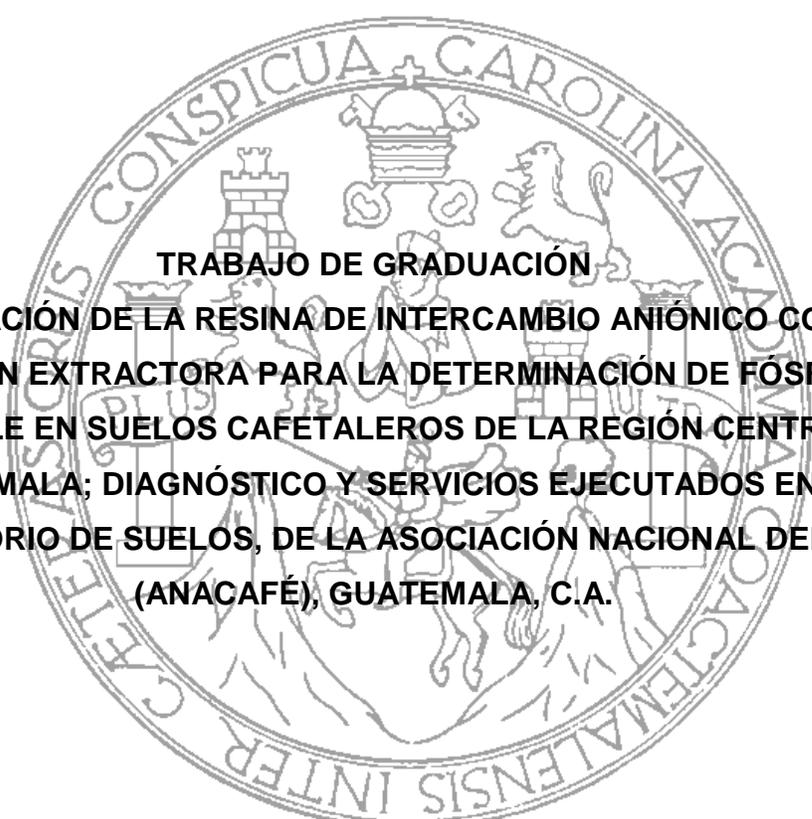


**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**



TRABAJO DE GRADUACIÓN
**EVALUACIÓN DE LA RESINA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO COMO
SOLUCIÓN EXTRACTORA PARA LA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO
DISPONIBLE EN SUELOS CAFETALEROS DE LA REGIÓN CENTRAL DE
GUATEMALA; DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EJECUTADOS EN EL
LABORATORIO DE SUELOS, DE LA ASOCIACIÓN NACIONAL DEL CAFÉ
(ANACAFÉ), GUATEMALA, C.A.**

LUIS CARLOS CHACÓN TORRES

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE LA RESINA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO COMO
SOLUCIÓN EXTRACTORA PARA LA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO
DISPONIBLE EN SUELOS CAFETALEROS DE LA REGIÓN CENTRAL DE
GUATEMALA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA.**

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

POR

LUIS CARLOS CHACÓN TORRES

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO**

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	DR. LAURIANO FIGUEROA QUIÑONEZ
VOCAL I	DR. ARIEL ABDERRAMAN ORTÍZ LÓPEZ
VOCAL II	ING. AGR. MSc. MARINO BARRIENTOS GARCÍA
VOCAL III	ING. AGR. MSc. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTÍZ
VOCAL IV	P. FTAL. SINDI BENITA SIMÓN MENDOZA
VOCAL V	BR. SERGIO ALEXSANDER SOTO ESTRADA
SECRETARIO	DR. MYNOR RAUL OTZOY ROSALES

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

Guatemala, octubre de 2014

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad 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 **EVALUACIÓN DE LA RESINA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO COMO SOLUCIÓN EXTRACTORA PARA LA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE EN SUELOS CAFETALEROS DE LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA**, 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 para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

LUIS CARLOS CHACÓN TORRES

ACTO QUE DEDICO

A

DIOS: Porque él ha sido la luz de mi camino y la fortaleza espiritual para culminar mi carrera universitaria.

A MIS PADRES

Roberto Chacón Parham y Griselda Torres Gonzales porque siempre me apoyaron para alcanzar mis metas. Por ser los pilares en los cuales se construyó lo que soy ahora.

MIS HERMANOS

José Roberto, Erick Daniel y Diego Rafael. Por compartir su vida conmigo y ser parte fundamental de mi ser y mi familia.

A MI ESPOSA

Porque siempre has estado a mi lado en las buenas y las malas. Y desde el día que te vi supe que eras la indicada.

A MI HIJAS

Por darme fuerza para alcanzar mis metas, ya que todo lo que hago es para ustedes Sofía y Cristel.

A ANACAFÉ

Por apoyarme en la realización de este trabajo y la generación de esta información.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A

DIOS: Porque él ha sido la luz de mi camino y la fortaleza espiritual para culminar mi carrera universitaria.

A MIS PADRES

Roberto Chacón Parham y Griselda Torres Gonzales porque siempre me apoyaron para alcanzar mis metas. Por ser los pilares en los cuales se construyó lo que soy ahora.

MIS HERMANOS

José Roberto, Erick Daniel y Diego Rafael. Por compartir su vida conmigo y ser parte fundamental de mi ser y mi familia.

A MI ESPOSA

Porque siempre has estado a mi lado en las buenas y las malas. Y haz decidido compartir tu vida conmigo.

A MI HIJAS

Por darme fuerza para alcanzar mis metas, ya que todo lo que hago es para ustedes Sofía y Cristel.

LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Por enriquecerme con conocimientos para poder desempeñarme en la vida profesional.

A ANACAFE

Por apoyarme en la realización de este trabajo y la generación de esta información.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por darme vida para cumplir mis metas y porque ha puesto cada elemento en su lugar para yo poder lograrlo.

A MI PADRE

Cuando un profesional sale a la vida profesional es como cuando una persona sale a caminar descalza si tener costumbre, de a poco te vas preparando. Yo he tenido la bendición de salir con los zapatos que en tu momento te toco construir y eso es invaluable, gracias.

A MI FAMILIA

Por siempre estar dispuesta a luchar conmigo por mi superación. Y por dejar de recibir todo lo que me dieron a mí.

A MI ESPOSA

A mi esposa porque te atreviste a pesar de que sabias que iba a ser complicado. Por comprender mis ausencias y desvelos.

A MIS ASESORES

A el doctor Iván Dimitri Santos y Doctora María Antonieta Alfaro por sus sabios consejos y sus aportes en la realización de este trabajo.

A mi docente asesor de EPS Ing. Agr. MSc. José Luis Alvarado Álvarez, por su asesoría, orientación y apoyo durante el ejercicio, profesional supervisado, además agradezco sus importantes aportes, conocimientos, consejos brindados para la realización de este trabajo, así como también por su confianza, paciencia y amistad incondicional.

A MIS AMIGOS

Compañeros de promoción e infancia que me han enseñado mucho acerca de la vida y parte de la persona que soy es porque me ha tocado compartir mi vida con cada uno de ustedes.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE CUADRO.....	iv
RESUMEN.....	v
CAPÍTULO I.....	1
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA DE ANACAFÉ, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 General.....	3
1.2.2 Específicos:.....	3
1.3 Metodología.....	3
1.3.1 Fase I.....	3
1.3.2 Fase II.....	3
1.3.3 Fase III.....	3
1.3.4 Fase IV.....	4
1.3.5 Fase V.....	4
1.3.6 Fase VI.....	4
1.4 Resultados.....	4
1.4.1 Historia.....	4
1.4.2. Ubicación.....	5
1.4.3 Estructura organizacional de ANACAFE:.....	6
1.4.4 Organización del Laboratorio de suelo, agua, y planta:.....	7
1.4.5 Descripción del Laboratorio.....	7
1.4.6 Recepción de Muestras:.....	7
1.4.7 Muestreo:.....	8
1.4.8 Área de Balanzas:.....	8
1.4.9 Área de espectrofotometría.....	9
1.4.10 Absorción Atómica.....	9
1.4.11 Cuarto de Muflas.....	9
1.4.12 Cuarto de agitación.....	9
1.4.13 Bodega.....	10
1.4.14 Lavandería.....	10
1.4.15 Área de lectura de Nitrógeno.....	10
1.4.16 Área de trabajo en General.....	11
1.4.17 Análisis FODA.....	11
1.4.18 Priorización de problemas según criterios.....	13
1.4.19 Problemas priorizados:.....	13
1.5. Diagrama de espina de pescado.....	15
1.5.1 Discusión de diagrama de pescado.....	16
1.6. Conclusiones.....	16
1.7. Bibliografía.....	17
CAPÍTULO II.....	18

EVALUACIÓN DE LA RESINA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO COMO SOLUCIÓN EXTRACTORA PARA LA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE EN SUELOS CAFETALEROS DE LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA.....	18
2.1 Introducción.....	19
2.2 Marco teórico	21
2.2.1 Marco conceptual	21
2.2.2 Marco referencial	31
2.2.3. Descripción del área experimental.....	32
2.3 Hipótesis	35
2.4 Objetivos	35
2.4.1. Generales	35
2.4.2. Específicos	35
2.5. Metodología	36
2.5.1. Muestreo.....	36
2.5.2. Toma de la muestra.....	38
2.5.3. Análisis preliminar.....	38
2.5.4. Estudios de sorción	38
2.5.5. Tratamiento óptimo.....	39
2.5.6. Nutrientes complementarios	40
2.5.7. Metodología experimental	40
2.5.8. Unida experimental.....	40
2.5.9. Variable respuesta.....	40
2.5.10. Análisis de la información	41
2.5.11. Manejo agronómico	41
2.6. Resultados y Discusión	43
2.6.1. Características químicas del suelo	43
2.6.2. Nivel crítico para fósforo	44
2.6.3. Conclusiones	50
2.6.4. Recomendaciones	50
2.7. Revisión Bibliográfica	51
CAPÍTULO III	54
SERVICIOS PRESTADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA DE LA ASOCIACIÓN NACIONAL DEL CAFÉ.....	54
3.1 Presentación	55
3.2 Área de influencia	55
3.3 Servicio No. 1 Determinación de curvas de fijación de potasio para diferentes suelos de Guatemala	56
3.3.1 Introducción	56
3.3.2 Objetivo:	57
3.3.3 Metodología:.....	57
3.3.4 Resultados.....	59
3.3.5. Discusión	59
3.3.6 Conclusiones	60
3.3.7 Revisión Bibliográfica.	60

PÁGINA

3.4	Servicio No. 2 Comparación de dos procesos de agitación previo a la lectura potenciométrica de pH para suelos.....	61
3.4.1.	Introducción	61
3.4.2.	Objetivos.....	62
3.4.3.	Metodología.....	62
3.4.4.	Resultados.....	63
3.4.5.	Discusión	69
3.4.6.	Conclusiones	70
3.4.7.	Revisión Bibliográfica	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Organigrama general de Anacafé.....	6
Figura 2	Organigrama de laboratorio suelo, planta y agua.....	7
Figura 3	Diagrama de pescado (ishikawa) para el problema correlación suelo, planta y solución extractora.	15
Figura 4	Distintas posiciones para el cuadrante cate y nelson considerando (a) nivel crítico respecto al rendimiento de producción, (b) nivel crítico respecto al rendimiento relativo. tomado de ron, m (2003).	31
Figura 5	Ubicación geográfica de puntos de muestreo. fuente cartografía digital básica IGN-MAGA.	37
Figura 6	Nivel critico de fosforo con la metodología de olsen modificado.	47
Figura 7	Nivel crítico de fósforo obtenido con la solución extractora resinas de intercambio anionico.....	48
Figura 8	Comparación del fósforo extraído entre ambas metodología de estudio.	49

ÍNDICE DE CUADRO

	PÁGINA
Cuadro 1 Ponderación de problemas según criterios.....	13
Cuadro 2 Puntos de muestreo.....	34
Cuadro 3 Clasificación de suelos de los puntos de muestreo.	36
Cuadro 4 Tratamientos estudios de sorción	39
Cuadro 5 Características químicas de los suelos estudiados.....	43
Cuadro 6 Biomasa de cada punto de muestreo para cada tratamiento.....	45
Cuadro 7 Rendimiento relativo y cantidad extraída de fósforo con ambas metodologías.....	46
Cuadro 8 Tratamiento de estudios de sorción para potasio.	58
Cuadro 9 Porcentaje de fijación de potasio según tipo de arcilla.	59
Cuadro 10 Resultados de lecturas de p^H para agitador horizontal.....	63
Cuadro 11 Resultados de lecturas de p^H para el agitador inclinado.	64
Cuadro 12 Comparación de lecturas de p^H agitador inclinado y horizontal.....	65
Cuadro 13 Comparación de lecturas de p^H según tiempo de agitación.	66
Cuadro 14 Prueba de varianza de lecturas de p^H para agitador horizontal.....	67
Cuadro 15 Prueba de varianza de lecturas de p^H para agitador inclinado.	67
Cuadro 16 Comparación de varianzas para agitador horizontal e inclinado.....	68
Cuadro 17 Prueba t suponiendo varianzas iguales agitador horizontal e inclinado.	68
Cuadro 18 Prueba de t suponiendo varianzas iguales para tiempos de agitación.	69

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA RESINA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO COMO SOLUCIÓN EXTRACTORA PARA LA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE EN SUELOS CAFETALEROS DE LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA.

El presente documento corresponde al trabajo realizado durante el período de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), que se desarrolló en el laboratorio de suelo, planta y agua de la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ). Se presentan a continuación los capítulos: Diagnóstico de laboratorio de suelo, planta y agua, de ANACAFÉ. Describe los aspectos generales del mismo, como los servicios que presta a los caficultores, la estructura organizacional y todo el proceso que conlleva analizar una muestra hasta entregar el resultado al cliente; El diagnóstico realizado ayudó a identificar problemas como: Diferentes criterios de autores para métodos de análisis, subestimación de cantidades de nutrientes disponibles, correlación suelo, planta y solución extractora y por último la deficiencia del software. Según la matriz de priorización el problema de mayor urgencia por resolver fue el de correlación suelo, planta y solución extractora.

El capítulo II presenta los resultados del trabajo de investigación, que trató sobre la evaluación de la resina de intercambio iónico, como solución extractora de fósforo disponible en suelo, comparada con la solución tradicional utilizada en el laboratorio de suelo, planta y agua de ANACAFÉ, la cual es olsen modificado. Ambas metodologías de extracción de fósforo fueron evaluadas sobre 20 suelos de la región central de Guatemala. Los niveles críticos fueron determinados por medio de la metodología de Cate y Nelson, y se correlacionó el rendimiento relativo de la planta indicadora con el contenido de fósforo en el suelo. Para la resina se obtuvo un nivel crítico a nivel de invernadero de 50 mg/L suelo.

Esta metodología presentó un coeficiente de correlación entre la extracción de fósforo y el rendimiento relativo de: 0.81. Se utilizó un modelo logarítmico que fue el que mejor se ajustó. Para la solución olsen modificado el nivel crítico a nivel de invernadero obtenido fue de: 30 mg/L suelo. El coeficiente de correlación fue de 0.73, utilizando también un modelo logarítmico. El índice de correlación entre las dos metodologías fue menor a 0.5, que indica distinto comportamiento como extractante de fósforo disponible en los distintos suelos.

El capítulo III presenta los resultados de los servicios realizados en la institución, los cuales fueron: Servicio I, determinación de porcentajes de fijación para el elemento potasio, se obtuvo como máximo porcentaje de fijación de potasio un 78.4%, mientras que el resto de suelos se mantienen en un rango de 16 a 43 % de fijación. El segundo servicio fue, la determinación de tiempos de agitación para la metodología de determinación de p^H por medio potenciométrico. Se determinó que no existe diferencia entre las lecturas de p^H del suelo con la agitación manual de 10 segundos y 2 minutos previos a lectura potenciométrica. También se determinó que no existe diferencias en las lecturas de p^H al utilizar dos distintos agitadores: horizontal e inclinado.



CAPÍTULO I
**DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL LABORATORIO DE SUELO,
PLANTA Y AGUA DE ANACAFE, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA.**

1.1 Introducción

Asociación Nacional del Café (ANACAFE), es una entidad de derecho público con carácter no lucrativo, formada por los productores de café de Guatemala y con personalidad jurídica. Presta varios servicios, entre los cuales se encuentran: Servicios técnicos, de investigación, experimentación, demostración, asistencia y divulgación de las diversas ramas de la industria cafetalera, organizando. También presta servicios de citación, arbitraje, estadísticas, almacenes de depósito, bodegas, y otros servicios auxiliares para la producción y comercialización del grano. Dentro de estos servicios se encuentra el laboratorio de agua, suelo, planta y protección vegetal, que está especializado en hacer análisis y diagnósticos de suelos, foliares, enfermedades de plantas, nematodos y agua.

El cultivo de café es uno de los más importantes de Guatemala, debido a la cantidad de divisas que genera para la economía. La calidad de los cafés de Guatemala poseen todas las cualidades organolépticas que los distinguen como cafés de alta calidad. Para obtener una mejor calidad hay que tomar muchos aspectos y dentro de estos principalmente la fertilidad y la utilización de fertilizantes, el cual es uno de los principales problemas para los productores de café de Guatemala (2)

El laboratorio de agua suelo y planta de ANACAFE es pionero en tecnología y metodologías para análisis químicos de suelo. Debido a la alta demanda de los productores que desean obtener análisis de suelo de mejor calidad y exactitud en sus resultados, ha obligado a la continua innovación en las metodologías utilizadas para seguir en el camino de la exactitud, para lograr que los resultados y el servicio que los clientes obtengan del laboratorio sean de alta calidad y confiabilidad.

Debido a la carga de trabajo que durante todo el año se maneja en el laboratorio, es muy difícil notar problemas en el proceso de análisis que existen y que son muy difíciles de corregir. Por tal motivo el diagnóstico del laboratorio nos permitió identificar estos problemas y plantear una alternativa lógica de manejo para poder resolverlos y lograr la calidad en el resultado y servicios que el cliente espera de laboratorio de agua, suelo y planta de ANACAFE.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Diagnosticar la situación actual del laboratorio del área de planta, suelo y agua de ANACAFE.

1.2.2 Específicos:

Determinar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas para el laboratorio planta, suelo y agua de ANACAFE.

Identificar los problemas más importantes en el laboratorio planta, suelo y agua de ANACAFE.

Determinar las causas de los problemas y priorizarlos.

1.3 Metodología

1.3.1 Fase I

Revisión de documentación sobre el funcionamiento y organización del laboratorio de planta, suelo y agua de ANACAFE.

1.3.2 Fase II

Un recorrido de todas las áreas de análisis muestra desde la recepción hasta la entrega de resultados, detallando cada uno de los pasos en el proceso.

1.3.3 Fase III

Reunión con el coordinador de laboratorios y entrevistas con el personal para llevar a cabo el análisis FODA del laboratorio.

1.3.4 Fase IV

Priorización de los problemas juntamente con el coordinador de laboratorios, la encargada de control de calidad y el coordinador de laboratorio de agua, suelo y planta basados principalmente en una matriz de priorización de problemas y ponderando según criterios de cada integrante en la actividad.

1.3.5 Fase V

Las causas por las cuales se da el problema encontrado, está basado en un diagrama de espina de pescado y revisiones bibliográficas y también apoyados de la supervisión de la encargada de control de calidad y el coordinador de laboratorios de ANACAFE.

1.3.6 Fase VI

Tabulación, procesamiento y análisis de la información, presentando tablas, Figuras.

1.4 Resultados

1.4.1 Historia

El laboratorio fue fundado el 17 de marzo de 1972 por la Junta Directiva de ANACAFE del periodo 1971-1972, presidida por el Dr. Héctor Aragón Quiñónez. En un inicio ANALAB (como actualmente se identifica el laboratorio), llevaba el nombre de don Carlos Mirón Muñoz, como una manera de rendirle honor a quien dedicó buena parte de su vida al cultivo del café. En la planificación y organización del laboratorio colaboraron con ANACAFE la Universidad de Carolina del Norte, el Departamento de Suelos del Ministerio de Agricultura y el Instituto Salvadoreño de Investigaciones en Café.(4)

El laboratorio fue creado con la finalidad de brindar apoyo al sector cafetalero prestando los servicios de análisis de suelos, fertilizantes y cales agrícolas. Al mismo tiempo se inician los estudios correspondientes a desarrollar técnicas más convenientes sobre análisis de tejido foliar.

Durante los siguientes años se van desarrollando una serie de investigaciones sobre fertilidad de suelos y nutrición mineral en el cultivo del café basándose en las condiciones de Guatemala.

En 1991 el laboratorio participó en el estudio de caracterización química, física y mineralógica de los suelos de la agroindustria cafetalera de Guatemala, 245,000 hectáreas, realizado por el departamento de Agronomía de la Universidad de Georgia, Estados Unidos. Dentro de los investigadores de la Universidad de Georgia se encontraban el Dr. Malcolm Sumner, Dr. Larry T. West y el Ing. Juan Leay y por parte de ANALAB: Ing. Gilberto D. Alvarado, Ing. Humberto Jiménez, Ing. Héctor Samayoa y el Ing. Ricardo del Valle. Otro estudio similar se desarrolló en 1993. (2). En los años de 1992 y, posteriormente en 2001, la Agencia para el Desarrollo Internacional del Gobierno de Estados Unidos, brinda un financiamiento no reembolsable para la adquisición de equipo de laboratorio, con la finalidad de otorgar mayor cobertura en el servicio de análisis. Con ello se pretendía apoyar a los más de 60,000 pequeños productores de café.

A partir del periodo cafetalero 1995/1996, por resolución de Junta Directiva, se autoriza el cobro de los servicios de laboratorio. Por primera vez, desde que fue fundado el laboratorio en marzo de 2003, el personal del mismo impartió el curso: “Realice estudios edafológicos mediante el estudio de un perfil de suelo, y aprenda a interpretar análisis de suelos para formular planes de fertilización”, dirigido a propietarios de fincas, agrónomos, técnicos, estudiantes y toda persona involucrada en el ámbito agrícola con el objetivo de compartir conocimientos que permitan mejorar y aumentar los rendimientos y así satisfacer las necesidades sin deteriorar los recursos naturales. Dicha actividad superó todas las expectativas que se habían planteado. (3).

1.4.2. Ubicación

La Asociación nacional del café está ubicada sobre la 5 calle 0-50 zona 14, ciudad Guatemala, Guatemala.

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Guatemala de Holdridge, se encuentra en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical templado. Presenta una precipitación anual promedio de 1200 mm. Las temperaturas promedio oscilan entre los 14 ° C a 24.5 ° C.

1.4.3 Estructura organizacional de ANACAFE:

El laboratorio según el organigrama institucional de ANACAFE se encuentra de la siguiente manera:

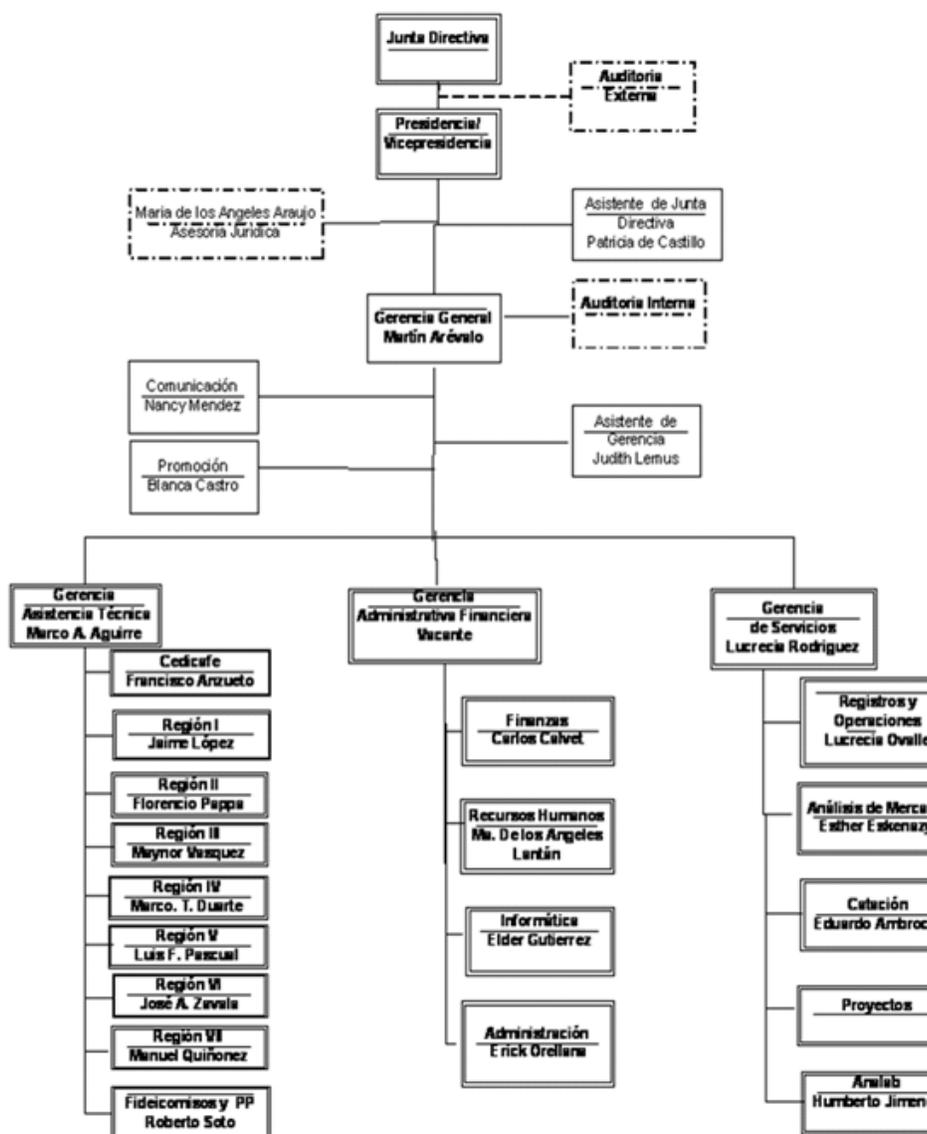


Figura 1 Organigrama general de ANACAFE.

1.4.4 Organización del Laboratorio de suelo, agua, y planta:

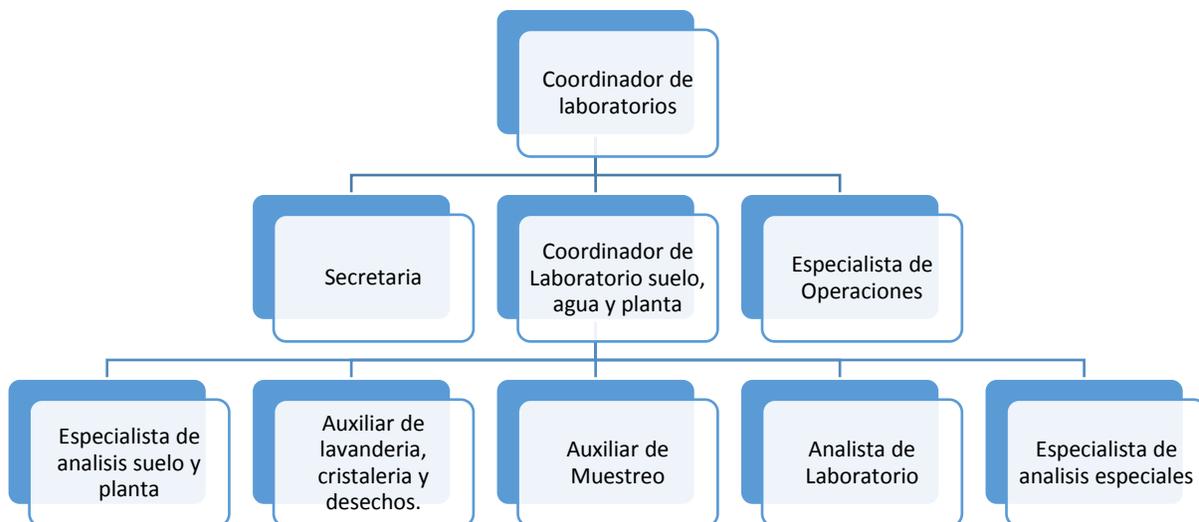


Figura 2 Organigrama de laboratorio suelo, planta y agua.

1.4.5 Descripción del Laboratorio.

ANALAB es un laboratorio con más de 32 años de experiencia, especializado en realizar análisis para la agricultura. Se realizan diagnósticos de: suelos, foliares, enfermedades de plantas, nematodos y agua. Cuenta con las áreas de trabajo: recepción de muestra, muestreo, balanzas, espectrofotometría, absorción atómica, cuarto de muflas, cuarto de agitación, bodega, lavandería, área de lectura de nitrógeno y área de trabajo en general.

1.4.6 Recepción de Muestras:

Este es el lugar en donde se ingresan las muestras que el cliente trae del campo, para luego darle un número de orden en el cual se especifican el tipo de análisis que el cliente necesite para sus muestras. Para todo esto la muestra debe venir identificada correctamente, aquí inicia todo el proceso de análisis del laboratorio.

1.4.7 Muestreo:

Aquí las muestras previamente ingresadas, son secadas a una temperatura de entre 25 y 39°C, luego son molidas y tamizadas con aberturas de no mayor de 2mm; esto debido a que no permite pasar restos vegetales, raicillas y arenas que en su mayoría el diámetro de partículas es mayor de 2mm, se evita esto debido a que las arenas no participan en la dinámica de nutrientes en el suelo. Ya secas y tamizadas las muestras se procede a colocarlas en cajas de cartón con el número de identificación que proporciona de manera correlativa el sistema de ingreso de muestras así como también se coloca el número de identificación del tipo de análisis previamente ordenado al momento del ingreso de la muestra. Dependiendo el tipo de análisis será la cantidad de suelo a utilizar así como las bandejas en las cuales se realizaran los análisis. Esto se realiza con el objetivo de evitar contaminación con reactivos que se utilizan y los cuales son diferentes para cada análisis en especial. (2)

1.4.8 Área de Balanzas:

Es el lugar en donde se pesan los distintos reactivos para hacer todas las distintas soluciones que se utilizan para los análisis. Se cuenta con tres balanzas semianalíticas y una balanza analítica. Existen dos balanzas semianalíticas de capacidad de 600 g y de precisión de 0.01g, la otra balanza semianalítica con capacidad de 2000g. La verificación de estas balanzas es de suma importancia ya que nos indican que tan preciso es el pesado de reactivos.

Las balanzas se verifican de tres maneras, excentricidad, linealidad y repetitividad. La excentricidad consisten en colocar pesos certificados en todos los puntos del plato de la balanza y este debe ser el mismo para cada caso, La linealidad es colocar diferentes pesos en la balanza y tiene que pesar exactamente la suma de ambos pesos y por último la repetitividad es colocar el mismo peso y pesarlo varias veces para que dé el mismo valor. Si en dado caso en cualquiera de estos parámetros la balanza falla tendrá que ser calibrada.

1.4.9 Área de espectrofotometría

Esta es el área de lecturas de análisis que se cuantifican por medio de reacciones colorimétricas o de turbidez. Se cuenta con dos espectrofotómetros que tiene la capacidad de leer desde la longitud de onda visible hasta la ultra violeta. Los elementos que se leen con estos equipos son: Boro, Fosforo, Azufre, Nitratos, Amonios. Esto es tanto para foliares en el caso de Boro, Fosforo y azufre y para el suelo en donde también se leen los elementos Boro, Fosforo, azufre, nitratos y amonios. Todos estos poseen una solución extractora diferente y diferente metodología, lo cual ya está incluido en software del espectrofotómetro.

1.4.10 Absorción Atómica

Aquí se leen elementos de suelo como foliares los elementos. También existen diferentes soluciones extractoras para cada elemento. Los elementos leídos en esta área son potasio y fosforo extraídos con solución Olsen Modificado y los elementos cobre, manganeso, zinc, hierro con solución DTPA. También los elementos calcio y magnesio que son extraídos con cloruro de potasio.

1.4.11 Cuarto de Muflas

Las muflas son necesarias para incinerar la muestras foliares y abonos que se necesiten analizar, estas son de mucha importancia ya que eliminan toda la parte orgánica de una muestra dejando los minerales que se encuentran en el tejido vegetal, para luego pasar a ser analizadas con sus respectivas metodologías para cada análisis.

1.4.12 Cuarto de agitación

Aquí se encuentran dos agitadores uno horizontal y un inclinado, la agitación es una parte muy importante en el proceso debido a que hace llegar cualquier solución extractora a lo más profundo de la muestra. Esto permite extraer mayor cantidad y con más uniformidad los elementos que se encuentran en la parte intercambiable del suelo.

La agitación está establecida según la metodología y el elemento que se necesita extraer. Si en algún momento se dejan muy poco tiempo de agitación esta no extraerá adecuadamente los elementos y si se deja con demasiado tiempo de agitación extraerá los elementos que están en la zona de intercambio y también los de constitución del suelo.

1.4.13 Bodega

La bodega es el lugar donde se almacenan únicamente los reactivos para uso del laboratorio. Los reactivos se colocan en estantes de metal. El cuidado del almacenamiento es de mucha importancia ya que muchos de los reactivos pueden reaccionar con otros. También existen una adecuada ventilación y humedad relativa esto es para evitar que los reactivos que son higroscópicos absorban humedad. Cada reactivo está debidamente identificado con el nombre y fórmula química, además de sus diferentes pictogramas de toxicidad según sean clasificados.

1.4.14 Lavandería

Aquí es el lugar en donde se lava toda la cristalería y bandejas que se van analizando en el laboratorio a lo largo del día. Existen varios jabones utilizados que dependen de la cristalería bandejas que se lavaran. Por ejemplo en el caso del Fosforo se debe usar un jabón que sea exento de fosforo para que no se contamine con el jabón. Existen también jabones neutros y alcalinos. Los desechos químicos resultado de titulación son desechados en tambos que se lleva una empresa certificado en el manejo de desechos químicos. Esto es importante ya que el laboratorio no derrama desechos químicos al drenaje, lo cual contribuye a conservar el medio ambiente.

1.4.15 Área de lectura de Nitrógeno

En esta sección del laboratorio se realiza el análisis de nitrógeno de muestras foliares, abonos y en algunos casos de fertilizantes. Se cuenta con un digestor la cual se encarga de destruir la muestra para que quede libre el nitrógeno del tejido. También se poseen dos destiladores Kjeldahl.

1.4.16 Área de trabajo en General

En esta área se colocan todas las bandejas con su identificación del elemento a analizar. Se colocan a filtrar las soluciones extractoras y a reaccionar todas las que necesiten tiempo de reacción según la metodología. También se leen los parámetros de pH y conductividad eléctrica. En general es lugar en donde se realiza la mayor cantidad de actividad en el laboratorio.

1.4.17 Análisis FODA

Fortalezas:

- Equipos avanzados para el análisis de muestras.
- Constantes capacitaciones al personal del laboratorio.
- Personal con alto grado académico con especialidad en química y análisis de muestras.
- Automatización de todo el proceso de análisis de muestras.
- Prestigio frente la competencia al formar parte de ANACAFE
- Facilidad para obtener recursos y equipos avanzados.
- Búsqueda de nuevas metodologías para el análisis de muestras.
- Búsqueda de acreditación por la norma ISO 17025.
- Excelente interpretación de resultados por medio de gente muy capacitada.

Debilidades

- Sustitución de metodologías para la cuantificación de nutrientes disponibles del suelo sin la adecuada validación de las mismas.
- Aumento de costo por muestra debido al cambio de las metodologías de cuantificación de nutrientes disponibles en el suelo.
- Diferencias entre los resultados debido a la adopción de metodologías no estudiadas en nuestro medio.

- Al momento de definir los métodos para el análisis de muestras, se dificulta la uniformización de los criterios técnicos y su correcta inclusión dentro de la metodología interna del laboratorio; debido principalmente a que en la mayoría de casos estos criterios técnicos varían dependiendo de cada autor.

Oportunidades

- Excelentes precios del café permiten renovar equipos y comprar tecnologías de punta.
- Disposición para ofrecer los servicios del laboratorio de suelo, planta y agua de ANACAFE hacia productores ajenos al café.
- Incremento en el área de siembra de cultivos distintos al café y de mucha importancia como lo es la palma africana.

Amenazas

- La caída de los precios puede perjudicar la operación del laboratorio debido a reducción en el presupuesto.
- Despido de personal debido a la reducción de presupuesto de operación.
- Cambio de personal capacitado por personal poco capacitado.
- Pérdida de clientes debido a la predominancia de precios bajos para las muestras de análisis para el cultivo de café y no para otros cultivos.

Discusión:

Al realizar el análisis FODA hemos podido reconocer debilidades dentro del laboratorio, mismas que representan los problemas por priorizar y resolver para mejorar la calidad de los resultados en el laboratorio. Nuestros puntos de mejoras siempre se representan dentro de las debilidades que son internas de la institución y afectan directamente en los resultados. Representan una fotografía de lo que se encontró en el laboratorio en el momento de ejecución de este trabajo.

1.4.18 Priorización de problemas según criterios

Cuadro 1. Ponderación de problemas según criterios.

Problemas	Criterios				Total
	Afecta el resultado final de análisis	Eleva el costo por muestra.	Afecta la calidad de los resultados.	Retrasa la entrega de resultados.	
Diferentes criterios de autores para método de análisis.	1	3	1	3	8
Subestimación de cantidad disponible de nutrientes.	3	1	3	1	8
Correlación suelo, planta y solución extractora.	3	2	3	1	9
Falla del Software	1	1	1	3	6

1.4.19 Problemas priorizados:

Al observar la matriz de priorización (Cuadro No. 1), nos muestra según la ponderación de cada participante los problemas más importantes con sus respectivas ponderaciones, los cuales se detallan a continuación:

a.) Que en las metodologías utilizadas para el análisis se obtengan de bibliografías de autores que tienen diferentes criterios para realizar el mismo análisis obteniendo según los criterios una ponderación de 8.

b) La subestimación o sobrestimación de la cantidad de nutrientes en suelo debido a que las soluciones extraen diferentes cantidades de elementos también se le dio una ponderación de 8.

c) Falla del software es un problema que en el corto plazo se le puede resolver debido a los responsable en informática por lo cual se le dio la ponderación más baja que fue de 6.

d.) Por lo tanto el estudio de correlación de suelo, planta y solución extractora es el más prioritario debido a la importancia que este estudio lleva dentro del análisis de suelos en un laboratorio y que este resuelve el problema de subestimación o sobrestimación de las cantidades en el suelo de los nutrientes, razón por la cual se le asignó la máxima ponderación que fue de 9.

Mediante esta matriz de priorización encontramos que de los problemas, hay dos en especial que hay que poner énfasis debido a que afectan directamente el resultado de análisis de las muestras. Además que existen otros aspectos que como empresa en la cual se busca la mejora continua, hay que tomar como importantes debido a la no resolución de estos problemas, que es el atraso en la entrega de resultado y el aumento el costo de producción por lo tanto se tendría que elegir como La correlación suelo, planta y solución extractora como el más importante. Mientras los diferentes criterios de los autores de los cuales se han tomado diferentes métodos se puede tomar como el segundo problema según su importancia.

En el proceso de diagnóstico se pueden encontrar muchos problemas dependiendo del enfoque que se le esté dando al trabajo en estudio. Para este caso el enfoque es en problemas que afectan desde un punto de vista más agronómico debido a la naturaleza del diagnóstico, por lo tanto estos problemas pueden no ser para quien enfoque el diagnóstico desde otras perspectiva personal.

1.5. Diagrama de espina de pescado.

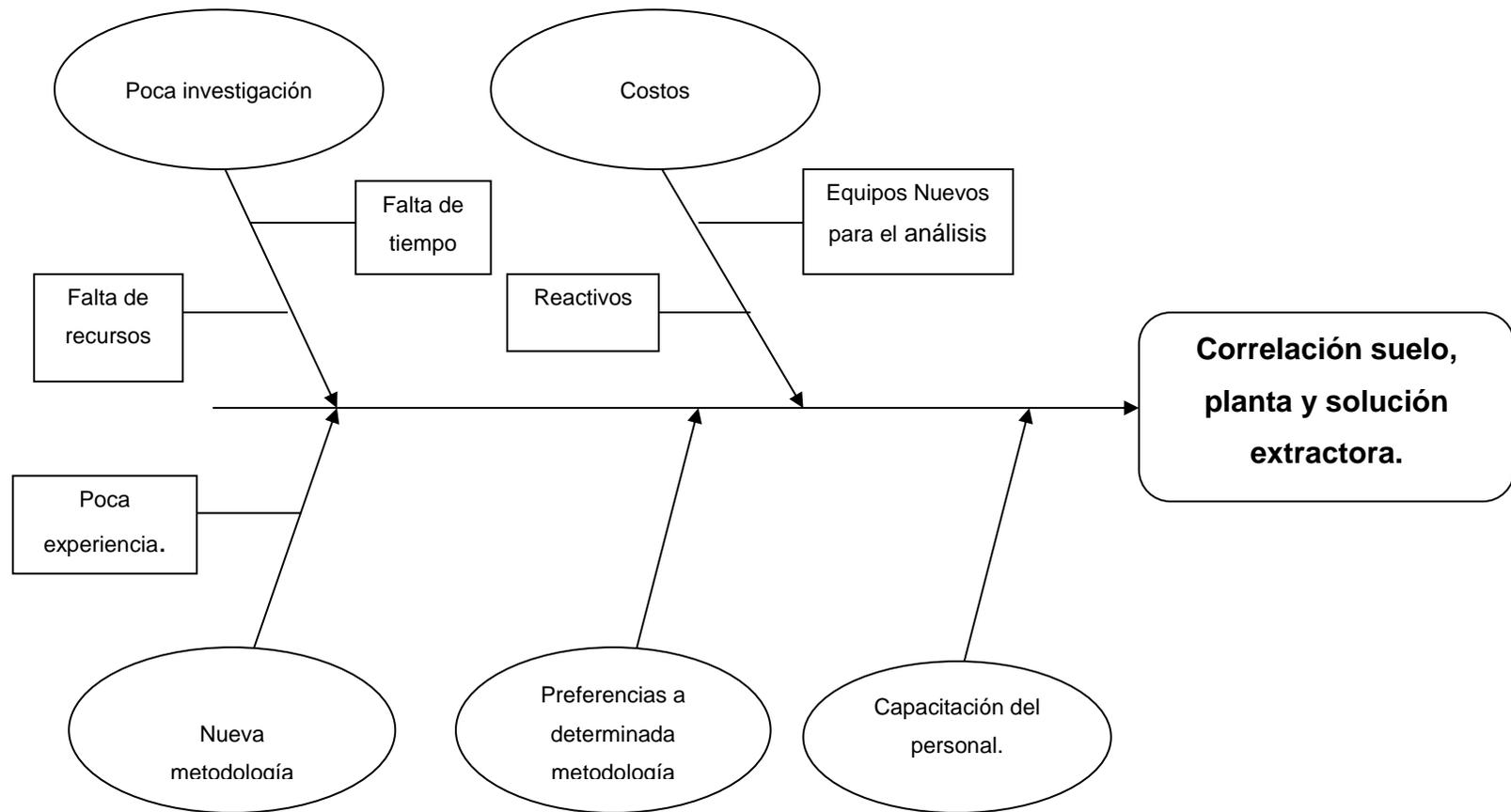


Figura 3 Diagrama de pescado (Ishikawa) para el problema Correlación suelo, planta y solución extractora.

1.5.1 Discusión de diagrama de pescado

El diagrama de pescado nos permite bajo un criterio técnico, extraer desde una lluvia de ideas, cuales son las causas más importantes que están provocando el problema que se designó como el más importante según la matriz de priorización. El ser una metodología nueva es una explicación de peso para no tener una correlación de suelo, planta y solución extractora, de metodologías de cuantificación de nutrientes disponibles en el suelo. Con este trabajo se pretende mitigar el efecto de esta causa para resolver el problema priorizado.

1.6. Conclusiones

- Al realizar el análisis FODA se reconoce que las debilidades dentro del laboratorio, son las que representan los problemas por priorizar y resolver para mejorar la calidad de los resultados en el laboratorio, los puntos de mejoras siempre se representan dentro de las debilidades que son internas de la institución y afectan directamente en los resultados
- Según la matriz de priorización se identificó que la falta de una correlación suelo, planta y solución extractora es el problema más prioritario para el laboratorio, por lo tanto es el primero que se debe resolver.
- La principales causas para el problema prioritario a resolver son: falta de tiempo, preferencias a una solución extractora, costos, falta de capacitación y el ser una nueva metodología.

1.7. Bibliografía

1. ANALAB (ANACAFE, ANALAB, GT). 2013. Servicios (en línea). Guatemala. Consultado 5 mar 2013. Disponible en http://www.anacafe.org/glifos/index.php/P%C3%A1gina_principal
2. Jiménez, H. 2012. Fertilidad de suelos en Guatemala (entrevista). Guatemala, Asociación Nacional del Café, ANALAB.
3. Samayoa, H. 2012. Metodologías para medir la fertilidad del suelo (entrevista). Guatemala, Asociación Nacional del Café, ANALAB.
4. Wagner, R. 2001. Historia del café en Guatemala. Guatemala, Asociación Nacional del Café. 207 p.



CAPÍTULO II
EVALUACIÓN DE LA RESINA DE INTERCAMBIO ANIÓNICO COMO
SOLUCIÓN EXTRACTORA PARA LA DETERMINACIÓN DE FOSFORO
DISPONIBLE EN SUELOS CAFETALEROS DE LA REGIÓN CENTRAL DE
GUATEMALA, GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA.

2.1 Introducción

Los análisis químicos de suelos son una herramienta que nos permite conocer la capacidad o cantidad que tiene un suelo de aportar nutrientes a determinada planta en determinado momento. Las soluciones extractoras simulan la función de absorción de las raíces para extraer los elementos mayores (P, K, Ca y Mg) y menores (Cu, Fe, Mn, Zn, B,) del suelo. La cuantificación de los elementos en el suelo dependerá de la solución extractora y de la correcta utilización de la misma. El uso correcto de las soluciones extractoras se ampara en estudios previamente realizados de calibraciones y correlaciones de dichas soluciones extractoras. Estos estudios constituyen una etapa vital en toda la dinámica de interpretación del análisis de suelos. Por lo tanto para cada solución extractora se deben conocer los niveles críticos para cada cultivo y para cada grupo de suelos, todo esto para mejorar las recomendaciones de aplicación de fertilizantes (10).

La calibración de metodologías para cuantificar la fracción disponible de un nutriente en el suelo permite establecer una correlación entre la concentración de elementos extraídos del suelo, con el rendimiento relativo del cultivo. El resultado es indispensable para la interpretación de los análisis de suelo, con el propósito de mejorar las recomendaciones de aplicación de fertilizantes para suplir la deficiencia de nutrimentos esenciales para el cultivo. En Guatemala existen pocos trabajos de investigación sobre la metodología de resinas de intercambio aniónico para la extracción de fósforo disponible en el cultivo de café. La correlación y calibración de esta metodología a nivel de invernadero permitirá conocer su aplicabilidad para la extracción de la fracción disponible de fósforo en diferentes suelos de la región central cafetalera de Guatemala. La extracción de elementos de la fracción disponible del suelo a través del análisis químico depende mucho del tipo de suelo y de la reacción ante la solución extractora.

En Guatemala existen investigaciones sobre diferentes soluciones extractoras, Chonay et. al, (2000), estudió la fertilidad de los suelos de las regiones fisiográficas: Llanura costera del pacífico y Pendiente Volcánica reciente de Guatemala.

Las soluciones evaluadas para determinar fósforo fueron Mehlich I, mehlich III, Bray I, Olsen Modificado y Acetato de Amonio. Peralta, (2000) determinó el nivel crítico de fosforo, azufre y zinc en andisoles y ultisoles de la región cafetalera del sur de Guatemala utilizando las soluciones de Olsen modificado, Bray-Kurtz I, Mehlich I y Mehlich III. Ramos, (2003) evaluó la determinación de fósforo con dos soluciones extractoras en 19 suelos del altiplano occidental de Guatemala. Las soluciones evaluadas fueron Mehlich I y Mehlich III.

Un método utilizado para la determinación de fósforo en el suelo consiste en el uso de resinas de intercambio aniónico. Este ha demostrado expresar una adecuada correlación entre el rendimiento relativo de plantas y el contenido de fósforo en el suelo en otros países (15). La eficiencia del método se atribuye a que no influyen en la matriz de la resina, las reacciones químicas al entrar en contacto con el suelo, caso contrario a lo que ocurre con las soluciones químicas extractoras de la fracción disponible de fósforo del suelo (15). En Guatemala, esta metodología aún no ha sido evaluada.

El uso correcto de las soluciones extractoras se ampara en estudios previamente realizados de calibraciones y correlaciones de dichas soluciones extractoras. Estos estudios constituyen una etapa vital en toda la dinámica de interpretación del análisis de suelos. Por lo tanto para cada solución extractora se deben conocer los niveles críticos para cada cultivo y para cada grupo de suelos, todo esto para mejorar las recomendaciones de aplicación de fertilizantes (10).

En Guatemala existen pocos trabajos de investigación sobre la metodología de resinas de intercambio aniónico para la extracción de fósforo disponible. La correlación y calibración de esta metodología a nivel de laboratorio e invernadero permitirá conocer su aplicabilidad para la extracción de la fracción disponible de fósforo en diferentes suelos de la región cafetalera de Guatemala.

Considerando las bondades de este método, es importante evaluarlo y compararlo con las metodologías que actualmente se utilizan en el análisis de fósforo en los suelos de esta región.

Esta investigación generará un punto de partida para encontrar los niveles críticos de fósforo en los diferentes suelos de la región cafetalera, lo cual contribuirá a mejorar y afinar los programas de fertilización en el cultivo de café.

La investigación se desarrolló en el periodo de abril a noviembre de 2012. Para el efecto se realizó trabajo de campo para la toma de muestras de suelos. Los suelos fueron analizados en el laboratorio de análisis de suelo, planta y agua de la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ). La respuesta biológica del cultivo a nivel de invernadero se realizó en esta misma institución.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Marco conceptual

2.2.1.1 Fósforo en el suelo

El fósforo procede de la descomposición de la roca madre durante el proceso de la meteorización, y representa alrededor del 0.1% de la corteza terrestre. La cantidad total del suelo, expresada como P_2O_5 en raras ocasiones sobrepasa el valor de 0.5%. (10) El fósforo en el suelo puede clasificarse como orgánico o inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos en que se halla. La fracción orgánica se encuentra en el humus y otros materiales orgánicos, que pueden o no estar asociados con él. La fracción inorgánica se halla en numerosas combinaciones con hierro, aluminio, calcio flúor y otros elementos. Estos compuestos usualmente son muy pocos solubles en agua (24).

En la disolución del suelo, el fósforo está presente en gran parte como ion ortofosfato ($H_2PO_4^-$ y HPO_4^{-2}). El predominio de una u otra especie iónica depende del pH. A los niveles de pH normales estas especies iónicas son las que predominan.

Algunas plantas pueden requerir cantidades de HPO_4^{-2} , pero él $H_2PO_4^-$ es la forma más rápidamente absorbida por los vegetales. La importancia del ion HPO_4^{-2} aumenta a valores más elevados de pH. La solubilidad de las formas inorgánicas del fósforo constituye un problema serio, debido a que en pH alcalinos forma compuestos con el calcio los cuales permanecen insolubles. Del mismo modo en pH bajos se asocia con hierro y aluminio, los cuales también son insolubles. El pH más favorable para la disponibilidad de fósforo se encuentra ligeramente por debajo de la neutralidad aproximadamente entre 6.0 y 6.5. (8)

2.2.1.2 Fósforo en la planta

Las plantas absorben aniones de fosfatos de los que se encuentran en la solución del suelo. De los aniones presentes, los más fácilmente absorbidos son los monovalentes $H_2PO_4^-$, seguidos de bivalentes HPO_4^{-2} y finalmente los de más difícil absorción son los trivalentes PO_4^{-3} . Esto depende de la relación directa entre el pH del suelo y las formas mono y bi o trivalentes dominantes, e influye directamente por las reacciones del suelo. Ya que en suelos ácidos dominan las formas monovalentes, pasando a ser más abundantes las otras a medida que sube el pH.

Estas formas anionicas que absorbe la planta son muy importantes ya que es de esta forma como ejercen su actividad en la célula vegetal. Se acostumbra, sin embargo a expresar las relaciones de tipo cuantitativo (cantidad de fosfatos absorbidos y fósforo presente en la materia seca) refiriendo sus valores a anhídrido fosfórico (P_2O_5).

El fósforo es importante porque se encuentra en el compuesto que fija el CO_2 atmosférico, (ribulosa1-5difosfato). Los primeros compuestos estables que aparecen a partir de esa fijación de CO_2 también contienen fósforo: Acido fosfoglicérico (PGA), aldehído fosfoglicérico, dioxiacetona-fosfato. Interviene en la respiración y en el transporte y almacenamiento de energía, formando compuestos como ADP y ATP. También es indispensable para la formación de fosfolípidos, nucleoproteidos, enzimas y proteínas. Además de formar parte importante del ADN y ARN. (24)

2.2.1.3 Análisis químico

Un análisis de suelo es un método químico para determinar el poder de suministro de nutrientes de un suelo. Es rápido y tiene ventaja sobre los síntomas de deficiencia y los análisis de plantas, siendo posible determinar las necesidades de nutrientes antes de que se siembre el cultivo.

El análisis químico tiene los siguientes objetivos:

- Evaluar el estado de fertilidad de un campo determinado.
- Predecir la probabilidad de una respuesta aprovechable a la adición de cal y fertilizantes.
- Proporcionar una base a las recomendaciones sobre las cantidades de abono y de fertilizantes que se han de aplicar al suelo.
- Evaluar el estado de fertilidad de suelos de un país, de un área en determinado tiempo.

Las características físico-químicas del suelo, deben ser conocidas por el productor agrícola, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la cantidad y calidad de las cosechas, están en relación directa con los nutrimentos y las características de los suelos. El análisis químico del suelo constituye una de las técnicas más utilizadas para la recomendación de fertilizantes. Es una fuente de información vital para el manejo de suelos, ya que permite:

- clasificar los suelos en grupos afines;
- predecir las probabilidades de obtener respuesta positiva a la aplicación de elementos nutritivos;
- ayudar en la evaluación de la fertilidad del suelo;
- determinar las condiciones específicas del suelo que pueden ser mejoradas.

EL análisis de suelos comprende las siguientes operaciones:

- Toma de la muestra
- Pre tratamiento de la muestra.
- Estudio físico-químico de la muestra.
- Interpretación de los resultado (12)

2.2.1.4 Soluciones extractoras para la extracción de fósforo

El estimar la disponibilidad del fósforo en los suelos tiene unos objetivos prácticos claros: predecir si los cultivos van responder al abonado y, en caso afirmativo, las dosis necesarias para obtener rendimientos adecuados. En la rutina habitual la disponibilidad de fósforo de los suelos se estima mediante las cantidades extraídas por distintos extractantes. Conocer cómo actúa un extractante que da una medida de la cantidad de fósforo del suelo disponible para la planta durante su periodo de crecimiento, ayuda a comprender cuál puede ser mejor para un suelo o suelos determinados y a planificar los experimentos de campo.

Los objetivos de un extractante son de agrupar los suelos en clases para propósitos de recomendaciones de fertilizantes y dar un índice de la cantidad de fósforo que un suelo puede suministrar. Esto permite hacer un balance de pérdidas y ganancias y tomar decisiones para mantener adecuadamente la fertilidad.

Los extractantes son de cuatro tipos distintos:

- Ácidos fuertes a bajas concentraciones (Ácido clorhídrico, Ácido Nítrico, Ácido Sulfúrico). Las concentraciones varían de 0.002 N a 0.075 N y el p^H de 2 a 3.
- Ácidos fuertes diluidos y un ion complejante: en general este ion es el fluoruro que forma complejos muy estables con el Al y, de esta manera, se libera el fósforo de los fosfatos de aluminio. También el Fluoruro es capaz de precipitar al Ca y, por lo tanto, el fósforo presente en los fosfatos de calcio es extraído por estas soluciones. Se usa generalmente el NH_4 . Entre ellos están: Bray I (HCl 0.025 N + NH_4 0.03 N) y Bray II (HCl 0.1 N + NH_4 0.03N)

- Ácidos débiles diluidos: los más corrientes son el ácido cítrico al 1%, el extractante de Egner (lactato de Ca 0.02 N + HCl 0.02 N) y el de Morgan (Ácido acético 0.54 N + NaOAc 0.7 N ($p^H=4.8$)). Los aniones forman complejos con cationes polivalentes liberando fosfato, pudiendo sustituir al fosfato adsorbido e impedir su readsorción.
- Diluciones alcalinas tamponadas con HCO_3 . Los dos utilizados son el de Olsen y el de Colwell ($NaHCO_3$ 0.5 M $p^H= 8.5$). En esto caso los iones de bicarbonato remplazan al fosfato adsorbido y el sodio reduce la actividad del calcio en disolución. Además, el taponamiento a p^H alto hace que se disuelvan parte de los fosfatos de Fe y Al (estos iones precipitan como hidróxidos) (8)

2.2.1.5 Uso de resinas de intercambio aniónico para la cuantificación de fósforo disponible

El fósforo es un elemento que forma compuestos de baja solubilidad en los suelos, resultando en bajos contenidos en la solución del suelo como en la fase sólida. Esto como resultado la dificultad de las plantas de absorber este elemento, así como la determinación de extractantes adecuados que de cierta manera, se puede resumir en la siguiente representación:



Las raíces de las plantas absorben el fósforo de la solución del suelo, y rompen el equilibrio entre la fase sólida y la fase en solución. Por lo tanto la nutrición de las plantas dependerá de la desorción del fósforo de la fase sólida a la fase líquida, aunque el fosforo inorgánico en el suelo puede asociarse con el Fe, Al y Ca, ello se muestra en la siguiente representación:



Por lo tanto, el fósforo no lábil es el que forma compuestos insolubles y el lábil el que está inmediatamente disponible para las plantas y que puede pasar de estar disponible a fósforo no lábil de una forma irreversible. Por lo tanto, las soluciones extractoras convencionales extraen ciertas cantidades de fósforo no lábil, disolviendo el fósforo próximo a la superficie de las partículas del suelo. Entonces, se sabe que las soluciones ácidas, como el caso de Mehlich extraen en suelo alcalinos mayor cantidad de fósforo debido a que disuelven el fósforo insoluble que está adherido al calcio. Del mismo modo, si usamos soluciones básicas como el caso del Olsen modificado estarán disolviendo la parte del fósforo asociado al hierro y aluminio.

Las resinas de intercambio iónico se pueden usar como extractante del fósforo lábil debido a que no influyen sobre su funcionamiento, reacciones químicas dentro de la fase sólida del suelo. Por lo tanto la extracción de fósforo lábil a inmediatamente disponible está influenciada básicamente por difusión del fósforo a la resina de igual forma que las raíces. (15)

P suelo \longleftrightarrow **P solución** \longrightarrow **P resina.**

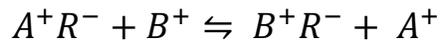
El empleo de las resinas de intercambio aniónico constituyó un avance metodológico importante en la cuantificación del fósforo lábil del suelo respecto al uso de extractantes químicos (15), siendo considerada la extracción por las resinas como uno de los mejores métodos para la estimación del fósforo disponible por la planta.

Las resinas aniónicas y catiónicas simulan la forma de actuar de las raíces de las plantas. La cantidad de fósforo sorbido por la resina depende solamente de la cantidad de fósforo desorbido o solubilizado de la matriz del suelo y no de las propiedades de la propia resina.

La extracción con este tipo de resinas granulares se considera un método más eficaz que la extracción con bicarbonato o agua debido a su bajo costo, simplicidad y elevada correlación con la cantidad de P extraída por la planta. (5, 20, 21, 1)

Muchos factores tienen influencia en la tasa de cambio, entre ellos, la naturaleza de la resina, el tamaño y concentración de los iones que van a ser intercambiados. Una reducción en el tamaño de las partículas de la resina implica un aumento en la tasa de cambio, hecho que hace suponer que el factor determinante sea algún proceso de difusión. Entre los cuales podemos mencionar, la difusión de los iones a través de una membrana líquida que rodea la partícula de la resina y la difusión de estos iones dentro de las partículas de la resina.

En ausencia de complicaciones tales como formación de complejo entre los sistemas de cambio, la distribución de los iones entre la resina y la solución, la afinidad relativa por dos o más cationes de la resina que están compitiendo por un mismo sitio de cambio, puede expresarse de la siguiente manera:



Por lo tanto la afinidad relativa de los iones en cuestión puede ser representada en general por la siguiente ecuación:

$$\frac{(B_R)}{(A_R)} = K_A^B \frac{(B_R)}{(A_R)} = K_A^B \frac{(B_S)I_B}{(A_S)I_A}$$

Donde:

B_R y A_R Son concentraciones de los iones en la resina.

B_S y A_S Son concentraciones en la solución.

I_B y I_A Son los correspondientes coeficientes de actividad

K_A^B Es el coeficiente de afinidad de los iones.

Si no se aplican las correcciones de actividad, se tiene la relación simple:

$$\frac{(B_R)}{(A_R)} = K_{CA}^B$$

Dónde: K_{CA}^B el coeficiente estequiométrico de afinidad relativa.

La selectividad de las resinas de intercambio está en función de que ellas adsorben preferentemente:

- Los iones de carga electrostática contraria de valencia más alta.
- Aquellos iones de volumen equivalente más pequeño.
- Los iones con la mayor polaridad.
- Los iones que interacciones más fuertemente con los grupos iónicos fijos o con la matriz estructural de la propia resina.
- Aquellos iones que participan menos en la formación de complejos con el co-ion. (15)

2.2.1.6 Correlación y calibración

La correlación y calibración de metodologías de laboratorio constituye una etapa vital en toda la dinámica de interpretación de análisis de suelos. El producto final de esta etapa son las tablas de niveles críticos para interpretar los análisis y para tener pautas posteriores de recomendación. Un análisis de suelo por si mismo no tiene valor si no es comparado con una tabla de niveles críticos que ayude a definir si estos son bajos óptimos o tóxicos (3). La correlación y calibración a nivel de invernadero permite comparar diferentes métodos de extracción y determinar los niveles críticos tentativos. La calibración a nivel de campo establece los niveles críticos definitivos para un método de extracción previamente seleccionado, y constituye la fase más importante en los estudios de calibración (19).

La correlación se refiere a la relación entre la absorción de un nutriente y/o la producción de materia seca de la planta y la concentración de un nutriente determinado por una solución extractora del nutriente en un suelo en particular. Debe existir una relación matemática (regresión) entre la producción de materia seca o la concentración del nutriente en la planta y la concentración en el suelo de dicho nutriente. Es importante que exista variabilidad del nutriente en el suelo y se deben tratar de evitar interacciones cuando sea posible, eliminar limitaciones de otros nutrientes. Los ensayos en invernaderos son importantes en esta etapa. (17)

La escogencia de una u otra solución extractora o método de extracción para un elemento dado se basa en la mayor o menor asociación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. Para cuantificar este grado de asociación se usan parámetros estadísticos de correlación (r) y regresión (r^2). Tales correlaciones se establecen generalmente a dos niveles: uno exploratorio en el invernadero, con un número grande de suelos ampliamente divergente, y uno más definitivo en el campo con un número menor de suelos. El objetivo de la correlación a nivel de invernadero es comparar los diferentes métodos de extracción y establecer unos niveles críticos tentativos.

2.2.1.7 Nivel crítico

La determinación del nivel crítico de un elemento es muy importante para valorar el grado de disponibilidad del mismo para las plantas, y se realiza por medio de estudios de correlación entre los rendimientos relativos del cultivo (porcentaje de respuesta de un tratamiento con respecto a un testigo, al cual se le adiciona los tratamientos óptimo para que produzca al máximo) y la concentración del elemento en el suelo. (3)

Por nivel crítico se entiende aquella concentración de un elemento, por encima de la cual, la probabilidad de incrementos sensible en la producción, debido a la aplicación del elemento es baja; mientras que valores inferiores probablemente corresponderán a producciones pobres y la probabilidad de incrementos debido a la aplicación del elemento es alta, esto en relación con el método analítico

utilizado y la respuesta del cultivo cuando se aplica un determinado nutrimento. (3) Los niveles críticos se realizan para la metodología de extracción que haya dado los mejores resultados, es decir que haya mostrado la mejor correlación con la absorción del nutrimento o con sus rendimientos relativos. El procedimiento consiste en agrupar los suelos en categorías de fertilidad tomando como base la magnitud de la respuesta y/o la probabilidad de que esta ocurra, de acuerdo a las correlaciones. La alta correlación positiva obtenida entre las dos variables garantizará que el grupo de suelos que muestre bajos niveles disponibles del nutrimento corresponda con bajos rendimientos relativos, o sea con altas probabilidades de respuesta. Por el contrario, el grupo de suelos que tenga altos niveles disponibles del nutrimento corresponderá con altos rendimientos relativos o, lo que es lo mismo, con bajas probabilidades de respuesta. Forzosamente, entre los dos grupos descritos habrá un grupo intermedio con contenidos medios de elemento que, necesariamente estará asociado con respuesta intermedia.

Aplicar la metodología propuesta por Cate y Nelson (1965), implica la maximización de puntos en dos cuadrantes positivos opuestos y sirve también como herramienta para determinar, gráficamente, una correlación (11). En efecto, cuando hay una asociación significativa entre variables, se pueden ubicar los cuadrantes en innumerables posiciones para cumplir con la maximización de puntos en dos cuadrantes opuestos (Fig. 1). Esto es, precisamente, porque las variables están correlacionadas. Sin embargo, calibrar con este método presupone que debe haber una sola posición de los cuadrantes. Así, la línea paralela al eje "y" define inequívocamente al nivel crítico.

La salida a este dilema se encuentra en restringir la posición de la línea horizontal, paralela al eje x, en una zona cercana al promedio de las respuestas (es decir, de los valores de "y") o de la mediana, que es el parámetro utilizado en la prueba de Olmsted y Tukey. De esta manera el método gráfico coincide generalmente con el de análisis de varianza, en la determinación de dos categorías dentro de la población estudiada.

La ubicación correcta de la línea horizontal, por lo tanto, es clave para la determinación del nivel crítico. Cuando las calibraciones se basan en experimentación a campo con un espectro adecuado de fertilidad, por definición corresponde a una categoría intermedia, generalmente no mayor del 80 % del RR (Fig. 1b)

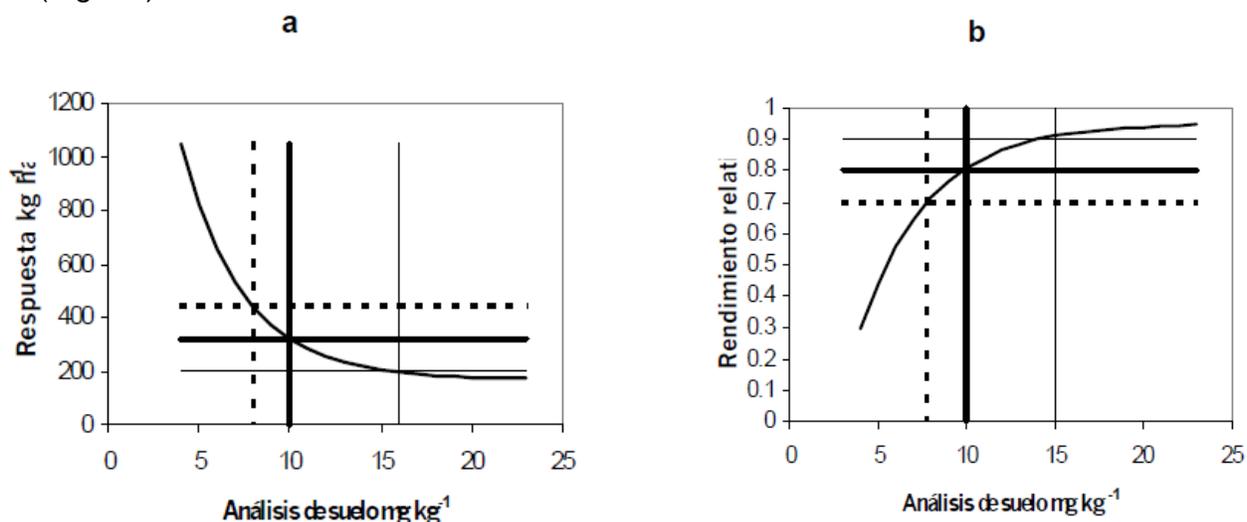


Figura 4 Distintas posiciones para el Cuadrante CATE y NELSON considerando (a) Nivel Crítico respecto al rendimiento de producción, (b) Nivel Crítico (b) respecto al rendimiento relativo. Tomado de Ron, M (2003).

Los niveles críticos deben contarse preferiblemente por grupo de suelos y por cultivo, que permitan indicar a partir de que concentración el rendimiento ya no se ve modificado por la concentración de dicho elemento en el suelo. (2)

2.2.2 Marco referencial

2.2.2.1 Antecedentes

El ICTA en Guatemala determinó en 1974 el nivel crítico para fósforo a nivel de invernadero en 19mg/L y luego en la calibración de campo se redefinió en 5.7 mg/lit en 44 suelos distintos utilizando la solución mehlich I. (14)

Peralta en el año 2000, determinó con diferentes soluciones extractoras, el nivel crítico para café en suelos andisoles y ultisoles de la región sur de Guatemala, obteniendo para fósforo los siguientes:

Para andisoles, Olsen modificado 2.4 mg/Kg; bray-kurtz 3.8 mg/Kg; mehlich I 3.2 mg/Kg y mehlich III 3.1 mg/Kg. Para ultisoles: Olsen modificado: 9.9 mg/Kg; bray-kurtz 8.9 mg/Kg; mehlich I 9.3 mg/Kg y mehlich III 8.3 mg/Kg. (14)

Chonay et al., en el año 2000, realizó una evaluación de la fertilidad de las diferentes regiones fisiográficas de Guatemala mediante distintas soluciones extractoras obteniendo para el fósforo los siguientes resultados: mehlich I 12mg/L; mehlich III 10 mg/L; bray I 13.30 mg/L; olsen modificado 12 mg/L. (4)

Ramos (2003), determinó que el nivel crítico de fósforo para los suelos del altiplano occidental de Guatemala para la solución mehlich I y mehlich III fue de 15 mg/kg y de 19 mg/kg, respectivamente. (17)

Cabalqueta y Molina (2006), determinaron los niveles críticos para fósforo en cuatro órdenes de suelos en Costa Rica a nivel de invernadero, utilizando la solución extractora mehlich III; obteniendo los siguientes resultados para ultisoles 3 mg/L, para inceptisoles 6 mg/L, para vertisoles 13 mg/L, para andisoles 16 mg/L. (3). Vanegas, et al., (1999) realizó la evaluación de cuatro soluciones extractoras para cuantificar el fósforo disponible en suelos andisoles de la tierra de Tarasca México. Concluyen que la solución de Olsen modificado es el más confiable para detectar el fósforo disponible con relación a las otras soluciones estudiadas. Las cuales fueron bray P-1, mehlich III y soltampour y schan. (26).

2.2.3. Descripción del área experimental

2.2.3.1 Localización

La ubicación del experimento fue en el invernadero del laboratorio de suelo, agua y planta de la Asociación Nacional del Café ubicado calle del café 0-50 zona 14 Guatemala, Guatemala.

2.2.3.2. Zona de vida

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Guatemala de Holdridge, la asociación se encuentra ubicada en la zona de vida de Bosque Húmedo Subtropical (templado) bh-S (T), es el típico escenario que posee el valle de Guatemala. (22)

2.2.3.3. Precipitación y temperatura

La precipitación promedio en la zona es de 1196.8 mm al año, con las temperaturas que oscilan entre 24.5 °C a 14 °C. (7)

2.2.3.4. Humedad relativa, evaporación y vientos

La humedad relativa media mañana: 84%, por la noche la humedad relativa: 64%. El Promedio de Punto de rocío es de 12 °C. La velocidad del viento es en promedio de 17.7 km/hr, con una evaporación de 120.2 mm. (7)

2.2.3.5. Suelos

Los suelos fueron muestreados en la región central cafetalera de Guatemala; los departamentos estudiados fueron Chimaltenango, Escuintla, Guatemala, Sacatepéquez, Santa Rosa, Jalapa y Jutiapa. La precipitación pluvial observada varió de 1400 mm a 2050 mm anuales en promedio, con temperaturas que van desde 17°C hasta 25°C. (7)

Cuadro 2. Puntos de Muestreo.

PUNTOS DE MUESTREO					
No. Muestra	Nombre Finca	Departamento	Municipio	Coordenadas	Orden de suelo
1	San Martín	Chimaltenango	San Martín Jilotepeque	N 14°52.71' O 90°48.060'	Alfisol
2	Santa Elena	Chimaltenango	San Martín Jilotepeque	N 14°53.41' O 90°44.73'	Entisol
3	El Platanar	Chimaltenango	Acatenango	N 14°33.421' O 90°56.251'	Entisol
4	El Líbano	Chimaltenango	Acatenango	N 14°32.943' O 90°56.594'	Entisol
5	La Conchita	Chimaltenango	San Pedro Yepocapa	N 14°28.454' O 90°58.142'	Entisol
6	Las Estacas	Escuintla	San Vicente Pacaya	N 14°25.228' O 90°36.757'	Andisol
7	El Rincón	Guatemala	Amatitlán	N 14°27.028' O 90°31.249'	Molisol
8	El Retumbo	Guatemala	Villa Canales	N 14°19.486' O 90°35.78'	Entisol
9	Las cachajinas	Guatemala	Villa Canales	N 14°20.997' O 90°34.287'	Entisol
10	San Rafael Urías	Sacatepéquez	San Miguel Dueñas	N 14°31.391' O 90°47.266'	Andisol
11	Bella Vista	Sacatepéquez	Antigua Guatemala	N 14°31.918' O 90° 44.626'	Andisol
12	La Follie	Sacatepéquez	Antigua Guatemala	N 14°34.466' O 90°43.858'	Andisol
13	Buena Vista	Sacatepéquez	Jocotenango	N 14°35.228' O 90°44.651'	Andisol
14	La vega	Santa Rosa	Pueblo nuevo Viñas	N 14°20.730' O 90°27.284'	Entisol
15	El retiro	Santa Rosa	Pueblo nuevo Viñas	N 14°10.386' O 90°25.045'	Ultisol
16	El zapote	Santa Rosa	Nueva Santa Rosa	N 14°19.167' O 90°18.539'	Ultisol
17	El recreo	Santa Rosa	Santa Rosa de Lima	N 14°25.108' O 90° 656'	Entisol
18	Vizcaya	Jalapa	Mataquescuintla	N 14°33.670' O 90°12.612'	Inceptisol
19	Buena Ventura	Jutiapa	Moyuta	N 14°03.060' O 90°03.427'	Entisol

2.3 Hipótesis

La extracción de fósforo disponible mediante el uso de resinas de intercambio ionico, tendrá un mejor ajuste respecto a la respuesta de la planta indicadora (*Sorghum bicolor*); Comparado con la extracción de fósforo disponible utilizando olsen modificado.

2.4 Objetivos

2.4.1. Generales

Evaluar la resina de intercambio anionico como solución extractora para la determinación de fosforo disponible en suelos cafetaleros de la región central de Guatemala.

2.4.2. Específicos

- a. Comparar la extracción de fosforo disponible por el método de Resinas de intercambio aniónico y olsen modificado a nivel de laboratorio e invernadero.
- b. Obtener los niveles críticos de fósforo disponible para los suelos cafetaleros de la región central de Guatemala, utilizando la solución extractora resinas de intercambio aniónico.
- c. Obtener el índice de correlación entre el nivel de fosforo disponible en el suelo y el rendimiento relativo del cultivo, para la solución extractora resinas de intercambio aniónico.

2.5. Metodología

2.5.1. Muestreo

El muestreo se realizó en la región central cafetalera de Guatemala, Apoyado por el equipo técnico de ANACAFE. Se muestreó un total de 19 fincas, importantes de la región. Los puntos de muestreo fueron geo referenciados, para saber con exactitud en qué orden de suelos, se tomó la muestra. (6)

Cuadro 3. Clasificación de suelos de los puntos de muestreo.

No	Coord X	Coord Y	Nombre Finca	Departamento	Municipio	Orden de Suelo
20	-90.0571167	14.0510000	Buena Ventura	Jutiapa	Moyuta	Entisoles
15	-90.4174167	14.1731000	El retiro	Santa Rosa	Pueblo nuevo Viñas	Ultisoles
16	-90.3089833	14.3194500	El Zapote	Santa Rosa	Nueva Santa Rosa	Ultisoles
8	-90.5963333	14.3247667	El Retumbo	Guatemala	Villa Canales	Entisoles
14	-90.4547333	14.3455000	La Vega	Santa Rosa	Pueblo nuevo Viñas	Entisoles
9	-90.5714500	14.3499500	Las Cachajinas	Guatemala	Villa Canales	Entisoles
17	-90.2942667	14.4184667	El Recreo	Santa Rosa	Santa Rosa de Lima	Entisoles
6	-90.6126167	14.4204667	Las Estacas	Escuintla	San Vicente Pacaya	Andisoles
7	-90.5208167	14.4504667	El Rincón	Guatemala	Amatitlan	Molisoles
5	-90.9690333	14.4742333	La Conchita	Chimaltenango	San Pedro Yepocapa	Entisoles
10	-90.7877667	14.5231833	San Rafael Urias	Sacatepéquez	San Miguel Dueñas	Andisoles
11	-90.7437667	14.5319667	Bella Vista	Sacatepéquez	Antigua Guatemala	Andisoles
19	-90.2016833	14.5401833	Colina San Jacinto	Jalapa	Mataquescuintla	Inceptisoles
4	-90.9432333	14.5490500	El Líbano	Chimaltenango	Acatenango	Entisoles
3	-90.9375167	14.5570167	El Platanar	Chimaltenango	Acatenango	Entisoles
18	-90.2102000	14.5611667	Vizcaya	Jalapa	Mataquescuintla	Inceptisoles
12	-90.7309667	14.5744333	La Follie	Sacatepéquez	Antigua Guatemala	Andisoles
13	-90.7441833	14.5871333	Buena Vista	Sacatepéquez	Jocotenango	Andisoles
1	-90.8010000	14.8785000	San Martin	Chimaltenango	San Martin Jilotepeque	Alfisoles
2	-90.7455000	14.8901667	Santa Elena	Chimaltenango	San Martin Jilotepeque	Entisoles

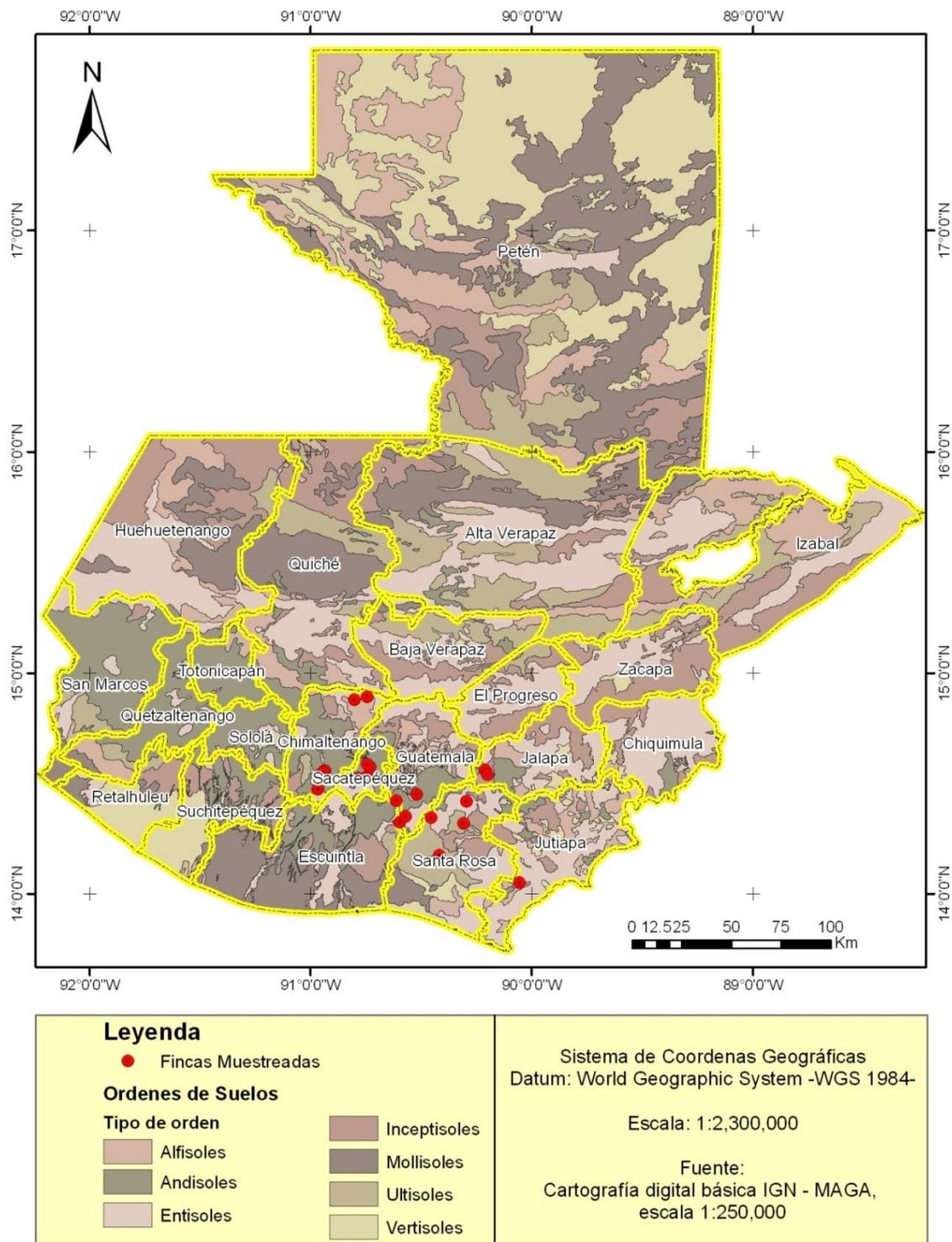


Figura 5. Ubicación Geográfica de puntos de muestreo. Fuente Cartografía digital Básica IGN-MAGA.

2.5.2. Toma de la muestra

La muestra fue ser representativa de la profundidad o área de la cual sea necesaria la información. En este caso se tomó la muestra representativa de un lote de la finca a 20 cm. de profundidad, recolectadas en cubetas plásticas para la homogenización de la muestra. Se tomaron 20 submuestras del lote para una muestra compuesta de aproximadamente 35kg en cada finca muestreada. (6)

2.5.3. Análisis preliminar

Las muestras se analizaron según la metodología del laboratorio suelo, planta y agua de ANACAFÉ el cual incluyo los siguientes análisis:

- p^H : Método potenciométrico, en agua.
- Elementos mayores (P y K) Olsen Modificado
- Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn) DTPA
- Ca y Mg Con KCl 1 N.
- Acidez intercambiable con KCl 1N.
- Materia orgánica por el método digestión húmeda de Walkley y Black. (6)

2.5.4. Estudios de sorción

A causa de las características dinámicas del suelo, cuando se le agrega algún material o elemento, este estará sujeto a cambios físicos, químicos y biológicos, debido al cambio en las reacciones que se llevan a cabo en su seno. Es de esperar que la disponibilidad para la planta varíe debido, no solo al elemento agregado, sino también a los elementos que ya se encontraban presentes. Debido a esto es importante determinar la capacidad de sorción de los suelos, para los principales elementos nutritivos. (6)

Los estudios de sorción se realizaron según la metodología de Díaz Romeu, 1982, la cual consiste. En realizar una solución madre de fósforo a base de KH_2PO_4 a una concentración de 700mg/L. Luego esta se diluye para cada tratamiento según el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Tratamientos Estudios de sorción

TRATAMIENTO	ml de solución madre diluidos a 100 ml	concentración de P en los tratamientos (ppm)
1	5	35
2	10	70
3	20	140
4	40	280
5	80	560

Fuente: DiazRomeu. 1982.

Los tratamientos con las concentraciones del cuadro anterior se agregaron a cada suelo a los cuales se le realizó el estudio de sorción. Se utilizaron 11 frascos para análisis, se realizó la prueba por duplicado. Se colocó en cada frasco 2.5 ml de suelo de cada punto de muestreo. Luego se agregó al primer frasco 2.5 ml de agua destilada que representó al testigo. Al resto de frascos se le agregó 2.5 ml de cada tratamiento según el cuadro anterior. Después de agregar las soluciones se agitó suavemente para mezclar la solución con el suelo y se dejaron los frascos en un lugar limpio hasta la sequedad (6).

Posteriormente se analizaron los suelos con la metodología de Olsen modificado, siguiendo los pasos de rutina de análisis de muestras. Con los datos obtenidos se realizó un correlación lineal simple entre el fósforo agregado y el fósforo extraído y se obtuvo la ecuación $Y = b_o + b_i X$ y mediante la fórmula $\%Fijacion = (1 - b_i) \times 100\%$ obtuvo el valor en porcentaje de fijación para cada suelo en estudio.

2.5.5. Tratamiento óptimo

El tratamiento óptimo se basó en el porcentaje de fijación de fósforo que se obtuvo según los estudios de sorción previamente realizados a la fase de invernadero.

La cantidad requerida de fósforo para la planta indicadora en esa fase de crecimiento multiplicada por el porcentaje de fijación, luego esa cantidad se le adicionó al suelo, para cubrir la fracción de fosforo aplicado que se fijó en el suelo.

2.5.6. Nutrientes complementarios

Los elementos restantes se aplicaron según los requerimientos de la planta indicadora, durante la duración de la prueba de invernadero.

2.5.7. Metodología experimental

Para correlacionar y calibrar la cantidad extraída del fósforo por el método de resinas de intercambio anionico, se realizó la prueba de invernadero, con la utilización de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*) como planta indicadora. Se establecieron 2 tratamientos y 3 repeticiones, distribuidas en el invernadero aleatoriamente con un diseño experimental completamente al azar, utilizado únicamente para obtener la media aritmética del rendimiento relativo de biomasa:

T1: tratamiento optimo

T2: tratamiento óptimo menos fosforo

2.5.8. Unida experimental

Esta constó de 1 maceta plásticas con capacidad de 1 kg de suelo, haciendo un total de 114 unidades experimentales.

2.5.9. Variable respuesta

Rendimiento relativo de materia seca (RR): el rendimiento relativo de materia seca se obtuvo a los 45 días de haber sembrado el sorgo, para ello se cortó a 0.5 cm de altura de la superficie de la unidad experimental. La biomasa se secó en un horno de convección a 65°C durante 48 horas, hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente se determinó el peso seco con la utilización de una balanza semianalitica. Se determinó el rendimiento relativo siguiendo la siguiente formula.

$$\%RR = \frac{\text{Materia Seca (g) sin elemento}}{\text{Materia Seca (g) completo}} \times 100$$

Entre más cercano sea a 100 el % de RR, menor será la respuesta de la aplicación del elemento. Por lo tanto se deben de separar los valores de rendimiento que indiquen una respuesta negativa de los que den una respuesta positiva a la aplicación del elemento. (6)

2.5.10. Análisis de la información

2.5.10.1. Regresión y correlación

Se utilizaron los parámetros (r) correlación y (r^2) regresión, utilizando el software de análisis de datos de Microsoft Excel. Se utilizó un modelo logarítmico para representar la relación entre el rendimiento relativo y la extracción de fósforo con ambas metodologías, obteniendo la ecuación $Y = 19.92 \ln(x) - 12.211$

2.5.10.2. Niveles críticos

Antes de realizar cualquier correlación fue necesario analizar las muestras de suelo provenientes del campo para determinar la cantidad de fósforo disponible. Ya que obtuvimos el valor de la muestra se procedió a realizar la prueba de invernadero. Se utilizó el método Cate y Nelson, agrupando los suelos en categorías de fertilidad tomando como base la magnitud de respuesta y/o la probabilidad de que esta ocurra, de acuerdo a las correlaciones previamente obtenidas. Se marcaron los resultados en un sistema de coordenadas X, Y, colocando en el eje Y el rendimiento relativo en % y en el eje X, el fósforo extraído en mg/L. Se sobrepuso sobre la gráfica una hoja transparente dividida en cuadrantes. Se hizo coincidir dicha hoja de tal manera que la mayor parte de puntos quedaron en los cuadrantes inferior izquierdo y superior derecho. La línea que corta el eje de las X indicó el nivel crítico.

2.5.11. Manejo agronómico

2.5.11.1. Siembra

Se realizó la siembra a una densidad 10 semillas de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L) por unidad experimental, estas se sembraron a una profundidad de 0.5cm.

2.5.11.2. Raleo

El raleo se realizó a los 7 días de realizada la siembra, con lo cual se dejaron 5 plantas de mayor vigorosidad y homogeneidad.

2.5.11.3. Riego

El riego se realizara con una frecuencia de 2 días, aplicando 75ml por unidad experimental, las unidades experimentales (macetas) tenían agujeros en el fondo para evitar acumulamiento de agua en la superficie de la unidad experimental.

2.5.11.4. Fertilización

La fertilización se realizó previa a la siembra, según cada tratamiento, se agregaron los elementos en su totalidad. Para cada unidad experimental se agregaron fórmulas solubles de fertilizantes grado reactivo. Se diluyó y se incorporó al suelo de cada unidad experimental homogenizando para que tuviera contacto todo el suelo con el fertilizante.

2.5.11.5. Cosecha

La cosecha se realizó a los 45 días de germinadas las plantas, cortando las plantas a 0.5 cm, luego fueron identificadas y secadas a una temperatura de 65°C hasta un peso constante. Se obtuvo la cantidad de materia seca de las plantas con respecto al tratamiento óptimo.

2.6. Resultados y Discusión

2.6.1. Características químicas del suelo

En el cuadro 5 se presentan los resultados del análisis de suelos realizados con la metodologías: pH método potenciómetro; P, K Olsen modificado; Ca, Mg Cloruro Potasio 1N; Elementos menores solución DTPA; A.I, Al Cloruro de potasio 1N; Materia Orgánica digestión húmeda Walkley y Black.

Cuadro 5. Características químicas de los suelos estudiados.

Finca	Características Químicas											
	pH	P (ppm)	K Cmol/L suelo	Ca Cmol/L suelo	Mg Cmol/L suelo	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	M.O. %	A.I. Cmol/ L suelo	Al Cmol/L suelo
San Martin	5.6	17.7	0.608	5.116	1.801	1.978	35.68	88.29	1.692	4.1	0.206	0.192
Santa Elena	6	7.51	0.535	3.896	2.273	0.78	67.94	68.28	1.59	4.14	0.078	0.064
El Platanar	6.5	14	0.409	7.663	1.579	2.264	52.78	6.26	4.864	10.6	0.048	0.042
El Líbano	6.3	11.1	0.1	5.935	0.888	1.864	40.81	7.44	1.796	7.43	0.05	0.04
La conchita	6.7	38.6	0.1	1.968	0.344	1.714	60.57	2.86	5.258	7.9	0.08	0.074
Las estacas	6.1	17.6	0.447	7.812	1.194	1.996	85.66	9.19	2.758	7.48	0.066	0.052
El rincón	6.7	49.5	0.406	11.43	3.232	1.836	106.1	37.4	11.18	9.46	0.06	0.05
El Retumbo	5.9	8.52	0.76	9.249	2.878	5.214	90.48	69.39	3.204	6.02	0.066	0.054
Las Cachajinas	7.1	9.66	0.426	18.83	2.46	2.458	2.17	8.63	5.082	16.2	0.04	0.034
San Rafael Urías	7.1	26.9	0.851	8.606	2.341	0.812	79.9	19.34	5.888	3.59	0.044	0.04
Bella Vista	6.8	45.1	0.539	8.274	2.46	4.54	121.6	10.63	10.67	9.55	0.052	0.048
La Follie	7.2	90.7	0.812	8.434	2.95	2.212	46.85	12.06	5.314	4.23	0.04	0.034
Buena Vista	6.5	12.2	0.368	8.343	3.022	4.694	49.41	22.25	1.484	5.25	0.044	0.04
La Vega	6.3	7.45	0.903	13.49	3.593	5.374	101.1	51.33	5.408	9.35	0.066	0.046
El Retiro	5.7	39.7	0.153	10.26	1.903	0.856	103.8	23.8	4.612	12.6	0.09	0.076
El Zapote	6.2	27.4	0.537	9.076	2.438	7.552	114.4	50.8	4.95	7.54	0.07	0.048
El recreo	4.8	56.2	0.299	4.046	1.001	4.09	147	58.79	2.164	4.21	0.834	0.684
Vizcaya	4.9	211	0.88	2.008	1.096	3.804	191.3	44.69	6.586	7.08	1.008	0.742
Buena Ventura	5.6	21.7	0.505	7.357	1.895	2.718	24.45	88.6	1.252	5.2	0.106	0.086

Para el elemento fósforo, podemos observar que 7 suelos están por debajo del rango óptimo, según el laboratorio de suelo, planta y agua de ANACAFE, para la metodología de Olsen Modificado. Se observó que también 5 suelos están dentro del rango óptimo y el resto de suelo se encuentra arriba del rango óptimo. Se observa también una baja acidez intercambiable así como el aluminio que se encuentran en el rango adecuado.

Los valores de materia orgánica fueron en un 58% de los suelos muestreados superiores al rango óptimo que es de 3-6%. Este porcentaje tan alto de materia orgánica se debe principalmente al cultivo bajo sombra y como se sabe la materia orgánica es aportadora de nutrientes para el suelo. Por esta razón la mayoría de los resultados obtenidos se encuentra dentro del rango óptimo o por encima de este, lo cual se observa en el cuadro 5.

2.6.2. Nivel crítico para fósforo

Según la respuesta de la planta indicadora a la aplicación de fósforo se obtuvieron los datos de biomasa, con lo cual se calculó el rendimiento relativo para realizar la respectiva correlación con la cantidad de fósforo disponible en el suelo. En el cuadro 6, se observa el contenido de materia seca separado por tratamiento.

Cuadro 6. Biomasa de cada punto de muestreo para cada tratamiento.

Nombre Finca	Peso Seco Muestras (g)							
	Tratamiento I			Media	Tratamiento II			Media
	Rep. I	Rep. II	Rep III		Rep I	Rep. II	Rep III	
San Martin	1.17	0.89	1.01	1.02	0.44	0.49	0.46	0.46
Santa Elena	0.66	0.58	0.87	0.70	0.24	0.25	0.23	0.24
El Platanar	0.61	0.63	0.62	0.62	0.32	0.35	0.29	0.32
El libano	0.42	0.35	0.34	0.37	0.17	0.2	0.24	0.20
La conchita	0.5	0.73	0.74	0.65	0.4	0.6	0.42	0.47
Las estacas	0.62	0.67	0.55	0.61	0.29	0.31	0.29	0.29
El rincón	1.77	1.48	1.67	1.64	1.48	0.9	1.32	1.23
El Retumbo	0.97	1.01	1.12	1.03	0.38	0.39	0.41	0.39
Las Cachajinas	0.82	0.78	0.78	0.79	0.39	0.38	0.35	0.37
San Rafael Urias	1.93	2.03	1.76	1.90	0.86	1.01	1.15	1.00
Bella Vista	1.41	0.6	1.06	1.02	0.71	0.93	0.88	0.84
La Follie	2.19	1.79	1.96	1.98	1.73	1.91	1.52	1.72
Buena Vista	0.55	0.6	0.62	0.59	0.24	0.28	0.26	0.26
La Vega	1.53	1.64	1.07	1.41	0.46	0.57	0.47	0.50
El Retiro	1.04	0.87	1.15	1.02	0.65	0.54	0.64	0.61
El Zapote	4.32	4.14	3.96	4.14	2.78	2.51	2.35	2.54
El recreo	3.24	2.7	2.06	2.66	2.06	2.57	1.7	2.11
Vizcaya	1.55	1.82	1.91	1.76	1.29	1.47	1.21	1.32
Buena Ventura	1.11	1.31	1.07	1.16	0.41	0.43	0.48	0.44

Cuadro 7. Rendimiento relativo y cantidad extraída de fosforo con ambas metodologías.

Nombre Finca	% Rend. Relativo	Fosforo Extraído Con Resinas (ppm)	Fosforo extraído por Olsen M (ppm)
San Martin	45.27	24	17
Santa Elena	34.12	7	7
El Platanar	51.61	39	14
El Líbano	54.95	38	11
La conchita	72.08	50	38
Las estacas	48.36	19	17
El rincón	75.20	111	49
El Retumbo	38.06	17	8
Las Cachajinas	47.05	20	9
San Rafael Urías	52.79	30	26
Bella Vista	82.08	77	45
La Follie	86.86	124	90
Buena Vista	44.06	22	12
La Vega	35.37	17	7
El Retiro	59.80	25	39
El Zapote	61.51	31	27
El recreo	79.12	40	56
Vizcaya	75.18	100	210
Buena Ventura	37.82	11	21

En el cuadro 7 observamos los datos obtenidos con ambas metodologías de extracción de fosforó, en donde claramente se observa, en la mayoría de casos, mayor extracción de resina sobre la extracción de Olsen modificado.

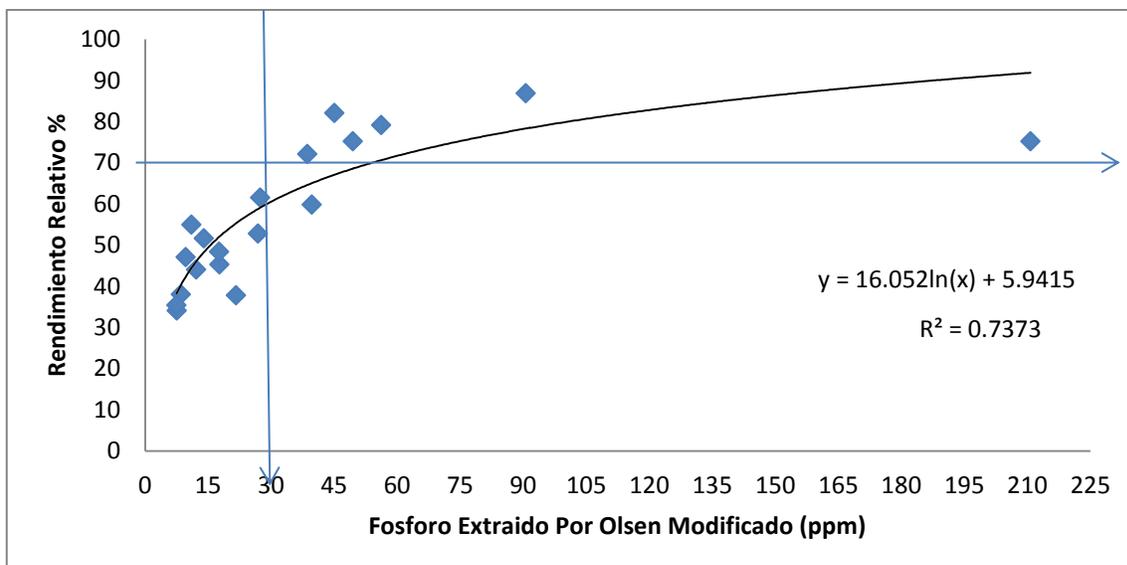


Figura 6. Nivel Crítico de Fosforo Con la metodología de Olsen Modificado.

En la figura 6, se observa la correlación de los resultados obtenidos con la metodología de extracción de Olsen Modificado contra el rendimiento relativo de la planta indicadora sorgo (*Sorghum bicolor*); el nivel crítico de fósforo obtenido fue de 30 ppm, lo cual no concuerda con la mayoría de trabajos similares ya que en general los niveles críticos oscilan entre 9.9 mg/Kg hasta 19 mg/Kg (3, 4, 14, 16). Esto se puede explicar debido a las condiciones específicas de cada suelo en donde fueron extraídos. Al obtener un nivel crítico de 30 ppm, se puede deber a las reacciones químicas que ocurren entre la matriz de la solución extractora y el suelo. Esto se puede observar en los puntos de muestreos de las finca Vizcaya y La Follie las cuales poseen características extremas de pH obteniendo valores de 4.9 y 7.2 respectivamente. Como se sabe bien las metodologías de extracción basadas en soluciones químicas tienden a extraer cantidades anormales del suelo debido a las condiciones extremas variando principalmente por efecto directo con el pH, y la disponibilidad máxima de nutrientes se obtiene a valores de entre 5.5-6.5 de pH. Básicamente lo que se observa en la figura 3, se refiere a la capacidad de la solución extractora, la cual extrae cantidades que la planta no puede extraer del suelo debido a que los pH del mismo están fuera de los rangos en donde son más disponibles los nutrientes, especialmente el fósforo, dato que tiende a sobre estimarse o subestimarse.

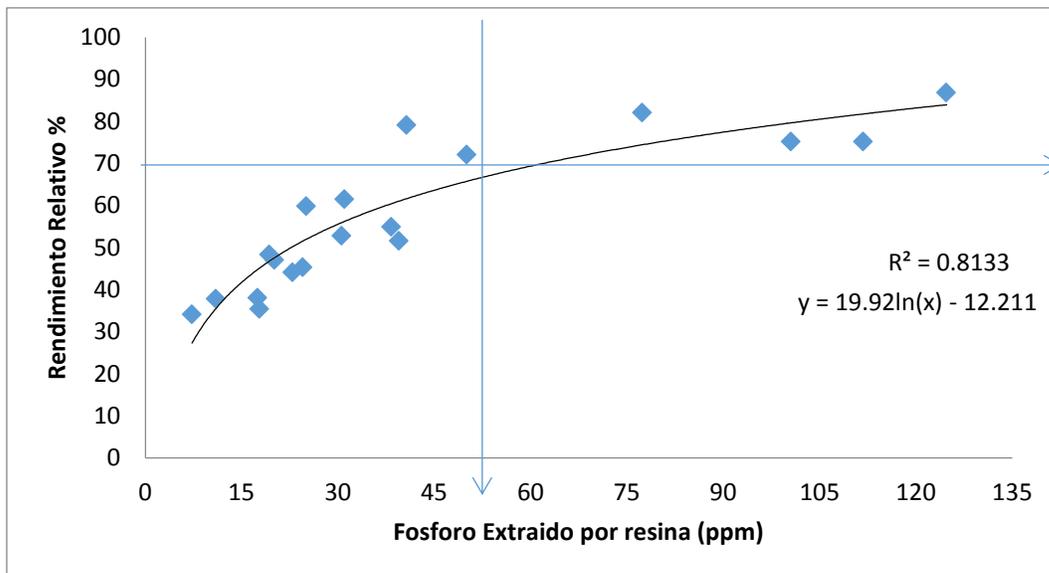


Figura 7. Nivel Crítico de Fósforo obtenido con la solución extractora Resinas de Intercambio Anionico.

Según la figura 7 el nivel crítico obtenido 50 mg/kg, el cual es muy distinto a las otras metodologías que se han utilizado para la extracción de fósforo disponible. Según Alfaro 2012. Los resultados fueron similares al realizar el ensayo en suelos de la región cañera de Guatemala con la resina de intercambio iónico. Al comparar con el Olsen modificado se observó un mejor índice de correlación, debido a que una de las cualidades de la metodología de la resina de intercambio iónico es que no interfiere con las condiciones limitantes de la disponibilidad de fósforo especialmente el pH y que la metodología de resinas es capaz de remover el fósforo de los óxidos de hierro y aluminio que también es disponible para las plantas, esto debido al efecto amortiguador de la resina sobre el pH. Raij, et, al. 1999 compararon el efecto del pH sobre la efectividad de la resina en la extracción de fósforo del suelo respecto al fósforo extraído por la planta obteniendo coeficientes de correlación de 0.84 para suelos ácidos, 0.83 para suelos neutros y alcalinos (17). Los cuales se asemejan mucho a los obtenidos en nuestro ensayo en donde se nota claramente la variación de pH.

Esto se corrobora con los pH que se obtuvieron según el análisis químico del cuadro 3 Por tal razón es un mejor indicador del fósforo disponible para las plantas, obteniendo resultados más estables, en donde el principal limitante de variación en el resultado de fósforo disponible es el pH, con respecto a la metodología de Olsen Modificado.

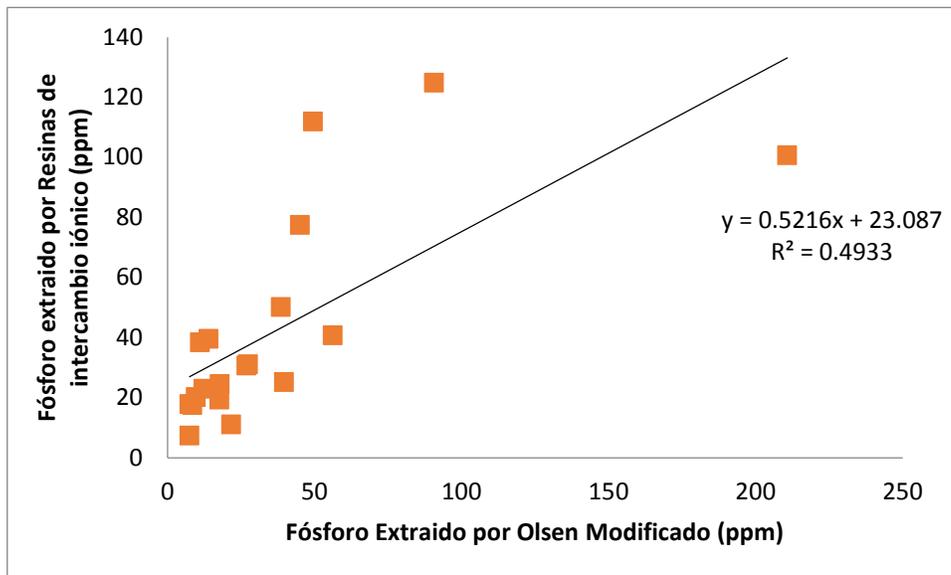


Figura 8. Comparación del fósforo extraído entre ambas metodologías de estudio.

Como se observa en la comparación del fósforo extraído con las diferentes metodologías de extracción (figura 8), la extracción de fósforo para ambas metodologías es distinto para los mismos suelos. Hecho que explica la naturaleza de cada metodología y su forma de acción sobre el fósforo disponible en el suelo para las plantas. El Coeficiente de ajuste es suficientemente bajo para decir que ambas metodologías extraen distintas cantidades de fósforo.

2.6.3. Conclusiones

- El coeficiente de correlación para cada metodología de extracción de fósforo, utilizando un modelo logarítmico fue de 0.73 para Olsen Modificado y de 0.81 para Resinas de Intercambio Anionico, para cual se acepta la hipótesis planteada.
- Los niveles críticos obtenidos para cada metodología fueron de 30mg/Kg y 50 mg/Kg, para Olsen Modificado y Resinas de intercambio iónico respectivamente.
- El índice de correlación entre las metodología (menor a 0.5) y los niveles críticos obtenidos con cada una de ellas, indican que ambas metodologías presentan comportamientos diferentes respecto a la determinación del fósforo disponible del suelo y su relación con la planta, aspecto que debe ser tomado en cuenta al momento de la interpretación de resultados.

2.6.4. Recomendaciones

- Al momento de seleccionar los puntos de muestreo se recomienda preferentemente clasificarlos según su contenido de fosforó disponible, de tal manera que se obtengan suelos con un contenido bajo, medio y alto de fosforó disponible.
- Se recomienda que al momento de fertilizar se utilicen fórmulas de fertilizantes grado reactivo, para asegurar que la cantidad correcta se aplique a cada unidad experimental, además de asegurar su completa solubilidad en agua.
- Se recomienda hacer estudios de campo, con el fin de establecer los niveles críticos definitivos para la metodología de Resinas de intercambio aniónico, debido que los resultados se ajustaron mejor a la respuesta del cultivo.

2.7. Revisión Bibliográfica

1. Bache, BW; Ireland, C. 1980. Desorption of phosphate from soils using anion exchange resins. *Journal of Soil Science* 31:297-306.
2. Bertsch, F; Bejarano, A; Corrales, M. 2005. Correlación entre soluciones extractoras KCl, Olsen Modificado y Mehlich 3, usadas en los laboratorios de suelos de Costa Rica (en línea). *Agronomía Costarricense* 29(3). Consultado 18 oct 2011. Disponible en <http://www.latindex.ucr.ac.cr/agrocostar-29-3/rac-29-3-10.pdf>
3. Cabalceta, G; Molina E. 2006. Niveles críticos de nutrientes en suelos de Costa Rica, utilizando la solución extractora Mehlich 3 (en línea). *Agronomía Costarricense* 30(2). Consultado 18 oct 2011. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/436/43630203.pdf>
4. Chonay, J; Herrera, E; Sacbajá, A; Carías, A; Santos, I. 2000. Evaluación de soluciones extractoras en la fertilidad de los suelos para las regiones fisiográficas: llanura Costera del pacífico y pendiente volcánica reciente de Guatemala. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. 140 p.
5. Cooperband, LR; Logan, TJ. 1994. Measuring *in situ* changes in labile soil P using anion exchange membranes. *Soil Science Society of America Journal* 58:109-114.
6. Díaz, RR; Hunter, A. 1978 Metodología de muestreo de suelos, análisis de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 44-68.
7. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2012. Tarjetas de registro climatológicas de la estación meteorológica INSIVUMEH. Guatemala. Sin publicar.
8. Khouri, E. 2005. Dinámica del fósforo en suelos cálcicos de áreas mediterráneas: trabajo experimental. España, Universidad de Oviedo, Editorial de la Universidad de Oviedo. 85 p.
9. Murillo, A; Boixadera, J; Bosch, A; Martín, A. 2010. Tecnología de suelo: estudio de caso. Zaragoza, España, Editorial Prensa Universitaria de Zaragoza / Universidad de Lleida. 515 p.
10. Navarro, G. 2003. Química agrícola. 2 ed. Madrid, España, Mundi-Prensa. 487 p.

11. Nelson, LA; Anderson, RL. 1977. Partitioning of soil test-crop response probability. *In* Soil testing: correlating and interpreting the analytical results. ASA Spec. Pub. 29:19-38.
12. 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.
13. Palma, G. 1970. Uso de resinas para evaluar la disponibilidad de fósforo en el suelo. Turrialba, Costa Rica, OEA, Instituto de Ciencias Agrícolas. 78 p.
14. Peralta, E. 2000. Determinación del nivel crítico de fósforo, azufre y zinc en andisoles y ultisoles de la región cafetalera del sur de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 58 p.
15. Raij, B; de Andrade, J; Cantarella, H; Quaggio, J. 2001. Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais. Campinas, Brasil. Instituto Agrônomico de Campinas. 285 p.
16. Raij, B; Cantarella, H; Quaggio, J; Prochnow, L. 2009. Ion exchange resin for assessing phosphorus availability in soil. *Better Crops* 93(1): 23-25.
17. Ramos, N. 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.
18. Ron, M de las M. 2003. Calibración de análisis de suelos, niveles y paradigmas. Bahía Blanca, Argentina, Universidad Nacional del Sur. 5 p.
19. Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. Trad. Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.
20. Schoenau, JJ; Huang, WZ. 1991. Anion exchange membrane, water, and sodium bicarbonate extraction as soil tests for phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 22:465–492.
21. Sibbesen, E. 1978. An investigation of the anion exchange resin method for soil phosphate extraction. *Plant and Soil* 50:305–321.
22. Simmons, CH; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
23. Steel, RGD; Torrie, JA. 1992. Bioestadística: principios y procedimientos. México, McGraw-Hill. 622 p.

24. Tisdale, S; Nelson, W. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. México, Limusa. 760 p.
25. Urbano, P. 1988. Tratado de fitotecnia general: el fosforo en la planta. 2 ed. España, Mundi-Prensa. 470 p.
26. Vanegas, J; Cajuste, L; Trinidad, A; Gavi, F. 1999. Correlación y calibración de soluciones extractantes del fosforo aprovechable en andisoles de la sierra de Tarasca. Terra Latinoamericana 17(4):287-291.

CAPÍTULO III
SERVICIOS PRESTADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y
AGUA DE LA ASOCIACIÓN NACIONAL DEL CAFÉ



3.1 Presentación

El presente documento describe los servicios ejecutados durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) que se llevó a cabo en las instalaciones de la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ), ubicada en la 5ta. Calle 0-50 Z14, Ciudad Guatemala, durante los meses de febrero a noviembre del año 2013.

En el primer servicio se determinó con base en estudios de sorción los porcentajes de potasio fijado en 19 suelos de la región central cafetalera de Guatemala. La variación del porcentaje de potasio es considerable, debido a que existen distintos tipos de arcillas presentes en los suelo. EL porcentaje de potasio fijado varía en la mayoría de suelo desde 16 a 43%.

En el segundo servicio se comparó las lecturas de pH determinado por método potenciométrico en suelos controles, utilizando dos distintos agitadores horizontal e inclinado. Así como dos agitaciones manuales previo a lectura de 10 segundos y dos minutos. Los resultados estadísticos demuestran no significancia por lo tanto no existieron diferencia en las comparaciones.

3.2 Área de influencia

Los servicios se realizaron en el laboratorio de suelo, planta y agua de Anacafe. Ubicado en la 5ta. Calle 0-50 z14 Guatemala, Guatemala. Presentando una zona de vida según Holdridge como un bosque húmedo subtropical (templado) bh-S (T).

Se precipitación en la zona es en promedio 1196.0 mm al año, con temperaturas que oscilan entre los 14 ° C. a 24.5° C.

La humedad relativa media mañana es de 84%, por la noche la humedad relativa es de 64%. El promedio de punto de rocío es de 12° C. con velocidades del viento de 17.7 Km/Hr.

3.3 Servicio No. 1 Determinación de curvas de fijación de potasio para diferentes suelos de Guatemala

3.3.1 Introducción

La fertilización es una actividad de suma importancia para lograr una buena producción de los cultivos, la aplicación tanto deficiente como excesiva, altera la dinámica de los elementos dentro del suelo, provocando la indisponibilidad de los nutrientes para la planta. La naturaleza del suelo es un factor a tomar en cuenta cuando se pretende agregar cantidades de fertilizantes debido a que dependiendo del suelo pueden los elementos estar inmediatamente disponibles, medianamente disponibles o totalmente fijados o no disponibles para la nutrición de la planta.

Para saber qué cantidad de un determinado elemento esencial para la nutrición de las plantas es fijado, hay que realizar estudios de sorción. Estos estudios nos brindan el valor porcentual del nutriente, el cual nos indica la cantidad de nutriente que tiene la posibilidad de no llegar a ser absorbido por la planta. Los procesos tanto químicos como físicos son distintos en cantidad y en tiempo, pudiendo ser reversibles en el corto plazo o completamente irreversibles.

El potasio es uno de los elementos más abundantes de la tierra, aunque en su mayoría se encuentra en forma poco utilizable para las plantas. Todas las formas de potasio utilizadas en los fertilizantes y que son aplicadas al suelo en su mayoría forman rápidamente parte de la solución del suelo, cuando la cantidad de arcillas fijadoras de potasio es menor. Se tiene muy documentado el proceso de fijación del potasio en el suelo, aunque en nuestro medio no existe una base de datos para los distintos suelos de Guatemala que nos brinde el valor de fijación del mismo para considerarlo al momento de una fertilización y que esta actividad sea eficiente.

3.3.2 Objetivo:

Determinar el porcentaje del elemento esencial potasio, que es fijado en los suelos de Guatemala.

3.3.3 Metodología:

Los estudios de fijación se realizaron según la metodología de (Romeu, D, 1982), utilizando como solución extractora Olsen Modificado. Todo el proceso se llevó a cabo en el laboratorio de suelo, agua y planta de ANACAFÉ.

3.3.3.1 Preparación de la muestra:

Los diferentes suelos fueron secados en horno de convección a una temperatura no mayor de 65° centígrados. El tamizado de los suelos fue por medio de un mesh 20. Luego fueron almacenaron en cajas de cartón bajo condiciones controladas de temperatura y humedad.

3.3.3.2 Análisis químico

El análisis químico se realizó según la metodología del laboratorio de ANACAFE. Los análisis preliminares realizados a los suelos fueron los siguientes:

- pH: Método potenciométrico, en agua.
- Elementos mayores (P y K) Olsen Modificado
- Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn) DTPA
- Ca y Mg Con KCl 1 N.
- Acidez intercambiable con KCl 1N.
- Materia orgánica por el método digestión húmeda de Walkley y Black. (6)

3.3.3.3 Curvas de Fijación de Potasio:

Los estudios de sorción se realizaron según la metodología de Díaz Romeu, 1982, la cual consiste en realizar una solución madre de fósforo a base de KH_2PO_4 a una concentración de 700mg/L. Luego esta se diluye para cada tratamiento según el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Tratamiento de estudios de sorción para potasio.

TRATAMIENTO	ml de solución madre diluidos a 100 ml	concentración de K en los tratamientos (cmol/L suelo)
1	5	0.11
2	10	0.22
3	20	0.54
4	40	0.90
5	80	1.80

Fuente: Díaz Romeu. 1982.

Para obtener los porcentajes de fijación de potasio se colocaron en bandejas de muestreo 2.5 ml de suelo. Luego de cada tratamiento se tomó 2.5 ml de la solución y se agregó al suelo, se dejó un testigo al que solo se le agregó 2.5 ml de agua desmineralizada, los suelos bien humedecidos con la solución de potasio y luego se dejaron reposar hasta la sequedad. A partir de este punto se le agregó la metodología de olsen modificado para la cuantificación de potasio disponible. Luego para obtener los resultados se un realizo una correlación lineal simple entre el potasio extraído y el agregado, obteniendo la ecuación $Y = b_0 + b_1X$ y aplicando la formula $\% \text{ Fijación} = (1 - b_1) \times 100$ se obtiene el porcentaje de fijación para cada suelo en estudio.

3.3.4 Resultados

Cuadro 9 Porcentaje de Fijación de Potasio según tipo de arcilla.

Suelo	Orden de suelo	% Fijación K	Tipo de arcilla
1	Alfisol	78.4	motmorilanita (2:1)
2	Entisol	74.1	motmorilanita (2:1)
3	Entisol	35.7	motmorilanita (2:1)
4	Entisol	22.4	motmorilanita (2:1)
5	Entisol	16.46	motmorilanita (2:1)
6	Andisol	34.17	alofana
7	Molisol	41.28	motmorilanita (2:1)
8	Entisol	42.95	motmorilonita (2:1), ilita, vermiculita, clorita,
9	Entisol	38.26	motmorilonita (2:1), ilita, vermiculita, clorita,
10	Andisol	34.83	alofana
11	Andisol	26.11	alofana
12	Andisol	54.94	Alofana
13	Andisol	28.20	Alofana
14	Entisol	28.20	motmorilonita (2:1), ilita, vermiculita, clorita,
15	Ultisol	36.53	Caolinita 1:1
16	Ultisol	38.66	Caolinita 1:1
17	Entisol	25.62	motmorilonita (2:1), ilita, vermiculita, clorita,
18	Inceptisol	42.55	motmorilonita (2:1), ilita, vermiculita, clorita,
19	Entisol	37.38	motmorilonita (2:1), ilita, vermiculita, clorita,

3.3.5. Discusión

En el cuadro 9 se observa los porcentajes de fijación de potasio y el que mayor porcentaje de fijación mostró fue el suelo número 1, que pertenece según la clasificación taxonómica a un alfisol, por lo tanto se espera que estos suelos contengan grandes cantidades de arcilla del tipo de las motmorilonitas la cuales son del tipo (2:1). Debido a esto demuestra que el porcentaje de fijación fue 78%. El resto de suelos se mantienen en un rango de 16 al 43 % de fijación. Aunque se observa que los demás suelo tienen contenidos de motmorilonitas, también se observa que poseen otros tipos de arcilla del tipo (2:1), como la vermiculita y la ilita.

Los valores de fijación dependen directamente de la presencia de arcilla antes mencionados. La aplicación de potasio como fertilizantes en grandes cantidades afecta aumentando la fijación debido a que las cantidades que se encuentran adsorbidas sobre las superficies de la arcilla, se trasladan a la sección interlaminar de las mismas, cambiando se estado en el suelo y dependiendo de la expansión o compresión de las arcillas, según su contenido de humedad.

Con este trabajo se trata de explicar de una forma fácil y práctica, la dinámica que tiene el potasio en los distintos suelos estudiados. Aportando información útil para ser considerada en la correcta utilización de los insumos agrícolas para la producción de los distintos cultivos. Además de la adecuada toma de decisiones y la correcta adición de los fertilizantes a base de potasio, todo con el fin de manejar de una manera más eficiente el recurso suelo.

3.3.6 Conclusiones

Se determinó los porcentajes de fijación de potasio para los suelos de la región central cafetalera de Guatemala obteniendo como máximo valor 78.4 % y como el mínimo 16.46 %.

3.3.7 Revisión Bibliográfica.

1. Fassbender, H. 1975. Química de suelo: Énfasis en suelos de Latinoamérica. Turrialba Costa Rica, IICA. 385p.
2. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2012. Tarjetas de registro climatológicas de la estación meteorológica INSIVUMEH. Guatemala. Sin publicar.
3. Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. Trad. Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.

3.4 Servicio No. 2 Comparación de dos procesos de agitación previo a la lectura potenciométrica de p^H para suelos.

3.4.1. Introducción

La fertilidad de un suelo es un complejo de variables que se interrelacionan y que dependen directamente de: tipo de suelo, las necesidades nutrimentales para un determinado cultivo y el manejo que se le ha dado el suelo. La determinación de la fertilidad comprende varios procesos químicos analíticos, mismos que deben de ser precisos y exactos para que los datos obtenidos se puedan inferir a partir de una muestra la cual es analizada y se obtienen los datos de las variables que determinan fertilidad del suelo en un determinado tiempo, estas variables son: p^H . Elementos mayores (P, K, Mg, Ca, Na), elementos menores (Cu, Fe, Mn, Zn, S, B), MO, C.S, A.I., Al.

Para cada variable a determinar existen procesos que se han validado para que el resultado sea correcto y útil para poder interpretarlo. La problemática surge cuando distintos autores publican más de un procedimiento para determinar las distintas estimaciones de una muestra de suelos. El laboratorio de suelo, planta y agua de ANACAFE, históricamente ha utilizado 2 distintos agitadores indiferentemente para realizar las agitaciones de las muestra de suelo para determinar el p^H , sin que exista una evidencia significativa de que las lecturas de p^H utilizando ambos agitadores sean distinta. Díaz, R; Hunter A. en 1978) especifica que el proceso para determinar el pH en agua es: Se utiliza una relación suelo agua 1:2.5, luego se agita por 5 minutos y luego se le da un periodo de reposo, por ultimo si realiza una agitación previo a introducir el electrodo del potenciómetro, el tiempo que se debe agitar, es de 2 minutos después del tiempo de reposo. Mientras que (Shweizer S. Coward H. Vazquez A en 1980) no especifican la forma de realizar esta última agitación, ni el tiempo. Debido al proceso de acreditación por la cual pasa el laboratorio de ANACAFE, es necesario que se valide el método potenció métrico para la determinación de p^H de los suelos, para generar el método de análisis interno para el laboratorio.

3.4.2. Objetivos

3.4.2.1. General

Comparar dos procesos de agitación previa a la lectura potenciometrica de p^H para suelo.

3.4.2.2. Específicos

Verificar si existe diferencia entre agitar las muestras de p^H con dos agitadores distintos, (Horizontal e inclinado).

Establecer si hay diferencia en las lecturas de pH según el tiempo de agitación manual que se le realice a la muestra, diez segundos y dos minutos.

3.4.3. Metodología

3.4.3.1. Materiales y equipo empleados en el ensayo

- Potenciómetro Orion thermo Scientific 3 star #01-260-00369
- Bandejas de lecturas de p^H
- Agitador eberbach inclinado y horizontal
- Dispensador de agua desmineralizada
- Beacker de 400 ml
- Pizeta de capacidad de 500 ml
- Papel Mallordomo
- Cucharas de muestreo de volumen de 10cc

3.4.3.2. Procedimiento experimental

Se muestreo suelo control 02 para lecturas de p^H , y se agregó 10 cc a los vasos para las lecturas. El primer vaso correspondió a un blanco constituido por agua desmineralizada y los restantes vasos a suelo control. A cada vaso se le agrego 25 ml de agua desmineralizada y se procedió a agitador en el agitador eberbach horizontal, durante 5 minutos y un tiempo de reposo de 20 minutos.

Se procedió a agitar manualmente vaso por vaso la primera gradilla durante 10 segundos y se introdujo el electrodo para hacer la lectura, con el potenciómetro previamente calibrado con los buffer 4.01, 7.0 y 10.01. Se anotaron los resultados en la bitácora de lecturas de p^H , este proceso se repitió leyendo en total 18 muestras de suelo control en el agitador eberbach horizontal con tiempo de agitación manual de 10 segundos. El siguiente paso consistió en realizar el mismo procedimiento anterior, con la diferencia de que el tiempo de agitación manual fue de dos minutos por cada muestra. Se anotaron los resultados en la bitácora. Todo lo anterior descrito se realizó de la misma manera para el agitador eberbach inclinado, sin ninguna diferencia en el proceso más que el tipo de agitador.

3.4.4. Resultados

Cuadro 10. Resultados de lecturas de p^H para agitador horizontal.

Agitador Horizontal				
Muestra	Rep I (10 seg) 28/10/2011	Rep II (10Seg) 04/11/2011	Rep I (2 min) 28/10/2011	Rep II (2 min) 04/11/2011
Blanco	6.9	6.6	6.6	6.3
Control	6.2	6.1	6.1	6.1
Control	6.1	6.1	6.1	6.2
Control	6.1	6.1	6.2	6.1
Control	6.1	6.1	6.1	6.1
Control	6.1	6.2	6.1	6.1
Control	6.1	6.1	6.2	6.1
Control	6.1	6.1	6.1	6.1
Control	6.2	6.1	6.1	6.1
Control	6.1	6.1	6.2	6.1

Cuadro 11. Resultados de lecturas de p^H para el agitador inclinado.

Agitador Inclinado				
Muestra	Rep I (10 seg) 02/11/2011	Rep II (10Seg) 03/11/2012	Rep I (2 min) 02/11/2011	Rep II (2 min) 03/11/2011
Blanco	6.4	6.7	6.6	6.5
Control	6.1	6.2	6.1	6.1
Control	6.1	6.1	6.1	6.1
Control	6.2	6.1	6.1	6.1
Control	6.1	6.1	6.2	6.1
Control	6.2	6.1	6.2	6.1
Control	6.1	6.1	6.1	6.1
Control	6.2	6.2	6.1	6.1
Control	6.2	6.1	6.1	6.1
Control	6.1	6.1	6.2	6.1

Cuadro 13. Comparación de lecturas de p^H según tiempo de agitación.

10 segundos	2 min
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.2
6.1	6.2
6.1	6.2
6.2	6.2
6.2	6.2
6.2	6.2
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.1	6.1
6.2	6.1
6.2	6.1
6.2	6.2
6.2	6.2

Cuadro 14. Prueba de varianza de lecturas de p^H para agitador horizontal.

Agitador Horizontal 10seg vs. 2 min		
Prueba F para varianzas de dos muestras		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	6.133333333	6.116666667
Varianza	0.002352941	0.001470588
Observaciones	18	18
Grados de libertad	17	17
F	1.6	
P(F<=f) una cola	0.170922597	
Valor crítico para F (una cola)	2.271892889	

Cuadro 15. Prueba de varianza de lecturas de p^H para agitador inclinado.

Agitador Inclinado 10seg vs. 2 min		
Prueba F para varianzas de dos muestras		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	6.1277778	6.116666667
Varianza	0.0021242	0.001470588
Observaciones	18	18
Grados de libertad	17	17
F	1.4444444	
P(F<=f) una cola	0.228146	
Valor crítico para F (una cola)	2.2718929	1.444444444

Cuadro 16. Comparación de varianzas para agitador horizontal e inclinado.

Agitador Horizontal Vs. Agitador Inclinado		
Prueba F para varianzas de dos muestras		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	6.125	6.122222222
Varianza	0.001928571	0.001777778
Observaciones	36	36
Grados de libertad	35	35
F	1.084821429	
P(F<=f) una cola	0.405520475	
Valor crítico para F (una cola)	1.757139526	

Cuadro 17. Prueba t suponiendo varianzas iguales agitador horizontal e inclinado.

Agitador Horizontal Vs. Agitador Inclinado		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	6.125	6.122222222
Varianza	0.001928571	0.001777778
Observaciones	36	36
Varianza agrupada	0.001853175	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	70	
Estadístico t	0.273763524	
P(T<=t) una cola	0.392536272	
Valor crítico de t (una cola)	1.666914479	
P(T<=t) dos colas	0.785072544	
Valor crítico de t (dos colas)	1.994437112	

Cuadro 18 Prueba de t suponiendo varianzas iguales para tiempos de agitación.

Tiempo de 10seg. Vs tiempo de 2 minutos		
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	6.122222222	6.125
Varianza	0.001777778	0.001928571
Observaciones	36	36
Varianza agrupada	0.001853175	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	70	
	-	
Estadístico t	0.273763524	
P(T<=t) una cola	0.392536272	
Valor crítico de t (una cola)	1.666914479	
P(T<=t) dos colas	0.785072544	
Valor crítico de t (dos colas)	1.994437112	

3.4.5. Discusión

Con las pruebas de F de Fisher, se puede detectar si un método es igual de preciso respecto al otro en estudio, en este caso se realizó la prueba para verificar que agitando con los dos agitadores (inclinado y Horizontal) para ambos los resultados son iguales de precisos según los tiempos de agitación manual. Por lo cual se considera que son repetibles y reproducibles según el tiempo de agitación manual que se realiza a la muestra antes de realizar la lectura. También se determinó que realizando las agitaciones con los agitadores tanto inclinado como horizontal, las lecturas son reproducibles y repetibles, así como para los dos tiempos de agitación manual tanto para 10 segundos como para 2 minutos previo a las lecturas. Según los datos de las pruebas realizadas, para ambos agitadores se determinó que no existe diferencia entre los agitadores según los tiempos de agitación, por lo cual se concluye que el método de agitación manual propuesto de 10 segundos y el cual es que se ha validado para uso del laboratorio de suelo, agua y planta de Anacafe es igual al método que especifica de 2 minutos de agitación manual previo a la lectura según Díaz, R Hunter, A 1978.

3.4.6. Conclusiones

- No existe diferencia en las lecturas de p^H agitando las muestras con los dos agitadores distintos (horizontal e inclinado), para ambos los resultados son iguales de precisos según los tiempos de agitación.
- No hay diferencia en las lecturas de p^H agitando las muestras manualmente durante 10 segundos y 2 minutos previos a la lectura. Con base en lo anterior el método de agitación manual propuesto de 10 segundos y el cual es que se ha validado para uso del laboratorio de suelo, agua y planta de ANACAFE es igual al método que especifica de 2 minutos de agitación manual previo a la lectura según Díaz, R Hunter, A 1978.

3.4.7. Revisión Bibliográfica

1. Díaz, RR; Hunter, A. 1978 Metodología de muestreo de suelos, análisis de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 44-68.
2. Schweizer, LS; Coward, LH; Vásquez, MA. 1980. Metodología para análisis de suelos, planta y agua. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Unidad de Suelos. 32 p. Boletín Técnico no. 68.