos del cultivo indicador inferiores al 75%.

Al excluir el 16% de los suelos que presentaron problemas y realizar un nuevo análisis de correlación, el coeficiente de correlación, da como resultado un  $R^2$  0.677, valor que se acerca al valor considerado por muchos autores como una confiabilidad aceptable; a su vez se determinó que esos suelos presentaron contenidos de Ca altos, de acuerdo con los niveles críticos presentados en el cuadro 10A (Ver cuadro 9).

**Cuadro 9.** Procedencia y niveles de fósforo, calcio y pH de suelos que presentaron un comportamiento anormal en la prueba de invernadero.

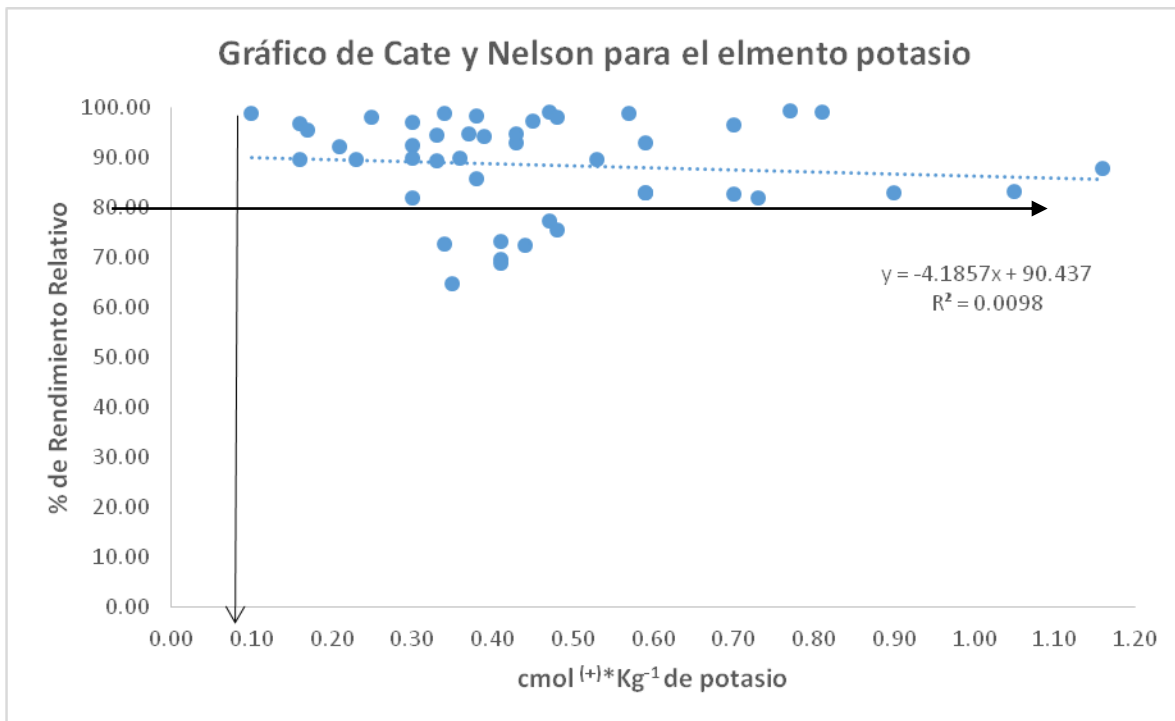
<b>Muestra</b>	<b>Procedencia</b>	<b>P (ppm)</b>	<b>Ca (cmol<sup>(+)</sup>*kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>pH</b>
7412	San Luis Peten	31	22	6.3
7424	Franja Transversal	32	21	6.9
7409	Franja Transversal	41	12	5.3
7403	Franja Transversal	49	21	5.3
7408	Franja Transversal	64	30	4.7
7414	San Luis Peten	65	23	6.4
7390	Franja Transversal	75	40	6.1

En el cuadro anterior puede observarse que los suelos que presentaron un comportamiento anormal en la prueba de invernadero, proceden de la Franja Transversal del Norte y de San Luis Petén, suelos que presentan un origen parental de roca caliza, lo cual da como resultado altos contenidos de calcio, lo anterior puede ser la causa del bajo porcentaje de rendimiento relativo, debido a los problemas que puede ocasionar dicha condición en la absorción del fósforo por parte del cultivo de sorgo, principalmente afectando mediante la formación de fosfatos de calcio insolubles (González, F. y Matos, T).

En relación a la determinación del nivel crítico, de acuerdo con el método gráfico de Cate y Nelson, se establece en 28 ppm (ver figura 7), puesto que este es el valor en que se corta el eje de las abscisas con el eje vertical del cuadrante situado de manera tal que la mayoría de los puntos se encuentren en los cuadrantes positivos.

### 2.6.2 Determinación de la correlación y nivel crítico para el elemento potasio.

A continuación se muestra el gráfico generado con los datos obtenidos mediante la ejecución de la investigación, correspondientes a la interacción generada por el rendimiento relativo del cultivo indicador y los niveles de potasio reportados mediante el análisis por resinas de intercambio iónico (figura 8).



**Figura 8.** Nivel crítico de potasio de los suelos investigados para la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.

En la figura anterior se muestra la distribución de los diferentes puntos obtenidos mediante la ejecución de la investigación, en el eje de las ordenadas (X) se muestran los resultados del análisis químico de suelo de potasio (K), expresado en  $\text{cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$  y en el eje de las abscisas (Y) se encuentra representado el porcentaje de rendimiento relativo (%RR), cada punto mostrado en el gráfico corresponde a la interacción entre el rendimiento relativo del cultivo y la cantidad del elemento potasio para los distintos suelos considerados en la ejecución de la investigación.

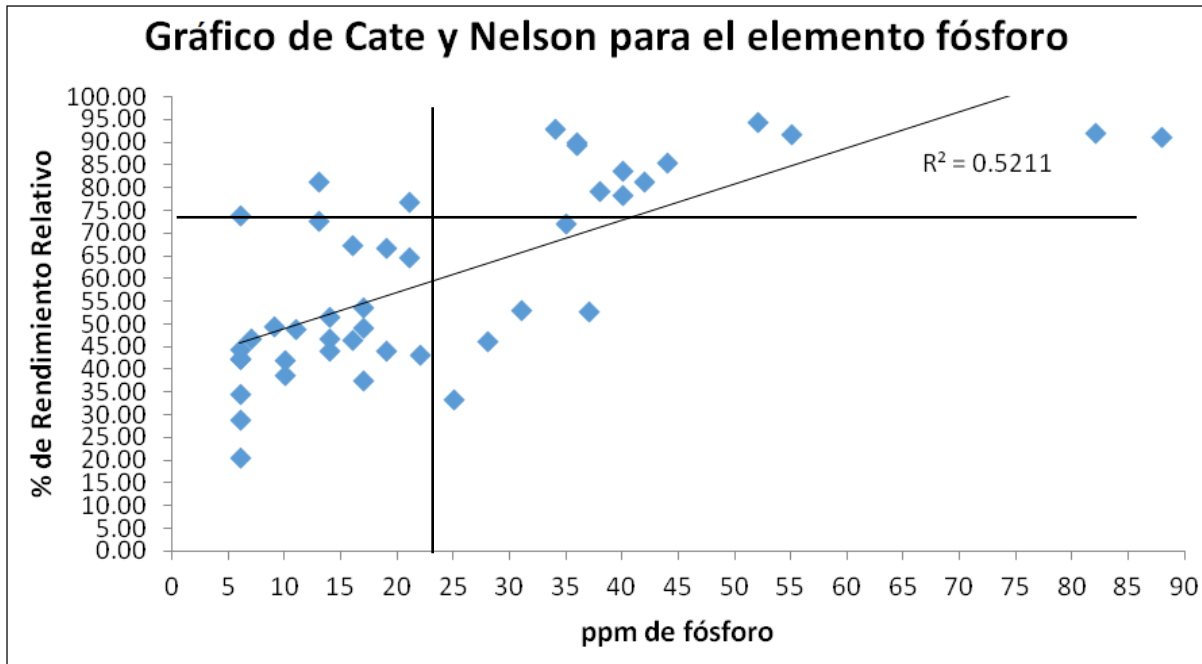
En relación a la determinación del coeficiente de correlación lineal  $R^2$ , el gráfico da como resultado 0.0098, por lo cual se dice que no se encontró correlación lineal entre el rendimiento relativo del cultivo indicador y las cantidades de potasio reportadas por el análisis de suelo.

La ausencia de correlación puede deberse a que, los rangos de contenidos de potasio no fueron amplios, ya que se sitúan en un rango entre  $1 \text{ cmol } (+) \cdot \text{kg}^{-1}$  hasta  $1.16 \text{ cmol } (+) \cdot \text{kg}^{-1}$ , el anterior rango no permitió tener una variabilidad amplia de contenidos de potasio y por influencia de los mismos no se presentó variabilidad en los rendimientos relativos del cultivo indicador.

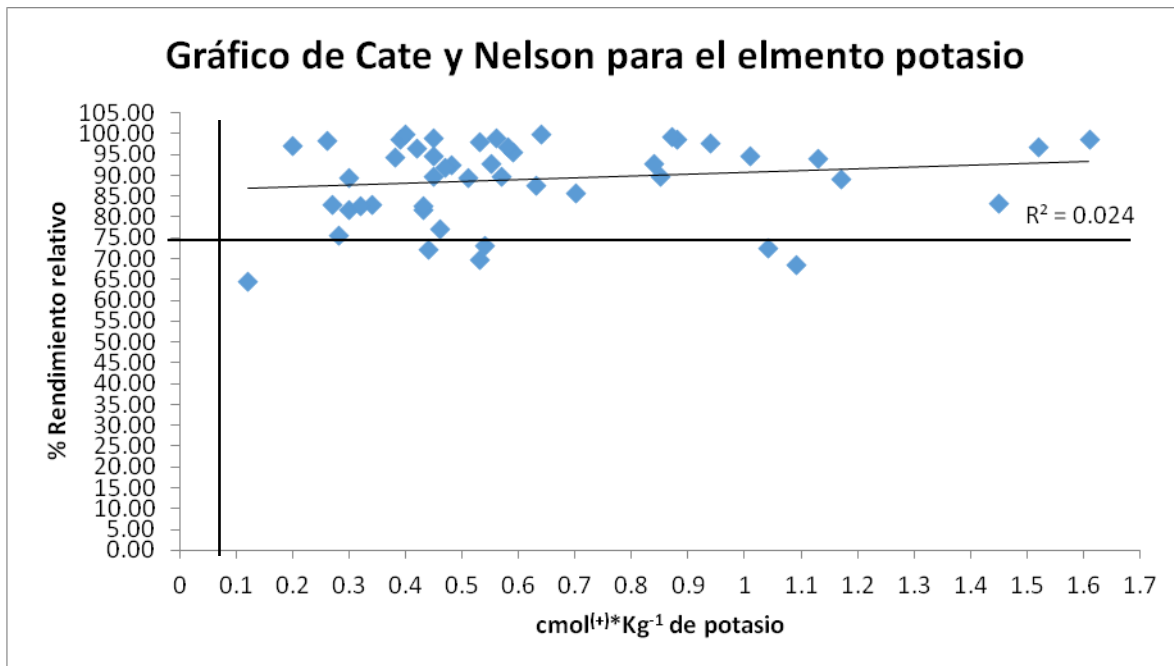
Debido a lo anterior, puede decirse que el nivel crítico de potasio para la metodología de extracción por resinas de intercambio se encuentra por debajo de  $0.08 \text{ cmol } (+) \cdot \text{kg}^{-1}$ , puesto que con cantidades de potasio arriba del mismo no se presentaron rendimientos relativos por debajo del 60%, es decir que el potasio se encuentran en niveles que permiten el desarrollo óptimo de los cultivo de sorgo utilizado como indicador.

### **2.6.3 Determinación de los niveles críticos utilizando la solución extractora Mehlich III**

Debido a que se contaba con los resultados del análisis químico de la solución extractora Mehlich III, cuya solución se utiliza en los análisis de rutina del laboratorio, se procedió a realizar la determinación del nivel crítico de ambos elementos, así como también la correlación entre ambos métodos de análisis, dicho análisis puede observarse en las figuras 9 y 10.



**Figura 9:** Gráfico de Cate y Nelson para determinar el nivel crítico de fósforo para la solución extractora Mehlich III.



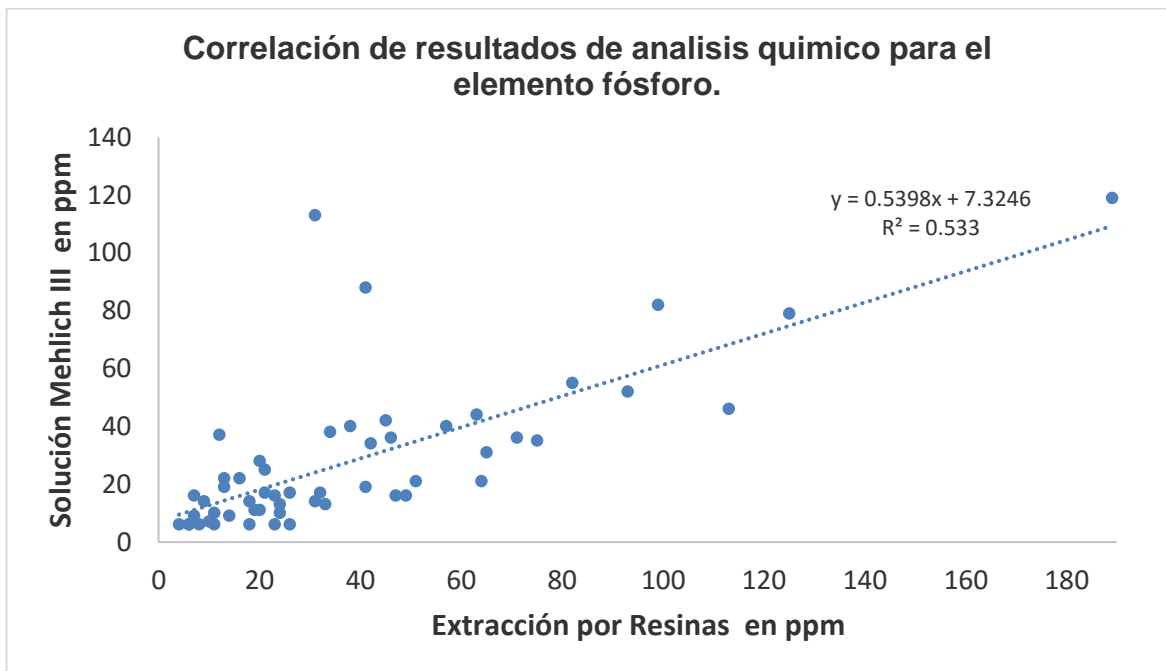
**Figura 10:** Gráfico de Cate y Nelson para determinar el nivel crítico de potasio para la solución extractora Mehlich III.

En las figuras anteriores, puede observarse los gráficos de Cate y Nelson utilizados en la determinación del nivel crítico de los elementos fósforo y potasio para la solución extractora Mehlich III, en la figura 9 se observa que, para el elemento fósforo se presenta un coeficiente de correlación de 0.52, y un nivel crítico de 24 ppm.

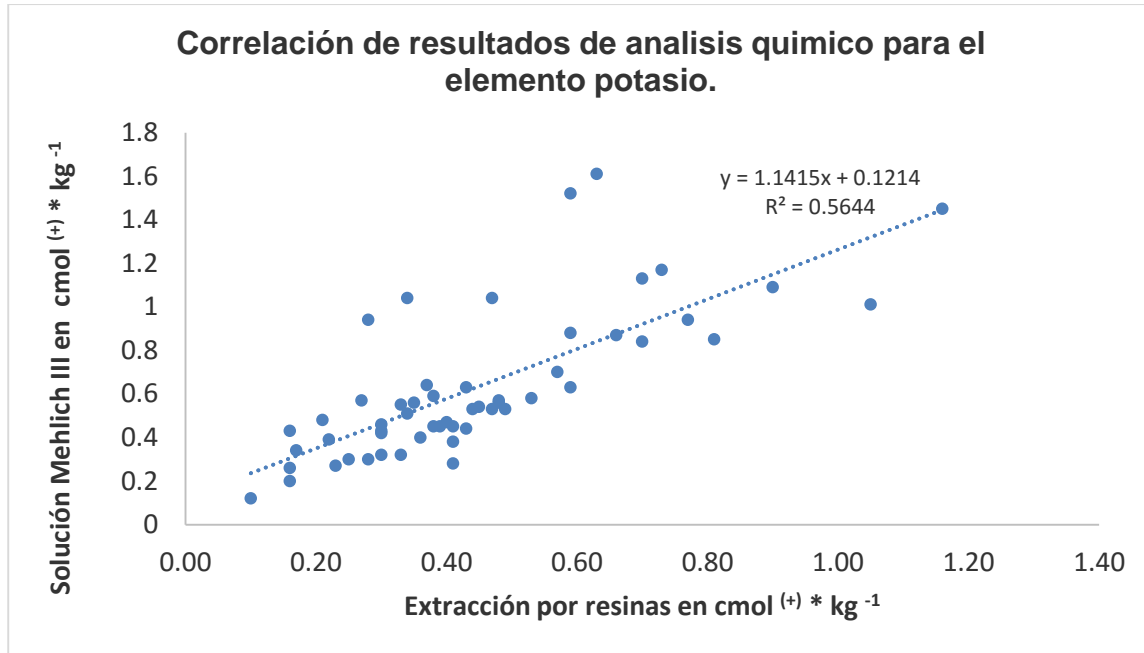
La figura 10 corresponde al elemento potasio, en el cual al igual que en la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, no se encontró una correlación lineal, puesto que el valor de  $R^2$  es de 0.024 esto debido a los mismos factores que con la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, así mismo se establece que el nivel crítico está por debajo de los  $0.08 \text{ cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

#### 2.6.4 Correlación de los métodos de análisis químico.

Debido a que se contaba con los resultados del análisis químico de la solución extractora Mehlich III y la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, se procedió a analizar la correlación que presentaban ambos métodos, producto de dicha correlación se presentan las figuras 11 y 12.



**Figura 11:** Correlación de resultados de análisis químico con dos diferentes métodos de análisis para el elemento fósforo.



**Figura 12:** Correlación de resultados de análisis químico con dos diferentes métodos de análisis para el elemento potasio.

La figura 11, muestra la correlación existente entre ambos métodos de análisis para el elemento fósforo, dando como resultado un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0.53.

Palma (1970), concluye en su trabajo que la determinación del fósforo disponible utilizando una resina de intercambio iónico, supera a los otros métodos químicos de análisis Mehlich, Olsen, Bray 1, Saunder y potenciales químicos ( $pH_2PO_4 + 0.5pCa$ ), para el caso de los suelos considerados en la investigación, la solución Mehlich III, presenta en algunos casos cantidades extraídas menores a las reportadas con resinas de intercambio iónico.

En la figura 12 se presenta la correlación existente entre ambos métodos para el elemento potasio, para este elemento la correlación presenta un coeficiente  $R^2$  de 0.56, dicho valor indica con una confiabilidad de 0.56 que ambos métodos son capaces de extraer cantidades similares del elemento.



## 2.7 CONCLUSIONES

1. La correlación lineal existente entre el porcentaje de rendimiento relativo y las cantidades de elementos extraídas mediante la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, para el elemento fósforo fue de 0.5199, para el elemento potasio no se encontró una correlación lineal, la ausencia de correlación puede deberse a que el rango de contenido de potasio disponible en los suelos evaluados en la investigación va desde  $1 \text{ cmol}^{(+)} * \text{kg}^{-1}$  hasta  $1.16 \text{ cmol}^{(+)} * \text{kg}^{-1}$
2. El nivel crítico del elemento fósforo para la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico fue establecido en 28 ppm en base al método gráfico de Cate y Nelson, para el caso del potasio, debido a que no presentó correlación no fue posible determinar el nivel crítico mediante el método gráfico de Cate y Nelson, sin embargo, se infiere que este puede estar situado por debajo de  $0.08 \text{ cmol}^{(+)} * \text{kg}^{-1}$ .

## 2.8 RECOMENDACIONES

1. Calibrar los resultados obtenidos a nivel de invernadero, en el campo definitivo, para obtener un valor de nivel crítico más certero para el cultivo de palma africana, considerando evaluar también la solución extractora Mehlich III.
2. Enfocar estudios de fosforo en los suelos de altos contenidos de calcio, principalmente del área de San Luis Petén y la Franja Transversal del Norte, con la finalidad de mejorar la absorción de los diversos nutrientes por parte del cultivo.

## 2.9 BIBLIOGRAFÍA

1. Barillas, J. 1987. Determinación del rango y nivel de concentración crítica de fósforo y potasio con dos metodologías de extracción, en las series de suelos Guatemala y Patzite. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 46 p.
2. Barrera Rangel, MR. 2006. Costos y rentabilidad de unidades artesanales (carpintería): municipio de Fray Bartolomé De Las Casas departamento de Alta Verapaz. Tesis Lic. Contador Púb. y Audit. Guatemala, USAC, Facultad de Ciencias Económicas. 176 p.
3. Díaz, RR; Hunter, A. 1982. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelo y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 44-68.
4. Farfán Reyes, SE. 2007. Estudio de la fertilidad de los suelos de la finca El Chapín, cultivada con palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq), en el municipio de El Estor, departamento de Izabal. Informe Graduación Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 80 p.
5. González, F; Matos, T. 2013. Sobre la fijación del fósforo en suelos calizos (en línea). Sevilla, España, Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. P. 1352-1355. Consultado 19 nov. 2015. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/78801/1/Sobre%20la%20fijaci%C3%B3n%20del%20f%C3%B3sforo%20en%20suelos%20calizos.pdf>
6. Herrarte Orantes, JM. 1987. Correlación de tres soluciones extractoras de fósforo y determinación del nivel crítico, bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Centro Universitario de Occidente. 31 p.
7. Molina, E. 2007. Análisis de suelo y su interpretación. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. 8 p.
8. Oliveira, J; Khouri, E; López, M. 2006. Análisis de suelos y plantas y recomendaciones de abonado: técnicas de muestreo y métodos analíticos. España, Universidad de Oviedo. 161 p.
9. Palma Vargas, G. 1970. Uso de resinas de intercambio iónico para evaluar la disponibilidad de fósforo en suelos (en línea). Turrialba, Costa Rica, IICA, Centro de Enseñanza e Investigación, Departamento de Fitotecnia y Suelos. Consultado 18 feb. 2014. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3089E/A3089E.PDF>
10. Peralta Santos, MG. 2000. Determinación del nivel crítico de fósforo, azufre y zinc en Andisoles y Ultisoles de la región cafetalera sur de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 71 p.

11. Raij, B; Cantarella, H; Quaggio, J; Prochnow, L. 2009. Resina de intercambio iónico para determinar la disponibilidad de fósforo en el suelo (en línea). IPNI.net, Informaciones Agronómicas. p. 11-14. Consultado 13 feb. 2014. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/C8C571780677C47305257627006EAF0E/\\$file/Resina+de+intercambio+i%C3%B3nico+para+determinar+la+disponibilidad.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/C8C571780677C47305257627006EAF0E/$file/Resina+de+intercambio+i%C3%B3nico+para+determinar+la+disponibilidad.pdf)
12. Ramos Santos, NA. 2003. Evaluación del fósforo extraído con dos soluciones extractoras en 19 suelos del altiplano occidental de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 51 p.
13. Rodríguez, P; Lema, MJ; González, G; González, S. 2005. Evaluación del reactivo Mehlich III como extractante multielemental (en línea). *In* Congreso de Ciencias Hortícolas (5, 2005, BR). Porto, Portugal, Brasil, EFADIP. Consultado 12 feb. 2014. Disponible en [http://www.efadip.org/comun/publicaciones/comunicaciones/2005/Mehlich\\_3.pdf](http://www.efadip.org/comun/publicaciones/comunicaciones/2005/Mehlich_3.pdf)
14. Ron, MM. 2003. Calibración de análisis de suelos: niveles y paradigmas. Bahía Blanca, Argentina, Informaciones Agronómicas del Cono Sur 17:13-18.
15. Salisbur, S; Christensen, N. 2001. Uso de resinas de intercambio para medir el efecto de las rotaciones en la disponibilidad de nutrientes (en línea). Canadá, Instituto de la Potasa y el Fósforo, Informaciones Agronómicas no. 42. 3 p. Consultado 20 feb. 2014. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/9BBEB9E2962EB7B8852579A300790773/\\$FILE/Usode%20resinas.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/9BBEB9E2962EB7B8852579A300790773/$FILE/Usode%20resinas.pdf)
16. Tobías, H; Lira, IE. 2000. Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la república de Guatemala, a escala 1:250,000. Guatemala, MAGA. 44 p.
17. Van Raij, B; Cantarella, H; Quaggio, JA; Prochnow, I. 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Brasil, Instituto Agrônômico. 285 p.
18. Yool Rosales, ER. 2001. 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. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 55 p.

## 2.10 ANEXOS

**Cuadro 10A.** Cuadro de niveles críticos en la producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), utilizados en la empresa NaturAceites S.A.

SUELO		Bajo	Medio	Óptimo	Alto
p H		<4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	>6.5
Ca	Cmol(+)/l	<2	2-4	4-15	>15
Mg		<0.5	0.5-1.1	1.1-2.5	>2.5
K		<0.2	0.2-0.4	0.4-0.9	>0.9
Acides			0.3-1.0	<0.3	>1.0
SA	%		10-30	<10	>30
P		<6	6-15	15-25	>25
Fe		<5	5-30	30-100	>100
Cu	mg/l	<1	1-5	5-20	>20
Zn		<2	2-3	3-10	>10
Mn		<5	5-30	30-100	>100
B		<0.2	0.2-0.5	0.5-3.0	>3.0
S		<12	12-20	20-50	>50
MO	%	<2	2-5	5-10	>10
Ca/Mg		<2		2-5	>5
Ca/K		<5		5-25	>25
Mg/K		<2.5		2.5-15	>15
(Ca+Mg)/K		<10		10-40	>40

**Cuadro 11A.** Descripción de los tratamientos aplicados en la investigación.

<b>No</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
1	T1S1	Tratamiento óptimo, suelo Pataxte p.10205
2	T1S2	Tratamiento óptimo, suelo Chabiland p.10403
3	T1S3	Tratamiento óptimo, suelo El Chapin p.10105
4	T1S4	Tratamiento óptimo, suelo Rio Zarco p. 10302
5	T1S5	Tratamiento óptimo, suelo Chabiland p.10410
6	T1S6	Tratamiento óptimo, suelo Panacte p.10640
7	T1S7	Tratamiento óptimo, suelo El Chapin p.10139
8	T1S8	Tratamiento óptimo, suelo Pataxte p.10219
9	T1S9	Tratamiento óptimo, suelo Panacte p.10637
10	T1S10	Tratamiento óptimo, suelo Machacas p.30203
11	T1S11	Tratamiento óptimo, suelo Machacas p.30233
12	T1S12	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30142
13	T1S13	Tratamiento óptimo, suelo Machacas p.30204
14	T1S14	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30139
15	T1S15	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30115
16	T1S16	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30149
17	T1S17	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30125
18	T1S18	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30144
19	T1S19	Tratamiento óptimo, suelo Rosario p.20252
20	T1S20	Tratamiento óptimo, suelo Yalcobé p.20107
21	T1S21	Tratamiento óptimo, suelo Yalcobé p.20115
22	T1S22	Tratamiento óptimo, suelo Sacol p.20419
23	T1S23	Tratamiento óptimo, suelo La Bacadilla p.20511
24	T1S24	Tratamiento óptimo, suelo Peñita p.20312
25	T1S25	Tratamiento óptimo, suelo El Canaleño p.20613
26	T1S26	Tratamiento óptimo, suelo Sacol p.20433
27	T1S27	Tratamiento óptimo, suelo Rosario p.20221
28	T1S28	Tratamiento óptimo, suelo La Bacadilla p.20503
29	T1S29	Tratamiento óptimo, suelo Sacol p.20404
30	T1S30	Tratamiento óptimo, suelo El Canaleño p.20636
31	T1S31	Tratamiento óptimo, suelo La Bacadilla p.20508
32	T1S32	Tratamiento óptimo, suelo Rosario p.20230
33	T1S33	Tratamiento óptimo, suelo Sacol p.20418
34	T1S34	Tratamiento óptimo, suelo Rosario p.20229
35	T1S35	Tratamiento óptimo, suelo Peñita p.20314

"Continua página siguiente"

"Viene página anterior"

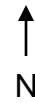
36	T1S36	Tratamiento óptimo, suelo Yalcobé p.20120
37	T1S37	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30103
38	T1S38	Tratamiento óptimo, suelo Machacas p.30205
39	T1S39	Tratamiento óptimo, suelo Machacas p.30233
40	T1S40	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30140
41	T1S41	Tratamiento óptimo, suelo Machacas p.30238
42	T1S42	Tratamiento óptimo, suelo Machacas p.30220
43	T1S43	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30141
44	T1S44	Tratamiento óptimo, suelo Machacas p.30217
45	T1S45	Tratamiento óptimo, suelo San Martin p.30123
46	T1S46	Tratamiento óptimo, suelo Panacte p.10607
47	T1S47	Tratamiento óptimo, suelo Panacte p.10620
48	T1S48	Tratamiento óptimo, suelo El Chapin p.10120
49	T1S49	Tratamiento óptimo, suelo Pataxte p.10212
50	T1S50	Tratamiento óptimo, suelo La Cabaña p.10503
51	T1S51	Tratamiento óptimo, suelo El Chapin p.10117
52	T1S52	Tratamiento óptimo, suelo Pataxte p.10214
53	T1S53	Tratamiento óptimo, suelo Rio Zarco p. 10303
54	T1S54	Tratamiento óptimo, suelo Chabiland p.10403
55	T2S1	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Pataxte p.10205
56	T2S2	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Chabiland p.10403
57	T2S3	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo El Chapin p.10105
58	T2S4	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Rio Zarco 2-3 RZ51
59	T2S5	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Chabiland p.10410
60	T2S6	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Panacte p.10640
61	T2S7	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo El Chapín p.10139
62	T2S8	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Pataxte p.10219
63	T2S9	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Panacte p.10637
64	T2S10	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Machacas p.30203
65	T2S11	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Machacas p.30233
66	T2S12	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo San Martin p.30142
67	T2S13	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Machacas p.30204
68	T2S14	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo San Martin p.30139
69	T2S15	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo San Martin p.30115
70	T2S16	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo San Martin p.30149
71	T2S17	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo San Martin p.30125

"Continúa página siguiente"

“Viene página anterior”

72	T2S18	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo San Martin p.30144
73	T2S19	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Rosario p.20252
74	T2S20	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Yalcobé p.20107
75	T2S21	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Yalcobé p.20115
76	T2S22	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Sacol p.20419
77	T2S23	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo La Bacadilla p.20511
78	T2S24	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Peñita p.20312
79	T2S25	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo El Canaleño p.20613
80	T2S26	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Sacol p.20433
81	T2S27	Tratamiento óptimo menos potasio, suelo Rosario p.20221
82	T2S28	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo La Bacadilla p.20503
83	T2S29	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Sacol p.20404
84	T2S30	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo El Canaleño p.20636
85	T2S31	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo La Bacadilla p.20508
86	T2S32	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Rosario p.20230
87	T2S33	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Sacol p.20418
88	T2S34	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Rosario p.20229
89	T2S35	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Peñita p.20314
90	T2S36	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Yalcobé p.20120
91	T2S37	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo San Martin p.30103
92	T2S38	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Machacas p.30205
93	T2S39	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Machacas p.30233
94	T2S40	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo San Martin p.30140
95	T2S41	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Machacas p.30238
96	T2S42	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Machacas p.30220
97	T2S43	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo San Martin p.30141
98	T2S44	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Machacas p.30217
99	T2S45	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo San Martin p.30123
100	T2S46	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Panacte p.10607
101	T2S47	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Panacte p.10620
102	T2S48	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo El Chapín p.10120
103	T2S49	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Pataxte p.10212
104	T2S50	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo La Cabaña p.10503
105	T2S51	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo El Chapin p.10117
106	T2S52	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Pataxte p.10214
107	T2S53	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Rio Zarco p.10301
108	T2S54	Tratamiento óptimo menos fósforo, suelo Chabiland p.10403





**Cuadro 12A.** Croquis de campo de la investigación

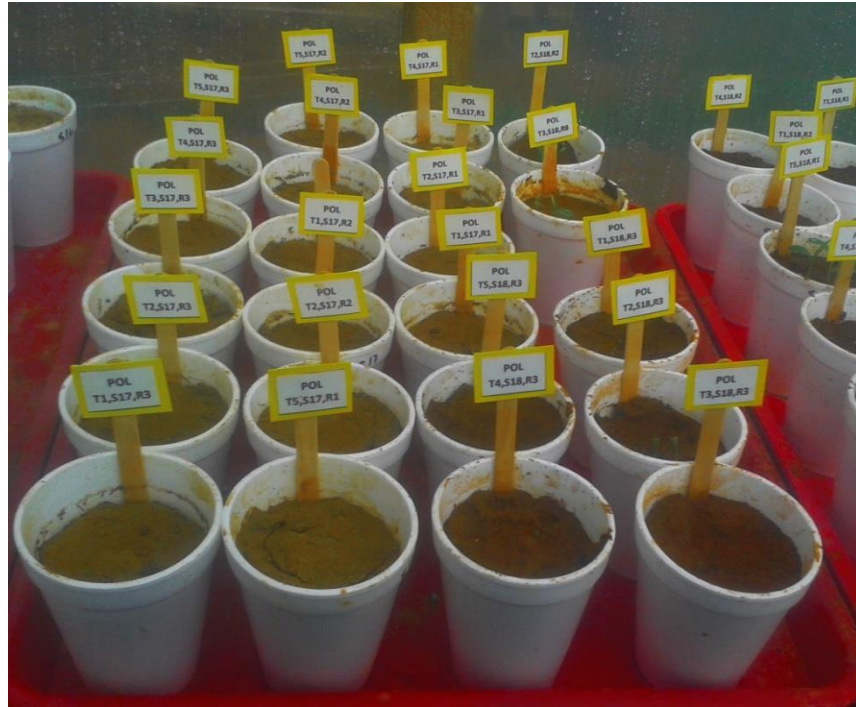
T2S42R1	T2S9R1	T1S50R1	T2S34R1	T2S43R1	T2S21R1	T1S14R1	T1S10R1	T1S19R1	T1S13R1	T2S40R1	T1S4R1	T1S5R1	T1S27R1	T2S33R1	T2S8R1	T1S42R1	T2S53R1
T2S37R1	T1S49R1	T2S6R1	T2S37R2	T1S54R1	T2S11R1	T2S31R1	T1S20R1	T1S38R1	T1S23R1	T2S48R1	T2S26R1	T1S7R1	T2S24R1	T2S17R1	T1S28R1	T1S6R1	T1S51R1
T2S46R1	T1S45R1	T2S22R1	T1S28R2	T1S4R2	T2S40R2	T1S21R1	T2S16R1	T2S47R1	T2S7R1	T1S1R1	T1S9R1	T1S18R1	T2S39R1	T2S36R1	T1S22R1	T2S32R1	T1S50R2
T2S19R1	T2S15R1	T2S42R2	T2S18R1	T1S49R2	T2S3R1	T1S29R1	T1S39R1	T1S40R1	T2S4R1	T1S46R1	T2S40R3	T1S11R1	T2S7R1	T1S1R2	T1S3R1	T2S29R1	T2S42R2
T1S50R3	T2S33R1	T2S25R1	T1S2R1	T2S5R1	T1S48R1	T1S26R1	T2S15R2	T2S30R1	T1S17R1	T2S32R2	T1S41R1	T2S29R2	T2S20R1	T2S35R1	T2S38R1	T1S43R1	T2S49R1
T2S43R2	T2S39R2	T2S41R1	T2S13R1	T1S44R1	T1S47R1	T1S12R1	T2S13R2	T1S37R1	T2S9R1	T1S30R1	T1S46R2	T2S44R1	T1S2R2	T1S52R1	T1S24R1	T2S50R1	T1S31R1
T2S24R2	T2S27R1	T1S49R3	T2S9R2	T2S2R1	T1S16R1	T2S38R2	T2S12R1	T1S20R2	T1S42R2	T1S15R1	T2S19R2	T2S14R1	T2S7R3	T1S8R1	T2S51R1	T2S35R2	T1S10R2
T1S23R2	T2S48R2	T2S38R3	T2S10R2	T2S26R2	T1S25R1	T1S53R1	T2S12R2	T1S29R2	T1S30R2	T1S34R1	T1S17R2	T2S19R3	T2S23R1	T2S28R1	T2S52R1	T2S45R1	T2S1R1
T2S28R2	T2S10R3	T2S24R3	T2S27R2	T1S32R1	T2S6R2	T2S39R3	T2S54R1	T1S45R2	T1S36R1	T1S41R2	T2S52R2	T1S1R3	T1S6R2	T1S33R1	T1S27R2	T2S31R2	T1S14R2
T1S5R2	T1S35R1	T1S7R2	T2S9R3	T2S1R2	T2S31R3	T1S31R2	T2S16R2	T2S50R2	T2S22R2	T2S20R2	T2S36R2	T1S36R2	T2S36R3	T1S39R2	T1S48R2	T1S28R3	T1S4R3
T2S53R2	T2S41R2	T1S23R3	T2S46R2	T1S47R2	T2S11R2	T2S37R3	T2S3R2	T1S18R2	T2S46R3	T1S32R2	T1S3R2	T2S28R3	T1S53R2	T1S48R3	T1S42R3	T2S51R2	T2S4R2
T1S43R2	T1S27R3	T2S29R3	T2S21R2	T2S34R2	T1S35R2	T1S40R2	T1S33R2	T1S51R2	T2S4R3	T1S44R2	T1S47R3	T1S12R2	T1S22R2	T1S26R2	T1S16R2	T1S14R3	T1S21R2
T1S17R3	T2S17R2	T1S19R2	T1S29R3	T1S24R2	T1S13R2	T2S54R2	T2S47R2	T2S49R2	T2S23R2	T2S5R2	T2S18R2	T2S23R3	T1S54R2	T1S11R2	T1S8R2	T1S15R2	T1S9R2
T1S7R3	T1S25R2	T1S38R2	T1S34R2	T2S30R2	T2S44R2	T2S41R3	T2S30R3	T2S34R3	T2S45R2	T2S51R3	T2S8R2	T1S37R2	T1S38R3	T1S24R3	T1S11R3	T1S25R3	T1S44R3
T2S2R2	T1S52R2	T2S5R3	T2S6R3	T1S2R3	T1S37R3	T1S3R3	T2S25R2	T1S45R3	T2S54R3	T2S21R3	T1S12R3	T1S52R3	T1S18R3	T2S26R3	T1S16R3	T2S43R3	T2S49R3
T2S35R3	T2S22R3	T1S15R3	T1S26R3	T1S41R3	T1S53R3	T1S33R3	T1S5R3	T2S44R3	T2S50R3	T1S39R3	T1S54R3	T2S1R3	T2S3R3	T2S15R3	T2S14R2	T2S45R3	T2S48R3
T2S25R3	T1S46R3	T2S27R3	T2S53R3	T1S19R3	T2S47R3	T1S36R3	T2S52R3	T1S22R3	T2S2R3	T2S8R3	T1S6R3	T1S51R3	T2S33R3	T2S14R3	T2S20R3	T1S8R3	T2S32R3
T1S9R3	T1S13R3	T1S31R3	T1S21R3	T2S11R3	T1S10R3	T1S20R3	T2S12R3	T1S35R3	T2S17R3	T1S40R3	T1S30R3	T2S18R3	T1S34R3	T2S16R3	T1S32R3	T2S13R3	T1S43R3



**Figura 13A.** Toma de muestras de suelo



**Figura 14 A.** Secado de las muestras de suelo.



**Figura 15A.** Identificación y de unidades experimentales



**Figura 16A.** Desarrollo del cultivo en las diversas unidades experimentales a los treinta días luego de la siembra.



### **CAPITULO III**

**SERVICIOS PRESTADOS EN FINCA YALCOBÉ, NATURACEITES, FRAY BARTOLOMÉ DE LAS CASAS, ALTA VERAPAZ.**

### 3.1 PRESENTACIÓN

La elaboración de un diagnóstico de un área, permite obtener información que facilita la identificación y jerarquización de los problemas o problemáticas que se presentan, dichos problemas pueden ser afrontados mediante una adecuada planificación y ejecución de servicios profesionales, por lo cual dentro del laboratorio de análisis de suelo y foliares NaturAlab, ubicado en la Finca Yalcobé, NaturAceites, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz, se implementó un plan de servicios que permitió contribuir en la solución de problemas que fueron identificados mediante la elaboración del diagnóstico realizado.

El laboratorio NaturAlab, forma parte de la división del departamento técnico agrícola de la empresa productora de aceite de palma africana NaturAceites S.A., la cual cuenta actualmente con 15 fincas de producción ubicadas en tres regiones diferentes, siendo estas San Luis Peten, Franja Transversal del Norte y El Polochic, el laboratorio como tal esta acentuado en la región de la Franja Transversal del Norte en la finca Yalcobé, cuya finca cuenta con una extensión territorial de 633.9 ha y es en esta finca la que se considera como central en dicha región.

Los servicios realizados tienen la finalidad primordial de permitir la agilización de los procedimientos llevados a cabo dentro del laboratorio así como también darle solución a los problemas identificados, los servicios realizados en dicha finca son: Sistematización y cuantificación del uso y disponibilidad de Reactivos, Cristalería y equipo utilizado en el laboratorio NaturAlab, Optimización del proceso de secado de las muestras de suelo y tejido vegetal que ingresan en el laboratorio NaturAlab y Colaboración y elaboración de instructivos de procedimiento para el análisis de suelo por resinas de intercambio iónico.

Para cada servicio mencionado con anterioridad se describe en el presente la metodología que se siguió, para dar cumplimiento a los objetivos propuestos para cada uno de ellos, así como también algunos ejemplos de los resultados obtenidos mediante la correcta implementación de dichos servicios, lo cual permitió mejorar los procesos y dar soluciones a los problemas identificados mediante el diagnóstico.

### **3.2 ÁREA DE INFLUENCIA**

Los servicios fueron ejecutados dentro del laboratorio de análisis de suelo y foliares NaturAlab, el cual forma parte de la división del Departamento técnico agrícola de la empresa productora de aceite de palma NaturAceites S.A., la ubicación exacta del laboratorio es dentro del casco de la finca Yalcobé perteneciente a la misma empresa.

La finca Yalcobé se encuentra ubicada en el kilómetro 410, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz, la ubicación geográfica de la finca son las coordenadas 15°50'44" latitud Norte, 89°51'57" longitud Oeste, su altitud es de 146.34 metros sobre el nivel del mar, con una extensión territorial de 633.9 ha.

El municipio de Fray Bartolomé de las Casas se encuentra al nororiente el departamento de Alta Verapaz, que dista a 325 km de la ciudad capital por lo cual el tiempo promedio de viaje es de 7 horas y media, así mismo dicho municipio consta de una extensión territorial de 1220 km<sup>2</sup>

### **3.3 OBJETIVO GENERAL**

Contribuir en la solución de los principales problemas presentes dentro del laboratorio de análisis de suelo y foliares NaturAlab, identificados mediante el diagnóstico, así como también apoyar en el análisis de muestras mediante la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.

### **3.4 SERVICIOS PRESTADOS**

#### **3.4.1 Sistematización y cuantificación del uso y disponibilidad de reactivos, cristalería y equipo utilizado en el laboratorio NaturAlab.**

##### **A. Objetivos Específicos:**

- a. Cuantificar la cantidad de cristalería y equipo disponibles dentro del laboratorio.
- b. Sistematizar la información sobre la disponibilidad y uso de reactivos, cristalería y equipo dentro del laboratorio.
- c. Garantizar la disponibilidad de reactivos y cristalería para llevar a cabo un análisis mínimo de 2000 muestras al mes.

##### **B. Metodología**

###### **a. Cuantificación de la cantidad de cristalería y equipo**

Se verificó la cantidad de cada uno de los diferentes equipos y cristalería utilizado en el laboratorio así como también todos aquellos que se encontraban almacenados con el objetivo de realizar un inventario.

###### **b. Sistematización de información**

Se establecieron los protocolos pertinentes que permitieron implementar dentro del laboratorio un inventario electrónico con la finalidad de tener un adecuado control sobre el

uso y disponibilidad de reactivos, cristalería y equipo dentro del laboratorio y en la bodega de almacenamiento.

### **c. Garantización de la disponibilidad de reactivos, cristalería y equipo**

Se realizaron todos los cálculos pertinentes para determinar la cantidad mínima de reactivos que debe de estar en existencias para analizar un mínimo de 2000 muestras al mes

### **C. Evaluación.**

- A. Se estableció un control de forma electrónica sobre el uso y disponibilidad de insumos, reactivos y cristalería mediante la utilización del programa Microsoft Excel, generando a su vez un sistema de alertas para identificar de mejor manera los reactivos que son necesarios realizar pedidos.
  
- B. Se determinaron las cantidades mínimas de reactivos con las que se debe de contar en disponibilidad para lograr realizar el análisis de al menos un total de 2000 muestras mensuales, siendo dichas cantidades las siguientes:



**Cuadro 13:** Cantidades mínimas de reactivos necesarios para realizar análisis de rutina a 2000 muestras mensuales.

<b>Reactivo</b>	<b>Presentación</b>	<b>Medida</b>	<b>mínimo reactivo</b>
Ácido Acético	2.5	litro	1
Ácido Clorhídrico 1N	1	ampolla	1
Ácido Nítrico	2.5	litro	5
Acido Orto Fosfórico	2.5	litro	9
Ácido Sulfúrico	2.5	litro	17
Etanol	1	galón	1
Hidróxido de Sodio 0.1N	1	ampolla	1
Hidróxido de Sodio 1N	1	ampolla	1
Difenilamina	100	g	1
Fenolftaleína	100	g	1
Cloruro de Potasio	1	kg	9
Dicromato de Potasio	500	g	3
Fluoruro de Amonio	1	kg	1
Nitrato de Amonio	500	g	3
Sal Disodica de Ácido Etilendinitrilotetraacetico	1	kg	1
Sulfato de Hierro II Heptahidratado	500	g	10

- C. Se realizó un conteo general del tipo y número de cristalería existente dentro del laboratorio, con el fin de inventariar y tener un control adecuado.

## D. Constancias

Reactivos utilizados en Análisis Rutinarios del laboratorio de análisis de suelo y foliares Naturalab								
Nombre	Reactivo	Clasificación	Presentación	INVENTARIO	Ingreso	Egreso	Saldo	# Muestras
	Acido Acetico	Acido	2.5L	6	0	0	6	29348
Titrisol	Acido Clorhidrico (HCl) 0.1 N	Acido	1amp	12	0	0	12	270000
	Acido Nitrico	Acido	2.5L	22	0	0	22	10807
	Acido OrtoFosforico	Acido	2.5L	18	0	0	18	4412
	Acido Sulfurico	Acido	2.5L	5	0	0	5	592
	Etanol	Alcohol	1 galon	1	0	0	1	18925
Titrisol	Hidroxido de Sodio 0.1N (NaOH)	Base	1amp	40	0	0	40	9000
Titrisol	Hidroxido de Sodio 1N (NaOH)	Base	1amp	4	0	0	4	90000
	Difenilamina (C12H11N)	Organico	100g	1	0	0	1	43200
	Fenolftaleina (C20H14O4)	Organico	100g	1	0	0	1	450000
	Cloruro de Potasio (KCl)	Sal	1Kg	26	0	0	26	6282
	Dicromato de Potasio (K2Cr2O7)	Sal	500g	12	0	0	12	10800
	Fluoruro de Amonio (FH4NO3)	Sal	1kg	15	0	0	15	534557
	Nitrato de Amonio (NH4NO3)	Sal	500g	10	0	0	10	5625
Titriplex III	Sal Disodica de Acido Etilendinitrilotetraacetico (C10H14N2Na2O82H2O)	Sal	1Kg	2	0	0	2	135524
	Sulfato de Hierro II Heptahidratado (FeSO4.7H2O)	Sal	500 g	0	0	0	0	0
	Fluoruro de Sodio (NaF)	Sal	500g	0	0	0	0	0

Criterios	
	Programar pedido (Reactivo proximo a llegar al limite de 2000 muestras/mes)
	Realizar pedido (Reactivo no cubre el limite de 2000 muestras/mes)

Figura 17: Hoja electrónica, control de reactivos utilizados en el análisis rutinario.

Reactivos utilizados en Análisis Eventuales (resinas, acidez total) del laboratorio de análisis de suelo y foliares Naturalab								
Nombre	Reactivo	Clasificación	Presentación	INVENTARIO	Ingreso	Egreso	Saldo	# Muestras
	Bicarbonato de Sodio	Sal	500 g	5	0	0	5	2143
	Cloruro de Amonio (NH4Cl)	Sal	1 kg	7	0	0	7	1812
	Acido Clorhidrico (HCl)	Acido	2.5L	4	0	0	4	10557
	Cloruro Dihidrato de Calcio (CaCl2 2H2O)	Sal	500g	2	0	0	2	100000
	Fostato acido de Potasio (KH2PO4)	Sal	1kg	1	0	0	1	80000
Emsure	Sulfato de Magnesio Heptahidratado (MgSO4*7H2O)	Sal	500g	0	0	0	0	0
	Hidroxido de Sodio (NaOH)	Base	5kg	2	0	0	2	18000
	Cromato de Potasio (K2CrO4)	Sal	250g	0	0	0	0	0
	Tripolifosfato de Sodio	Sal	1Kg	4	0	0	3	720.00

Criterios	
	Programar pedido (Reactivo proximo a llegar al limite de 2000 muestras/mes)
	Realizar pedido (Reactivo no cubre el limite de 2000 muestras/mes)

Figura 18: Hoja electrónica, control de reactivos utilizados en el análisis eventuales.

Insumos Varios utilizados en labores dentro del Laboratorio						
Reactivo	Clasificación	Presentación	INVENTARIO	Ingreso	Egreso	Saldo
Acido Fluorhidrico	Acido	4Kg	1	0	0	1
Hidróxido de Calcio (CaOH <sub>2</sub> )	Base	1Kg	1	0	0	1
Absorbente neutralizante	Neutralizador	1Kg	9	0	0	9
Trietanolamina	Organico	1L	2	0	0	2
Peroxido de hidrogeno	Peroxido	1L	3	0	0	3
Acetato de Amonio	Sal	1Kg	11	0	0	11
Acetato de Calcio	Sal	500g	1	0	0	1
Hexametafosfato de Sodio	Sal	1Kg	4	0	0	4
Sal de acido dietilentriaminopentaacetico	Sal	250g	10	0	0	10
Guantes de Nitrilo (L, M, y S)	Guantes	100 uni	3	0	0	3
Filtro 2 110	Filtros	100 uni	0	0	0	0
Filtro 2 125	Filtros	100 uni	0	0	0	0
Filtro 42 110	Filtros	100 uni	0	0	0	0
Alcalar	Jabon	1 Gal	3	0	0	3
Extran	Jabon	5 L	5	0	0	5
Parafilm	Sellador	1 uni	3	0	0	3
Papel Toalla	Suelos y foliares	1 rollo	12	0	0	12
Desinfectante de Piso	Limpieza	1 Gal	7	0	0	7
Jabon Liquido para manos	Limpieza	1 Gal	2	0	0	2
Papel Aluminio	Suelos	1 rollo	5	0	0	5
Detergente en polvo	Limpieza	Bolsa (25lb)	0	0	0	0
Bolsa Canguro 8 galones	Limpieza	10 uni	4	0	0	4
Bolsa Canguro 15 galones	Limpieza	11 uni	5	0	0	5
Bolsa Canguro 30 galones	Limpieza	12 uni	5	0	0	5
Cloro	Limpieza	1 Gal	2	0	0	2
Jabon de Bola	Limpieza	3 uni	12	0	0	12
Agua HPLC	Soluciones	2.5 L	10	0	0	10

Criterios	
	Programar pedido (Insumo proximo a alcanzar el minimo establecido)
	Realizar pedido (Insumo alcanzo o superó el minimo establecido)

**Figura 19:** Hoja electrónica, control de insumos varios utilizados en el laboratorio.

### **3.4.2 Optimización del proceso de secado de las muestras de suelo y tejido vegetal que ingresan en el laboratorio NaturAlab.**

#### **A. Objetivos específicos**

- A. Optimizar el proceso actual de secado de muestras de suelo y tejido vegetal llevado dentro del Laboratorio.
- B. Implementar equipos que permitan agilizar el procedimiento de secado de muestras de suelo y tejido vegetal.
- C. Realizar las mejoras pertinentes al protocolo de procedimiento de secado de muestras y tejido vegetal que permitan la adecuada implementación de la optimización del mismo.

#### **B. Metodología**

##### **a. Optimización del proceso de secado**

Mediante la revisión de protocolos establecidos dentro de otros laboratorios, del procedimiento de secado de muestras de suelo y tejido vegetal se logró realizar algunas mejoras en el proceso establecido dentro del laboratorio actualmente.

##### **b. Implementación de equipos**

Se implementaron tres deshumecedores de manera permanente en el área de secado, molido y tamizado con el objetivo de optimizar el proceso de secado de las muestras de suelo.

Debido a que un horno de secado se encontraba con mal funcionamiento se envió a reparar con el objetivo de disponer con dos hornos para el secado de muestras de tejido vegetal así como también de muestras de suelo.

### **c. Mejoras a los protocolos de secado establecidos**

Se realizaron las mejoras que se consideraron pertinentes en el protocolo establecido, con la finalidad de realizar efectivamente la optimización del proceso de secado de muestras de tejido vegetal y suelo.

### **C. Evaluación**

- A. El tiempo de secado de las muestras de suelo se redujo en un 25% con la implementación de deshumificadores, puesto que las muestras son secadas al aire debido a que los hornos son utilizados en su mayor parte de tiempo para el secado de muestras de tejido vegetal.
- B. La temperatura de secado de las muestras de tejido vegetal está establecida a 65 °C y la temperatura de secado de suelos utilizado el horno convencional es de 45 °C, garantizando de este modo que no exista desnaturalización de los nutrientes en las muestras.
- C. El tiempo de secado de las muestras de tejido vegetal es de 48 horas y el tiempo de secado de suelo al aire libre se establece en 5 días con condiciones de humedad aceptables (sin encontrarse saturado de agua).

**D. Constancias**

**Figura 20:** Muestras de suelo secándose al aire y deshumidificadores instalados.



**Figura 21:** Muestras de tejido vegetal secadas en hornos convencionales.

### **3.4.3 Colaboración y elaboración de instructivos de procedimientos para el análisis de suelo por resinas de intercambio iónico.**

#### **A. Objetivos específicos**

- A. Realizar el análisis de las muestras de suelo que solicitan la extracción por resinas de intercambio iónico.
- B. Realizar los instructivos de procedimientos de preparación de muestras y soluciones utilizadas en la metodología.

#### **B. Metodología**

##### **a. Análisis de muestras de suelo**

Para realizar el análisis de suelo mediante la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico, se utilizó como fuente el procedimiento detallado por los autores del libro con nombre *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*, en el cual se detalla el análisis químico de suelo por medio de la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.

Los equipos fueron adquiridos al momento de implementar dicha metodología dentro del análisis de muestras de suelo por el laboratorio NaturAlab.

##### **b. Realización de instructivos y procedimientos**

Como parte del proceso de acreditación, se requiere una estandarización en el formato de instructivos y/o procedimientos que se llevan a cabo dentro del análisis de suelo, por lo cual dentro del laboratorio se tiene un formato para la realización de los mismos.

Para realizar los instructivos se tomó como base de referencia el libro titulado *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*.

### C. Evaluación

- A. Se analizaron un total de 1200 muestras de suelo mediante la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico.
- B. Se enviaron resultados al programa IIAC, llevado a cabo en Brasil, con la finalidad de validar los datos reportados mediante la metodología.
- C. Se realizaron los instructivos de preparación de soluciones utilizadas en la metodología, así como también el procedimiento que conlleva la determinación de fósforo, potasio, calcio y magnesio en muestras de suelo.

### D. Constancias



**Figura 22** Equipo de preparación de resinas de intercambio iónico.





**Figura 23** Preparación de muestras de suelo para determinación de Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio.



**Figura 24:** Agitación de muestras en agitador de potencia orbital.



**Figura 25:** Filtrado de la solución para la determinación de Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio por espectrofometria de absorción atómica ICP.

### **3.5 Conclusiones**

1. La eficiencia del laboratorio de análisis químico depende directamente del abastecimiento de reactivos dentro del mismo, es por ello que es de suma importancia poder llevar el control de la disponibilidad de cada uno de los reactivos, en especial cuidado con aquellos que se utilizan con mayor frecuencia y aquellos reactivos que son poco comunes y por ende la adquisición de los mismos es tardada.
2. Dentro del análisis de suelo es de suma importancia el poder contar con muestras completamente secas, motivo por el cual dentro de la preparación de la muestra este proceso es el más importante, lo cual garantizara que en el análisis sea utilizado la cantidad de suelo exacta para obtener mejores resultados en la cuantificación de los elementos.
3. El análisis de suelo por resinas de intercambio iónico, es una metodología implementada recientemente dentro del laboratorio, por lo cual se requiere llevar a cabo diversos procesos que permitan facilitar la interpretación de resultados.

### **3.6 Recomendaciones**

1. Realizar pruebas de curvas de calibración para la lectura de las muestras de suelo analizadas mediante la metodología de resinas de intercambio iónico, mediante la utilización de espectrofometría iónica (ICP).
2. Determinar el nivel crítico para la metodología de extracción por resinas de intercambio iónico y de este modo facilitar la interpretación de los resultados obtenidos mediante dicha metodología.

### 3.7 Bibliografía

1. Oliveira, J; Khouri, E; López, M. 2006. Análisis de suelos y plantas y recomendaciones de abonado: técnicas de muestreo y métodos analíticos. España, Universidad de Oviedo. 161 p.
2. Palma Vargas, G. 1970. Uso de resinas de intercambio iónico para evaluar la disponibilidad de fósforo en suelos (en línea). Turrialba, Costa Rica, IICA, Centro de Enseñanza e Investigación, Departamento de Fitotecnia y Suelos. Consultado 18 feb. 2014. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3089E/A3089E.PDF>
3. Salisbur, S; Christensen, N. 2001. Uso de resinas de intercambio para medir el efecto de las rotaciones en la disponibilidad de nutrientes (en línea). Canadá, Instituto de la Potasa y el Fósforo, Informaciones Agronómicas no. 42. 3 p. Consultado 20 feb. 2014. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/9BBEB9E2962EB7B8852579A300790773/\\$FILE/Uso%20de%20resinas.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/9BBEB9E2962EB7B8852579A300790773/$FILE/Uso%20de%20resinas.pdf)