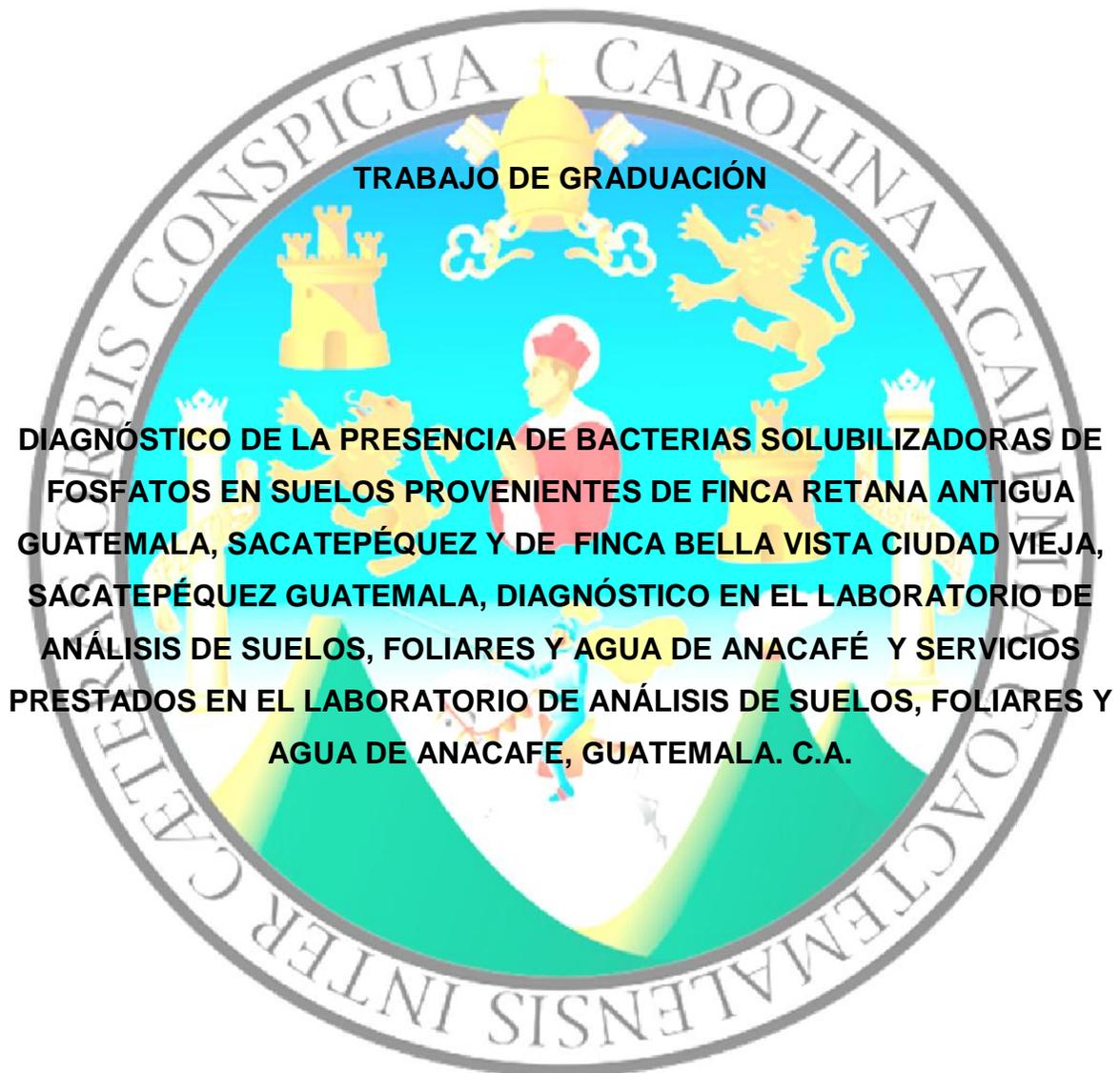


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS EN SUELOS PROVENIENTES DE FINCA RETANA ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ Y DE FINCA BELLA VISTA CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ GUATEMALA, DIAGNÓSTICO EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, FOLIARES Y AGUA DE ANACAFÉ Y SERVICIOS PRESTADOS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, FOLIARES Y AGUA DE ANACAFE, GUATEMALA. C.A.

CESAR LUIS CHAVEZ MUJO
GUATEMALA AGOSTO 2014

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS EN SUELOS PROVENIENTES DE FINCA RETANA ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ Y DE FINCA BELLA VISTA CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ GUATEMALA, DIAGNOSTICO EN EL LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, FOLIARES Y AGUA DE ANACAFÉ, Y SERVICIOS PRESTADOS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, FOLIARES Y AGUA DE ANACAFÉ, GUATEMALA. C.A.

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

POR

CESAR LUIS CHAVEZ MUJO

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

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

GUATEMALA AGOSTO 2014

**UNIVERSIDAD DE 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 PRIMERO | Dr. Ariel Abderramán Ortíz López |
| VOCAL SEGUNDO | Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García |
| VOCAL TERCERO | Ing. Agr. MSc. Eberto Raúl Alfaro Ortiz |
| VOCAL CUARTO | P. For. Sindy Benita Simón Mendoza |
| VOCAL QUINTO | Br. Sergio Alexander Soto Estrada |
| SECRETARIO | Ing. Agr. Mynor Raúl Otzoy Rosales |

GUATEMALA, AGOSTO 2014

Guatemala, agosto 2014

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación realizado en el **“Diagnóstico de la presencia de bacterias solubilizadoras de fosfatos en suelos provenientes de finca Retana Antigua Guatemala, Sacatepéquez y de finca Bella Vista Ciudad Vieja, Sacatepéquez Guatemala, diagnóstico en el laboratorio de análisis de suelos, foliares y agua de ANACAFÉ y servicios prestados en el laboratorio de análisis de suelos, foliares y agua de ANACAFÉ, Guatemala. C.A.”** como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

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

Atentamente,
“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

César Luis Chávez Mujo

ACTO QUE DEDICO

| | |
|----------------------------------|---|
| Dios | Por ser el centro de mi vida y guía de mí camino. |
| Mi mamá | Ángela Mujo, por su infinito amor, compañía inigualable, por ser mi consejera y soporte en momentos difíciles. |
| Mi papá | Héctor Chávez, por su ejemplo de lucha, perseverancia y fortaleza. Sin su ayuda no lo hubiera logrado. |
| Mis hermanos | Héctor y Olga Chávez, porque el ejemplo que me han dado ha hecho de mí una mejor persona. |
| Mi familia | Por ser testigos de cada etapa de mi vida y alentarme a seguir creciendo. |
| Mis amigos de la facultad | Por caminar junto a mí este trayecto y compartir conmigo su cariño y amistad. En especial a Luis Carlos Chacón, Juan Luis Alvarado Chiu, Carlos Consuegra, Sergio Lopez y Alejandro Ruiz. |

Mis amigos de ANALAB

Ana López, Sheymi Hernández, Edy Arias, Laura Varela, Rafael Sicajú, Eder Gonzalez, Hector Samayoa, Hector Chávez, Humberto Jimenez, Ana Martinez, Sofia Velázquez, Anais Solano, Saul Hernandez, Lucrecia Padilla, Rodrigo Alvarez y en especial Astrid Aguirre por el ánimo y consejos en momentos difíciles.

Mis amigos de NATURACEITES

Jorge Corzo, Andrea Reiche, Ruth Sifuentes, Cristian Rosales, Juan García, Elman Juarez, Nohemi del Cid, Gerson Leiva, Francis Cordova, Veraly Gamboa, Fátima Escobar, Darwin Morales, Gabriel Batres por su apoyo y formar parte de esta nueva etapa de mi vida.

Mis amigos de investigación

Gabriela Calderón, Gabriel Álvarez.
Que sin ustedes esto no hubiera sido posible.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por iluminar cada pasó de mí caminar y permitirme culminar esta fase de mi vida.

Mis padres

Por creer en mí y apoyarme incondicionalmente a pesar de las adversidades.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por abrir sus puertas para forjar las bases de mi profesión.

Facultad de Agronomía

Por formarme como profesional.

Asociación Nacional del Café

Por la oportunidad de realizar mi EPS dentro de un ambiente laboral de profesionalismo.

Doc. María Antonieta Alfaro

Por su amistad, asesoría y enseñanza incondicional para la realización de este trabajo.

Mi supervisor

Ing. Hermogenes Castillo, por haberme brindado su confianza y apoyo durante el transcurso del EPS.

ÍNDICE

| CONTENIDO | PÁGINA |
|---|---------------|
| ÍNDICE GENERAL..... | i |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | iii |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | v |
| RESUMEN..... | vi |
| CAPÍTULO I DIAGNÓSTICO DEL LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS Y AGUA DE ANACAFE, UBICADO EN GUATEMALA, GUATEMALA | |
| 1.1 PRESENTACIÓN..... | 4 |
| 1.2 MARCO REFERENCIAL | 5 |
| 1.2.1 Ubicación..... | 5 |
| 1.2.2 Descripción ecológica | 5 |
| 1.2.3 Descripción de la Asociación..... | 6 |
| 1.2.4 Visión de ANACAFÉ..... | 7 |
| 1.2.5 Misión de ANACAFÉ | 7 |
| 1.2.6 ANALAB | 7 |
| 1.2.7 Laboratorio de suelos, plantas y agua..... | 8 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 14 |
| 1.3.1 Objetivo general | 14 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 14 |
| 1.4 METODOLOGÍA | 15 |
| 1.4.1 Elaboración del plan de diagnóstico..... | 15 |
| 1.4.2 Recopilación de información | 15 |
| 1.4.3 Análisis de la información..... | 16 |
| 1.5 RESULTADOS..... | 17 |
| 1.5.1 Análisis FODA..... | 17 |
| 1.5.2 Determinación de los principales problemas con los programas de fertilización..... | 20 |
| 1.5.3 Jerarquización de los problemas:..... | 20 |
| 1.6 CONCLUSIONES | 21 |
| 1.7 BIBLIOGRAFÍA..... | 21 |

CAPÍTULO II DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS EN SUELOS PROVENIENTES DE FINCA RETANA ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ Y DE FINCA BELLA VISTA CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ GUATEMALA

| CONTENIDO | PÁGINA |
|---|---------------|
| 2.1 PRESENTACIÓN..... | 23 |
| 2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 24 |
| 2.3 MARCO TEÓRICO | 25 |
| 2.3.1 Marco conceptual | 25 |
| 2.3.2 Marco referencial..... | 35 |
| 2.4 OBJETIVOS..... | 37 |
| 2.4.1 Objetivo general | 37 |
| 2.4.2 Objetivos específicos | 37 |
| 2.5 HIPÓTESIS..... | 37 |
| 2.6 METODOLOGÍA | 38 |
| 2.6.1 Características físico químicas..... | 38 |
| 2.6.2 Establecimiento de metodología de aislamiento de bacterias solubilizadoras de fósforo | 41 |
| 2.6.3 Aislamiento de bacterias solubilizadoras..... | 42 |
| 2.6.4 Técnicas de identificación de bacterias..... | 42 |
| 2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. | 45 |
| 2.7.1 Caracterización físico-química de los suelos..... | 45 |
| 2.7.2 Determinación de bacterias..... | 46 |
| 2.8 CONCLUSIONES | 53 |
| 2.9 RECOMENDACIONES..... | 53 |
| 2.10 BIBLIOGRAFÍA..... | 54 |

**CAPÍTULO III SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELOS,
PLANTAS Y AGUA DE ANACAFE, UBICADO EN GUATEMALA, GUATEMALA**

| CONTENIDO | PÁGINA |
|---|---------------|
| 3.1 PRESENTACIÓN..... | 57 |
| 3.2 OBJETIVOS..... | 58 |
| 3.2.1 Objetivo general | 58 |
| 3.2.2 Objetivos específicos | 58 |
| 3.3 METODOLOGÍA | 59 |
| 3.4 RESULTADOS..... | 59 |
| 3.4.1 Selección de puntos de muestreo | 59 |
| 3.4.2 Metodologías para la determinación de fosforo disponible | 64 |
| 3.4.3 Resultado de fósforo disponible determinados con solución Olsen modificada y por la metodología de resinas de intercambio iónico. | 66 |
| 3.4.4 Determinación de curvas de fijación de fósforo..... | 67 |
| 3.4.5 Curvas de fijación de fósforo disponible por departamento..... | 69 |
| 5.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 88 |
| 3.5 CONCLUSIONES | 90 |
| 3.6 RECOMENDACIÓN..... | 90 |
| 3.7 EVALUACION DE SERVICIO..... | 91 |
| 3.8 BIBLIOGRAFÍA..... | 91 |
| 3.9 ANEXOS..... | 92 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA | PÁGINA |
|--|---------------|
| Figura 1 Organigrama de los laboratorios..... | 8 |
| Figura 2 Organigrama del laboratorio de suelos, plantas y agua..... | 9 |
| Figura 3 Ciclo del fósforo en la naturaleza..... | 28 |
| Figura 4 Muestreo y homogenización de muestras. A. Toma de muestra, B. Homogenización de la muestra..... | 38 |
| Figura 5 Determinación de pH en suelos..... | 39 |
| Figura 6 Determinación de Fósforo..... | 40 |
| Figura 7 Presencia de Colonia solubilizadora de Fósforo..... | 47 |
| Figura 8 Hongo solubilizador de fosfatos (Penicillium)..... | 50 |
| Figura 9 ubicaciones de los puntos de muestreo..... | 62 |
| Figura 10: muestreo de suelos. A. toma de muestra, B. Identificación de la muestra..... | 63 |
| Figura 11 secado de muestras..... | 63 |
| Figura 12 Tamizado de muestras..... | 64 |
| Figura 13 Curva de Fijación de Fosforo, solución Olsen Modificado, Fca. San Martin..... | 70 |
| Figura 14 Curva de Fijación Fósforo, Resinas de Intercambio, Fca. San Martin..... | 70 |
| Figura 15 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Santa Elena..... | 71 |
| Figura 16 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. Santa Elena..... | 71 |
| Figura 17 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Líbano..... | 72 |
| Figura 18 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. El Líbano..... | 72 |
| Figura 19 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. La Conchita..... | 73 |
| Figura 20 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. La Conchita..... | 73 |
| Figura 21 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Las Estacas..... | 74 |
| Figura 22 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. Las Estacas..... | 74 |
| Figura 23 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Rincón..... | 75 |
| Figura 24 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Rincón..... | 75 |
| Figura 25 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Retumbo..... | 76 |
| Figura 26 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Retumbo..... | 76 |
| Figura 27 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Las Cachajinas..... | 77 |

| | |
|--|----|
| Figura 28 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Las Cachajinas..... | 77 |
| Figura 29 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. San Rafael Urías | 78 |
| Figura 30 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. San Rafael Urías ... | 78 |
| Figura 31 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Bella Vista..... | 79 |
| Figura 32 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Bella Vista | 79 |
| Figura 33 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. La Follie | 80 |
| Figura 34 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. La Follie | 80 |
| Figura 35 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Buena Vista | 81 |
| Figura 36 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Buena Vista..... | 81 |
| Figura 37 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. La Vega | 82 |
| Figura 38 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. La Vega..... | 82 |
| Figura 39 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Retiro..... | 83 |
| Figura 40 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Retiro | 83 |
| Figura 41 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Zapote | 84 |
| Figura 42 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Zapote..... | 84 |
| Figura 43 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Recreo..... | 85 |
| Figura 44 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Recreo | 85 |
| Figura 45 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Vizcaya | 86 |
| Figura 46 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Vizcaya | 86 |
| Figura 47 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Colina de San Jacinto..... | 87 |
| Figura 48 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Colina San Jacinto | 87 |

ÍNDICE DE CUADROS

| CUADRO | PÁGINA |
|--|---------------|
| Cuadro 1 Metodologías utilizadas para el análisis químico de suelos según el elemento y volúmenes de muestreo..... | 11 |
| Cuadro 2 Matriz FODA..... | 17 |
| Cuadro 3 Análisis FODA..... | 18 |
| Cuadro 4 Las principales formas de fosfato inorgánico. | 26 |
| Cuadro 5 Componentes del medio SMRS1 | 41 |
| Cuadro 6 Aislamiento y determinación de bacterias | 48 |
| Cuadro 7 Número de UFC por muestra | 52 |
| Cuadro 8 Datos geográficos, climáticos y zonas de vida de las regiones en estudio. | 60 |
| Cuadro 9 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo, finca y a la región a la que pertenece | 60 |
| Cuadro 10 Resultados de fósforo disponible de fincas bajo estudio determinado por solución Olsen modificado y resinas de intercambio iónico | 66 |
| Cuadro 11 Concentración de fósforo por tratamiento | 68 |
| Cuadro 12 Porcentaje de fijación de fósforo disponible extraído con Olsen modificado y resinas de intercambio iónico en todas las fincas bajo estudio..... | 89 |

DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS EN SUELOS PROVENIENTES DE FINCA RETANA, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ Y DE FINCA BELLA VISTA, CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA C.A.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el apoyo de la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ) en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua en convenio con la Facultad de Agronomía. En su contenido integra los resultados obtenidos del diagnóstico, investigación y servicios realizados durante el período de EPS que comprendió de febrero a noviembre de 2011.

Con el diagnóstico se logró obtener un panorama más amplio de las virtudes y los problemas del laboratorio en cada una de las actividades diarias, utilizando un análisis FODA se establecieron las principales fortalezas, siendo las más importantes, el amplio poder adquisitivo de nuevas tecnologías, más de 35 años de experiencia en sus labores de análisis y recomendaciones, conjunto con un trabajo de acreditación de ISO 17025. Además, de formar parte de CEDICAFE (Centro de Investigación del Café), de esta misma forma se determinó y jerarquizó los principales problemas del laboratorio, siendo el principal, la dificultad para la solubilización y determinación de fósforo en el suelo.

Determinado el principal problema surgió la necesidad de llevar a cabo un estudio de tipo exploratorio y descriptivo mediante el cual se diagnosticó la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo, en los suelos de los municipios de Ciudad Vieja y Antigua

Guatemala, en el departamento de Sacatepéquez, Guatemala. El principal objetivo del estudio fue determinar la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo en suelos dedicados a la caficultura. Los resultados reflejaron la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo pertenecientes a los géneros *Pseudomas* y *Erwinia*.

El servicio prestado en el laboratorio consistió en el desarrollo de una metodología que determine de una forma más real la cantidad de fósforo disponible para las plantas, para esto se planteó la determinación de fósforo mediante la comparación de los métodos de Olsen modificado y resinas de intercambio iónico. Con dicho estudio se realizaron curvas de sorción de fósforo en suelos pertenecientes a las regiones III y IV de producción cafetalera en Guatemala. Se determinó que el 72% de estos suelos poseen un mayor índice de fijación con la solución Olsen modificado en comparación con la metodología de resinas de intercambio iónico, dando una evidencia para recomendar la correlación de las soluciones a nivel de campo para poder determinar qué solución posee una mejor determinación de fósforo disponible.

CAPÍTULO I
DIAGNÓSTICO DEL LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS Y AGUA DE
ANACAFE, UBICADO EN GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.

1.1 PRESENTACIÓN

La Asociación Nacional del Café, entidad de derecho público, no lucrativa, constituida por los caficultores de la República y con personalidad jurídica, la cual se fundó en 1960, es una institución gremial de los caficultores, dedicada a facilitar la unidad y el desarrollo de la caficultura, prestando servicios de calidad en un mercado libre.

El diagnóstico se realizó en la Asociación Nacional de Café (ANACAFE), en el área de laboratorio (ANALAB), específicamente en el laboratorio de suelos, plantas y aguas. El cual se encuentra en el sótano del edificio de ANACAFE localizado en la calle del café 0-50 zona 14 Guatemala, Guatemala. ANALAB es un laboratorio con más de 39 años de experiencia, especializado en realizar análisis para la agricultura. En el cual se realizan diagnósticos de: suelos, foliares, enfermedades de plantas, nemátodos y agua.

Debido a la importancia que tiene este laboratorio para la asociación, se planteó la realización de un diagnóstico el cual tiene como principal finalidad la identificación de los principales problemas, los cuales debieron ser resueltos a lo largo del período de ejecución del EPSA mediante los servicios que se realizaron dentro de la empresa.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Ubicación

ANACAFE localizado en la Calle del café 0-50 zona 14 Guatemala, Guatemala. C.A.

Ubicado geográficamente en latitud $90^{\circ}31'07.08''\text{O}$ longitud $14^{\circ}35'23.84''\text{N}$

1.2.2 Descripción ecológica

a) 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. (Simmos CH.S. 1956).

b) 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 (2).

c) 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 . Con una velocidad del viento en promedio de 17.7 km/h. Con una evaporación de 120.2 mm. (2)

d) Suelo

El área ocupada por la Asociación se encuentra ubicada entre los suelos de la serie CauquéCq y Guatemala Gt caracterizándose por ser suelos de la altiplanicie central desarrollados sobre material volcánico a mediana altitud, presentando un declive de 0 a 5 presentando un drenaje a través del suelo lento con capacidad de abastecimiento de

humedad muy alta, con fertilidad natural alta y sin capas que limiten la penetración de las raíces. (Simmos CH.S. 1956).

Por otro lado, el suelo a una profundidad de alrededor de unos 25 cm, es franco arcilloso o franco de color café oscuro, es suave cuando está húmedo y friable cuando está seco. Presenta un pH alrededor de 6.0. (Simmos CH.S. 1956).

Los suelos de esta región pertenecen al subgrupo I-B con características de uso intensivo, adaptable a cosechas anuales y perennes, pero necesita un cierto control de erosión, son suelos profundos y bien drenados. (Simmos CH.S. 1956).

1.2.3 Descripción de la Asociación

Desde el inicio de la caficultura han existido varias organizaciones de tipo estatal con el objetivo de fomentar la producción y comercialización del café. La oficina central del café fue la primera institución fundada en 1928 y que funcionaba bajo la dirección del Ministerio de Agricultura. Posteriormente en 1960 se creó la oficina contralora del café que era la encargada de controlar las exportaciones de café y de promocionarlo a nivel internacional. Ese mismo año el 4 de noviembre, dicha oficina se convirtió en la Asociación Nacional del Café, la cual es una entidad de derecho público, no lucrativa, constituida por los caficultores de la República y con personalidad jurídica.

1.2.4 Visión de ANACAFE

ANACAFE visualiza la caficultura como una agroindustria rentable, sostenible y competitiva a nivel mundial. Ser la actividad empresarial líder que promueve el crecimiento económico y el desarrollo social de los guatemaltecos.

1.2.5 Misión de ANACAFE

Visualizamos la caficultura como una agroindustria rentable, sostenible y competitiva a nivel mundial. La actividad empresarial líder que promueve el crecimiento económico y el desarrollo social de los guatemaltecos.

1.2.6 ANALAB

a) Generalidades de ANALAB.

El centro de investigación del café-CEDICAFE tiene a su cargo lo que es ANALAB, el cual consta de los laboratorios el de protección vegetal y el de suelos, plantas y agua. Estos laboratorios prestan sus servicios a los agricultores dedicados a la caficultura y agricultores dedicados a otros cultivos.

Por la importancia que poseen los laboratorios se pueden clasificar en:

- Laboratorio de suelos, plantas y agua.
- Laboratorio de protección vegetal.

b) Organización de ANALAB

Los dos laboratorios son parte de ANALAB y éste a su vez es parte del centro de investigación del café-CEDICAFE.

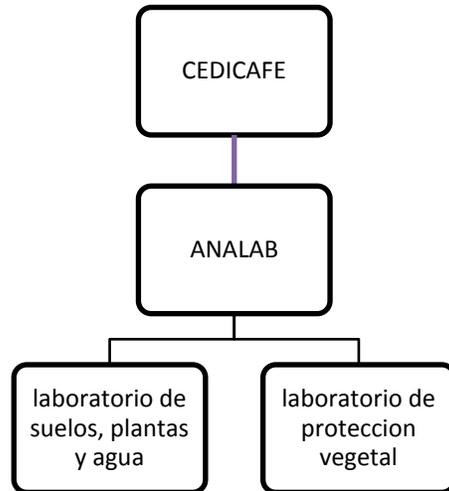


Figura1 Organigrama de los laboratorios

1.2.7 Laboratorio de suelos, plantas y aguas

a) Política de calidad del laboratorio de suelos, plantas y agua:

ANACAFÉ se compromete y promueve constantemente entre el personal de ANALAB el compromiso de:

- Comunicar y cumplir la política de calidad institucional
- Comprender e implementar la norma ISO 17025 para el aseguramiento de la calidad en los procedimientos, y brindar servicios de análisis de calidad.

b) Organigrama del laboratorio de suelos plantas y agua

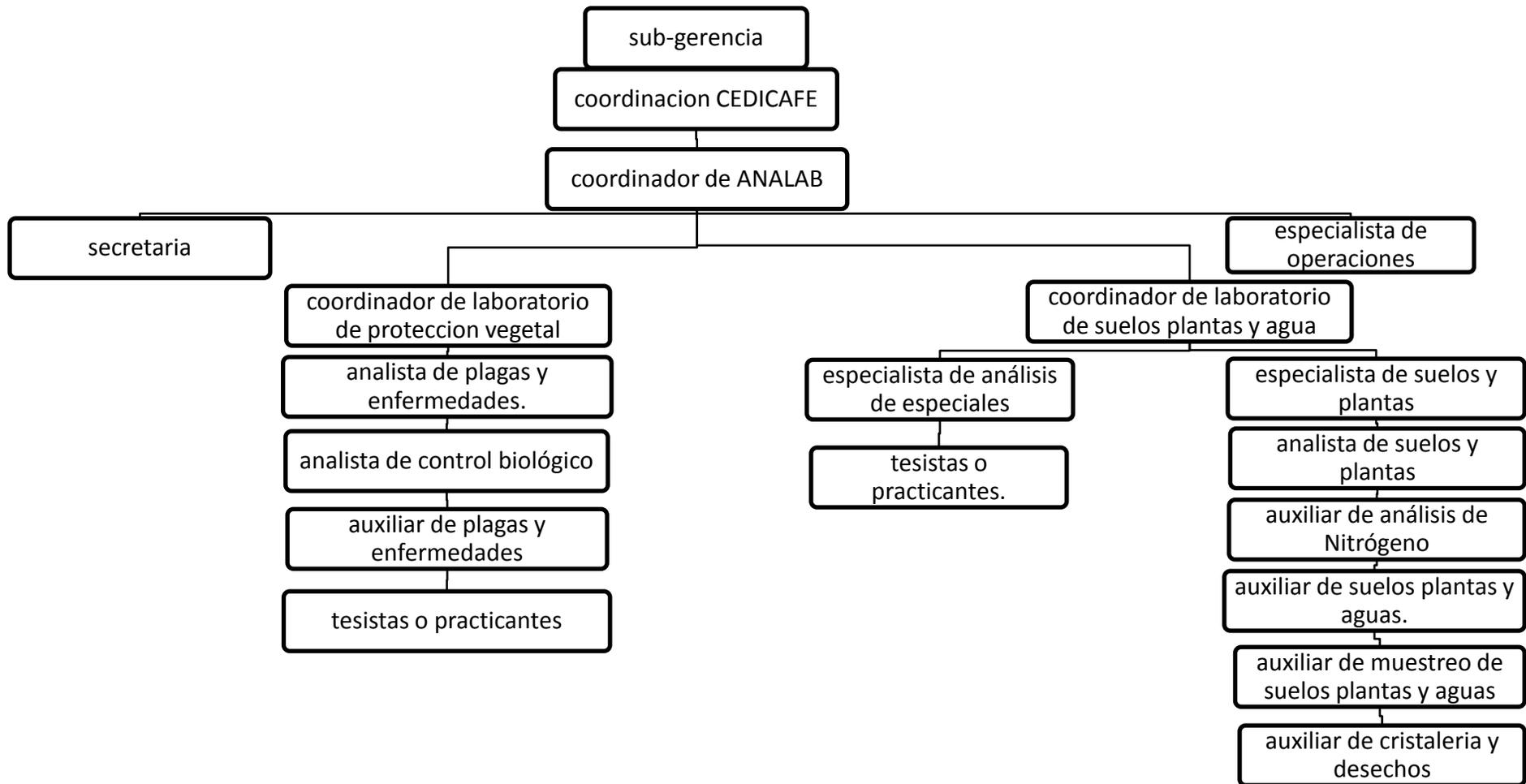


Figura 2 Organigrama del laboratorio de suelos, plantas y agua.

Actividades que se realizan en el laboratorio de suelos, plantas y agua:

El laboratorio de suelos, plantas y agua es el más numeroso en personal, en este laboratorio se realiza fundamentalmente la actividad de análisis químico de suelos, foliares, cales de utilización para enmiendas, abonos orgánicos y agua de desecho de los beneficiados húmedos de café, agua para riego y agua potable.

En dicha actividad se realizan las siguientes actividades:

Recepción de muestra:

La cual consiste en la recepción y asignación de número de laboratorio a las muestras de cualquier índole, única y exclusivamente si estas cumplen con los requerimientos mínimos del estado de las muestras, estos requerimientos son, cantidad (sólidos mínimo una libra, foliares mínimo 40 g, líquido mínimo 1000ml), estados de la muestra (específicamente para foliares que no estén deshidratados, agua para uso potable que venga en refrigeración y no con más de 24 Hrs. de haber sido tomada la muestra). Esta fase la lleva a cabo el recepcionista del laboratorio.

Preparación de la muestra:

Esta actividad consiste para muestras de tipo suelo, en el secado por medio de hornos de convección que trabajan a 39 °C., luego pasan a un tamizado el cual va a depender el tipo de análisis, para materia orgánica se utilizan tamices de mesh #60, para p^H, acidez intercambiable, aluminio, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, cobre, hierro, manganeso y zinc se utiliza tamiz de mesh #30. Luego de ser tamizada la muestra se realiza la preparación de la muestra dependiendo del análisis a realizar.

Cuadro 1 Metodologías utilizadas para el análisis químico de suelos según el elemento y volúmenes de muestreo.

| Tipo de análisis | Volumen de suelo a tomar en cc. | Solución extractora utilizada. |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|
| fósforo y potasio | 5 | Olsen modificado |
| calcio, magnesio y sodio | 2.5 | cloruro de potasio |
| P ^H | 10 | agua |
| cobre, hierro, manganeso y zinc | 10 | DTPA |

*el proceso para materia orgánica es distinto por lo cual se pesan 0.5 g de suelo.

La preparación de los foliares, se lava el órgano o segmento de la planta a analizar, se desecan en horno de convección a 65 °C, luego se muele, molida se pesan 0.5g y se incinera a 500 °C durante 5 h.

La preparación de los demás tipos de muestra va variar según sea su composición. Esta fase es llevada por los auxiliares del laboratorio.

Análisis de las muestras:

En esta fase es donde intervienen los analistas y especialistas, donde se aplica distinto procedimiento para cada uno de los elementos, para fósforo se utiliza método colorimétrico y se analiza con ayuda de un espectrofotómetro UV. Para potasio, calcio, sodio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc se analiza con ayuda de espectrofotómetro de absorción atómica, para las lecturas de P^H se realiza con ayuda de potenciómetro, para materia orgánica se realiza con titulación debido a que es una reacción de óxido reducción. Luego cada uno de los analistas y especialistas es encargado de calcular y mandar los datos hacia un sistema, para generar un reporte por cada muestra.

Revisión de reportes:

Esta fase está a cargo del coordinador de ANALAB y el coordinador del laboratorio de suelos plantas y agua, los cuales verifican que los datos no sean atípicos y que posean lógica dependiendo del lugar de origen de muestra.

c) Áreas del laboratorio

- **Recepción de muestras y entregas de resultados:** Se reciben las muestras y se entregan los reportes correspondientes a las muestras.
- **Área de preparación de muestra:** Se lleva a cabo el secado, tamizado, pesado y preparación de la muestra.
- **Área de agitación y dilución:** Está conformada por equipos específicos para agitación y dilución de muestras.
- **Área de balanzas:** Aislada de cualquier corriente de viento, así como está posee mesas anti vibraciones.
- **Área de trabajo:** Analistas y especialista realizan soluciones, filtraciones y procedimientos necesarios para realizar el análisis.
- **Área de lavandería:** Se lleva a cabo el lavado de materiales y equipo que utilizado durante el proceso de análisis.
- **Área de lockers:** Sitio donde dejan las cosas personales de cada uno de los integrantes del equipo de laboratorio.
- **Área de oficinas:** Se encuentran los coordinadores y personal encargado de generar los informes de resultados.

- **Área de espectrofotometría:** Se encuentran localizados los espectrofotómetros UV, los espectrofotómetros de absorción atómica y el espectrofotómetro de emisión atómica ICP-OES.
- **Área de hornos:** Localización de hornos de convección, horno microondas, autoclave, muflas y campanas de extracción.
- **Área de nitrógeno:** Realización de procesos para el análisis de nitrógeno, el cual cuenta con campana de extracción, digestores y destiladores.
- **Área de bodega:** Es el sitio en el cual se encuentran almacenados de forma específica los reactivos de acuerdo a su naturaleza (sales, corrosivos, bases etc.).

d) Normas del laboratorio:

- Únicamente el ingreso a personal autorizado.
- Utilización de vestimenta y equipo de protección (bata, guante, mascarilla).
- Prohibido el uso de celulares adentro del laboratorio.
- Dejar las pertenencias personales en el locker.
- Prohibida la comunicación directa de los analistas y especialistas con los clientes, sobre sus muestras.
- Utilización de los equipos con claves de acceso, proporcionada a cada uno de los analistas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general:

1. Realizar un diagnóstico tipo FODA del laboratorio de suelos, plantas y agua de ANALAB, perteneciente a la Asociación Nacional del Café - ANACAFE, Guatemala, Guatemala. C.A.

1.3.2 Objetivos específicos:

1. Establecer las fortalezas del laboratorio de suelos, plantas y agua de la Asociación Nacional del Café - ANACAFE, Guatemala, Guatemala. C.A.
2. Determinar los principales problemas relacionados con los programas de fertilización en el laboratorio de suelos, plantas y agua de la Asociación Nacional del Café - ANACAFE, Guatemala, Guatemala. C.A.
3. Jerarquizar los problemas identificados a través del análisis FODA en el laboratorio de suelos, plantas y agua de la Asociación Nacional del Café - ANACAFE, Guatemala, Guatemala. C.A.

1.4 METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para llevar a cabo el presente diagnóstico del laboratorio de suelos plantas y agua de ANALAB de ANACAFE se puede dividir en las siguientes fases.

1.4.1 Elaboración del Plan de Diagnóstico

En este se describió la metodología y materiales para la elaboración del presente diagnóstico.

1.4.2 Recopilación de Información

Para la recopilación de la información se realizaron las siguientes actividades:

a) Análisis FODA del laboratorio:

- Para el análisis de fortalezas y debilidades se llevó a cabo entrevistas con los trabajadores y coordinadores del laboratorio de suelos, plantas y agua.
- Para el análisis de amenazas se realizó una entrevista con el coordinador de ANALAB, debido a los conocimientos externos de otros laboratorios.

b) Determinación de los principales problemas con los programas de fertilización

- Para llevar a cabo esta actividad se realizó entrevistas con el coordinador de ANALAB, así como con los asesores de fertilidad para establecer los principales problemas respecto a los programas de fertilización.
- Se realizó revisión histórica de los resultados del laboratorio para establecer los principales problemas de nutrientes.

c) Jerarquización de los problemas del laboratorio

Para el logro de esta actividad se sistematizó la información obtenida a través de la observación de la recopilación de datos históricos del laboratorio.

La jerarquización de los problemas se realizó en base al análisis FODA, específicamente de los ítems debilidades y amenazas.

1.4.3 Análisis de la información

La Información recopilada fue debidamente ordenada para priorizar los servicios que se prestaron a la Asociación Nacional del café-ANACAFE, específicamente ANALAB.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Análisis FODA

Cuadro2Matriz FODA

| FORTALEZAS | DEBILIDADES |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • El coordinador de ANALAB, coordinador de laboratorio de suelos plantas y agua, poseen amplia experiencia en el tema. • Posee lo último en tecnología para realización de análisis (ICP-OES, espectrofotómetros de absorción atómica y UV, así como horno de microondas.) • Personal capacitado para el puesto en desarrollo. • Proceso de certificación ISO 17025 • Se posee una base de datos amplia. | <ul style="list-style-type: none"> • Soluciones extractoras que sub-estiman los datos reales. • Fallo en software de recolección de datos y generación de reportes. • Falta de material para el aumento de la capacidad de laboratorio (bandejas de muestreo y filtración). • Atrasos en las instalaciones de los nuevos equipos. |
| OPORTUNIDADES | AMENAZAS |
| <ul style="list-style-type: none"> • Expansión de ANALAB. • Existe la capacidad y la disponibilidad de obtener nuevas tecnologías. • Investigaciones y estudios enfocados al manejo y rendimiento de café (<i>C. arabica</i>L) | <ul style="list-style-type: none"> • Excesivo aumento de muestras en la época de verano principalmente. • Exigencia de los agricultores a la generación de nuevas alternativas en el uso de fertilizantes. |

Cuadro 3 Análisis FODA

| <div style="text-align: center;">Factores internos</div> <div style="text-align: center;">Factores externos</div> | Fortalezas | Debilidades |
|---|---|---|
| Oportunidades | <p style="text-align: center;"><u>FO (maxi-maxi)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • La utilización de la amplia experiencia en el tema, así como la utilización de tecnología de punta para el aumento del mercado. • Continuar con la introducción de nuevos equipos. • Utilización de la amplia base de datos para la generación de nuevos puntos de investigación. | <p style="text-align: center;"><u>DO (mini-maxi)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilización de nuevos materiales y equipos para implementar nuevas metodologías de diagnóstico de fertilidad de suelos. • Utilizar la capacidad de adquisición que se posee para adquirir nuevos equipos, con el fin de aumento de capacidad de análisis. • Utilización de la capacidad de innovación para mejorar el software de generación de reportes. |
| Amenazas | <p style="text-align: center;"><u>FA (maxi-mini)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacitar y enseñar adecuadamente al personal sobre la utilización de los equipos de última tecnología. • Generar nuevas investigaciones, con ayuda de la experiencia de los coordinadores y la utilización de equipo moderno. | <p style="text-align: center;"><u>DA (mini-mini)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Reevaluación de las metodologías utilizadas, para la aceleración del tiempo de entrega, así como la evolución de las soluciones. |

a) Estrategias del análisis de la matriz FODA, de forma analítica

- Estrategia FO (maxi-maxi): Con la utilización de la amplia experiencia en el tema sobre el análisis químico, de parte de los coordinadores del laboratorio, y la continuación con la introducción de nuevas soluciones que ayuden a la fertilidad del suelo (solubilización y determinación de fósforo) y el uso de tecnología de punta podrían ser utilizados para el aumento del mercado.
- Estrategia DO (mini-maxi): Utilización de nuevos materiales y equipos para implementación de la nueva metodología de resinas, para la extracción de cationes con énfasis en fósforo, así como la implementación de la metodología para la determinación de acidez sin sub estimar la acidez provocada por el ion hidrógeno, con la cual permitirá realizar con mayor acierto las enmiendas con cal.
- Estrategia FA (maxi-mini): Capacitar y enseñar adecuadamente al personal sobre la utilización de los equipos de última tecnología (ICP y horno micro-ondas) y así lograr aumentar la capacidad de recepción y análisis de muestra. Así como generar nuevas investigaciones, auxiliándose de la experiencia de los coordinadores, para generar investigaciones relacionadas a las necesidades básicas de los agricultores, siendo una de estas la maximización en el uso fertilizante.
- Estrategia DA (mini-mini): Debido a que esta es una situación en la que ninguna empresa u asociación quisiera enfrentar, ya que sería con el único fin de supervivencia, pero de igual forma se presenta una forma de que se podría enfrentar ante esta situación, la cual consiste en reevaluación de las metodologías utilizadas, para la aceleración del tiempo de entrega, así como la evaluación inmediata de soluciones.

1.5.2 Determinación de los principales problemas con los programas de fertilización

Según Jiménez 2011¹, el principal problema de los caficultores es el empleo adecuado de los fertilizantes, debido a que este representa uno de los principales costos en la producción. Los fertilizantes básicos contienen esencialmente los tres macro elementos, nitrógeno, potasio y fósforo.

El fósforo es un elemento esencial, debido a que su principal función fisiológica es intervenir en la acumulación y liberación de energía durante el metabolismo.

Las plantas absorben el fósforo de forma inorgánica en estado soluble, pero cuando se introducen al suelo, más del 90% de este pasa a formas soluble no disponible, debido a esto es que gran parte de los fertilizantes fosfatados que se aplican no son utilizados por las plantas, ya que se almacenan en el suelo.

1.5.3 Jerarquización de los problemas:

- La falta de generación de nuevas soluciones para la solubilización de fósforo en el suelo y la determinación correcta de fósforo en los suelos utilizados para la caficultura.
- Fallo en el software para la generación de reportes.
- Atrasos en las instalaciones de los nuevos equipos.

¹Jiménez, H. 2011. Elaboración de Diagnostico (entrevista). ANACAFE/ANALAB. Guatemala

1.6 CONCLUSIONES

1. A través del análisis FODA se logró establecer las principales fortalezas que posee el laboratorio de suelos plantas y agua. Según cuadro 2 y 3.
2. Se determinó que los principales problemas relacionados con los planes de fertilización son, la fijación y determinación de fósforo en el suelo.
3. A través del análisis FODA se jerarquizó los problemas los cuales son en orden descendente la fijación y determinación del fósforo en suelos dedicados a la caficultura, fallos del software para la generación de reportes de resultados y atrasos en la instalación de equipos nuevos.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1972. Atlas Nacional de Guatemala, Guatemala. 96 p.
2. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). Tarjetas de registro climatológicas de la estación meteorológica del INSIVUMEH. Guatemala. Sin Publicar.
3. Simmons, CS. 1956. Descripción de los suelos que aparecen en la carta agrológica de reconocimiento de la República de Guatemala. Guatemala, SCIDIA. s.p.

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS EN SUELOS PROVENIENTES DE FINCA RETANA ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ Y DE FINCA BELLA VISTA CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ GUATEMALA. C.A.

DIAGNOSTIC OF THE PRESENCE OF SOLUBILIZINGPHOSPHATE BACTERIUM IN SOIL COMING FROM THE FINCA RETANA, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPEQUEZ Y THE FINCA BELLA VISTA, CIUDAD VIEJA, SACATEPEQUEZ, GUATEMALA, C.A.

2.1 PRESENTACIÓN

El fósforo es un elemento esencial para las plantas, debido a que estas lo utilizan para crecer y desarrollarse. Forma parte de compuestos esenciales entre los que se mencionan los fosfatos, los cuales desempeñan funciones en procesos de transferencia de energía y metabólicos (Salazar 2005).

En las plantas el fósforo, es el segundo nutriente inorgánico más requerido. Sin embargo, también es uno de los principales limitantes para la producción, esto ocurre debido a que el fósforo en su forma soluble y a pH menores de 6.5 reacciona con los iones de hierro y aluminio. En pH mayores de 6.5 reacciona con el calcio, produciendo compuestos insolubles que no están disponibles para la absorción por las plantas (Alexander 1980).

Bajo condiciones de suelos con pH ácido o alcalino, los fosfatos inorgánicos aplicados en formas de fertilizantes químicos son inmovilizados en el suelo. Es por ello que, las aplicaciones de este elemento en la forma de fertilizante son consideradas de baja eficiencia en la utilización por las plantas. El costo de los fertilizantes y la posibilidad de fijación de fósforo en el suelo, requieren alternativas para mejorar la eficiencia en el aprovechamiento del fósforo, sin embargo no se cuenta con información respecto a métodos de solubilización del fósforo en el suelo.

El fosfato natural, también puede encontrarse formando parte de las rocas sin estar disponibles para las plantas. Una alternativa para mejorar su disponibilidad sería disponer de mecanismos para la solubilización de distintas rocas fosfatadas y de otras fuentes de fósforo inorgánico. Por tanto, una opción sería el uso de microorganismos del suelo con habilidad para solubilizar los fosfatos a partir de compuestos contenidos en las rocas o en el suelo (Illmer y Schinner 1992).

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los suelos ubicados en los municipios de Ciudad Vieja y de Antigua Guatemala, del departamento de Sacatepéquez, son derivados de cenizas volcánicas. Se caracterizan por la presencia de arcillas amorfas e hidratadas del tipo del alófono, hasta en un 70% de la fracción de arcilla. Esto repercute en la fijación de fósforo hasta en valores del 95% de fijación. Según lo mencionado en párrafos anteriores esto constituye un factor limitante en la producción. En casos extremos puede manifestarse con síntomas en las hojas, caracterizado por el color rojizo, crecimiento lento, retraso en la maduración y disminución en el desarrollo radicular, entre otros (Rincón Venegas 2008).

La presente investigación constituyó un estudio de tipo exploratorio y descriptivo mediante el cual se diagnosticó la presencia de microorganismos en los suelos de los municipios de Ciudad Vieja y Antigua Guatemala, en el departamento de Sacatepéquez, Guatemala. C.A. El principal objetivo del estudio fue establecer los niveles poblacionales de bacterias solubilizadoras y la posibilidad de uso como agentes que contribuyan a mejorar la disponibilidad de fósforo para las plantas.

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1 Marco conceptual

a) Importancia del fósforo

El fósforo es un elemento esencial para la vida. Las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial genético. Contraproducente, el fósforo no es abundante en el suelo. Además, mucho del fósforo presente en el suelo no está en formas disponibles para la planta. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo. Según este, una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar “fijado” en los minerales del suelo lo que significa que la planta no puede absorberlo. En la naturaleza, el fósforo forma parte de rocas y minerales del suelo. Las fuentes de fósforo como nutrimento para las plantas son los fertilizantes minerales y los fertilizantes orgánicos. Los fertilizantes minerales son compuestos inorgánicos de fósforo que se extraen de yacimientos de roca fosfórica. Estos compuestos minerales, son tratados para hacerlos más solubles, de forma que sean disponibles para las plantas y puedan ser utilizados por estas en la formación de tejidos y órganos vegetales (IPNI 2011).

b) Fósforo como fertilizante

El fósforo existe en el suelo de forma inorgánica y orgánica, entre los cuales algunos van desde las formas disponibles hasta las formas no disponibles. (Fernández, Zalba, Gómez 2005). El fósforo es absorbido por las plantas como ion ortofosfato, no descartando la posibilidad que estos pueden convertirse en fosfatos di y monobásicos con la ayuda de bacterias solubilizadoras, siendo estas ultima formas asimilables para las plantas. (Díaz, Ferrer, Almaraz 2001).

c) Fósforo en el suelo

El fósforo del suelo se presenta casi exclusivamente como orto fosfatos derivados del ácido fosfórico, H_3PO_4 , Ca y Al. Los compuestos formados pueden encontrarse en forma de sales en solución, sales cristalinas o sales absorbidas por los coloides del suelo. El ion fosfato puede, además, ser directamente absorbido por los coloides del suelo o puede formar enlaces de gran estabilidad con los hidróxidos de Fe, Al o Mn que forman parte de los coloides del suelo. Estos últimos constituyen el "fósforo fijado" (Tsai y Rosetto 1992).

Las principales formas de fosfatos orgánicos son el fosfato de inositol y los ácidos nucleicos. Tanto el inositol como los ácidos nucleicos parecen tener origen principalmente microbiano. El nivel de fósforo orgánico en los suelos puede variar entre un 3 y un 85% del fósforo total. (Tsai y Rosetto, 1992). En el cuadro 4 se muestran las principales formas de fosfato inorgánico se encuentra de la siguiente forma:

Cuadro 4 Las principales formas de fosfato inorgánico.

| Minerales | Denominación | Composición | Características |
|--------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| Fosfatos de calcio | Hidroxiapatita | $3Ca_3(PO_4)_2Ca(OH)_2$ | Mayor abundancia |
| | Oxiapatita | $3Ca_3(PO_4)_2CaO$ | |
| | Fluorapatita | $3Ca_3(PO_4)_2CaF_2$ | Mayor abundancia |
| | Carbonatoapatia | $3Ca_3(PO_4)_2CaCO_3$ | |
| | Fosfato tricálcico | $3Ca_3(PO_4)_2$ | |
| | Fosfato bicálcico | $CaPO_4$ | Mayor solubilidad |
| | Fosfato monocálcico | $Ca_3(PO_4)_2$ | Mayor solubilidad |
| Fosfatos de hierro | Vivianita | $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ | |
| | Estrengita | $FePO_4 \cdot 2H_2O$ | |
| Fosfatos de Al | Variscita | $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ | |

Fuente: Tsai y Rosetto, 1992

Todas ellas son de menor solubilidad que los compuestos fosfatados orgánicos.

La abundancia relativa de cada uno de estos compuestos variará de acuerdo al origen del suelo, a los niveles de materia orgánica y al pH.

Ciclo del fósforo

En la figura 4, se esquematiza el ciclo del fósforo en la naturaleza. Se observa que las interacciones no solo se limitan al suelo con plantas (ecosistemas), si no también participan en la hidrósfera (percolación) y litósfera (mineralización). Sin embargo, se puede notar que el fósforo circula en forma química única del ácido fosfórico (H_2PO_4), el que es incorporado en sustancias orgánicas. Una segunda parte de las plantas, después de la cosecha, se incorpora nuevamente al suelo, aquí los fosfatos orgánicos son mineralizados, liberándose ácido fosfórico en la solución de suelo. A través de la mineralización de las rocas parentales, también se produce la aparición de iones fosfatos en la solución. El ion fosfato puede ser adsorbido en la superficie de partículas coloidales y precipitado en forma de fosfatos Ca, Al y Fe. Al disolverse los fertilizantes aplicados el suelo, aumenta la concentración de H_2PO_4 en la solución del suelo, se acelera los procesos de absorción y precipitación; y, de este modo, parte del fósforo aplicado es fijado en el suelo. (Hans 1987). Bajo fertilizaciones masivas es posible que ocurra una pérdida de fósforo al ser lixiviado en la capa freática del suelo. Los diferentes procesos del ciclo de fósforo se presentan en la figura 3, en detalle a continuación:

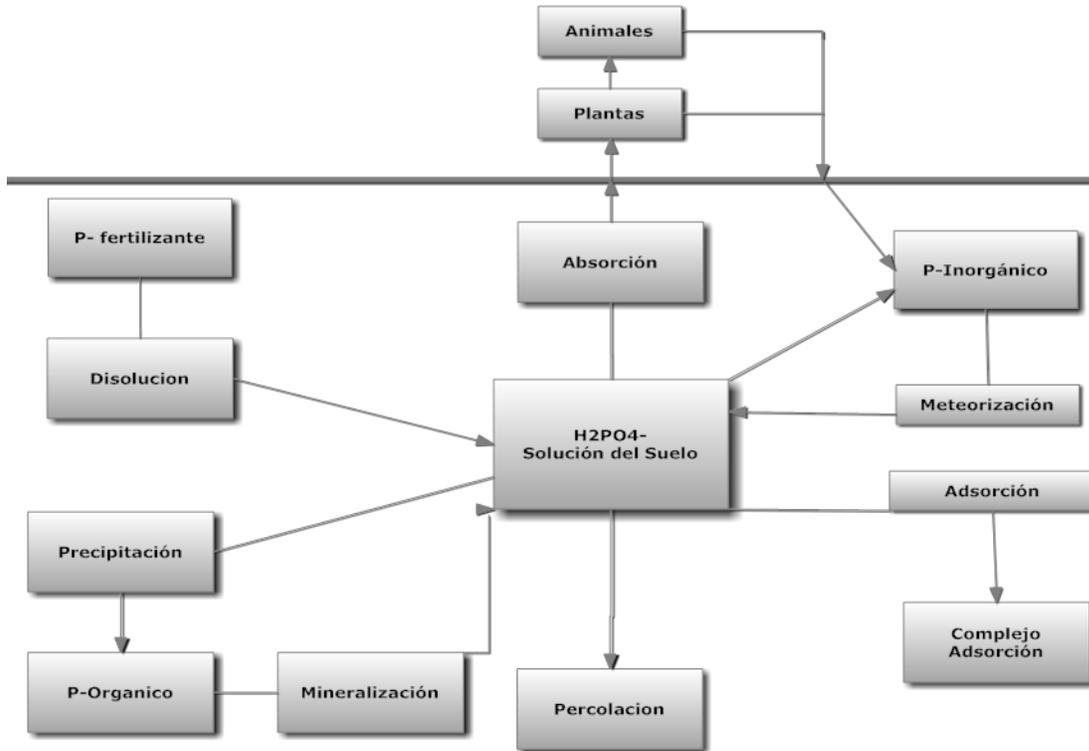


Figura 3 Ciclo del fósforo en la naturaleza
Fuente: Hans W. 1987

Mineralización de fosfatos orgánicos

A partir de los compuestos polimerizados (nucleoproteínas) se forman compuestos más simples (proteínas y ácidos nucleicos), que liberan ácido fosfórico. La participación de los microorganismos en los procesos de mineralización es muy importante; se ha encontrado más de 30 especies de bacteria, entre ellas: *Serratia carollera* var. *phosphaticum*, *Bacillus megatherium* var *phosphaticum*; *B. mesentericus*; *B. Vulgatus*; *B. subtilis*. Levaduras como: *Rodrentrelaria mucilaginoso*. Hongos: *Saccharomyces ellipsoideus*.

Estos microorganismos habitan en la rizosfera y producen la liberación de iones fosfato que son directamente aprovechable por la planta. La mayor parte de los microorganismos del suelo (*Arthrobacterspp.*, *Aspergilluspp.*, *Penicilliumsp.*, *Rhizophusspp.*, *Streptomicesspp.*) no son selectivos, pero si capaces de producir fosfatasas, nucleidasas y fitasas que catalizan el proceso metabólico. La actividad microbiana es afectada por diferentes factores, entre los que destacan: temperatura, humedad y reacción del suelo. (Hans 1987).

La mineralización del fósforo orgánico, generalmente, se ha estudiado en condiciones de laboratorio en experimentos de incubación. Este proceso es óptimo con pH altos (entre 5.5 y 7.0), con temperatura entre 25 y 45 °C y en condiciones intermedias de humedad. En condiciones de humedad cambiantes (sequedad-humedad) se favorece la mineralización; al humedecer una muestra de suelo seca (ajustándola con una tensión a 0.33 bar y someterla a una temperatura específica (30°C) se produce un primer flujo de mineralización, como consecuencia de la disponibilidad de compuestos orgánicos fáciles de metabolizar. Al aumentar el fósforo disponible, la población microbianase desarrolla considerablemente, lo cual lleva la inmovilización del fósforo. Así se producen también en condiciones de campo, fases de mineralización e inmovilización alternas; como producto final se espera la liberación de fósforo y una mejor en su disponibilidad (Hans1987).

Adsorción de fosfatos

La adsorción de iones fosfatos hacia la superficie del complejo coloidal, como partículas de arcilla, materia orgánica e hidróxidos de Al y Fe, ocurre debido a las cargas electropositivas de la superficie de estos componentes (Hans1987).

Precipitación de fosfatos

En las condiciones existentes en el suelo, los iones fosfatos que se liberan a través de la disolución de fertilizantes fosfatados, no son establecidos, ni permanecen en su forma original, sino que son objetos de transformaciones de adsorción y precipitación. Estas reacciones son de especial importancia.

Al disolverse un granulo de superfosfato triple (fosfato monocálcico) se forma una solución de ácido fosfórico acida (pH 1.8) que al reaccionar con los diferentes cationes existentes en la solución de suelo (Ca, Fe, Al), da origen a la precipitación de fosfatos cristalinos o amorfos, menos solubles, de Ca, Fe y Al. En algunos casos se forman fosfatos mixtos de carácter muy complejo. Se han indicado la precipitación de 57 fosfatos diferentes, a partir de soluciones de fosfatos monocálcicos, dicálcico, monoamónico, diamónico, monopotásico y dipotásico, en distintas condiciones en la presencia de Ca, Mg, K, NH₄, Al y Fe en la solución reactiva. Estos productos de la precipitación representan, luego, fuentes secundarias de fósforo para las plantas; su identificación y el conocimiento de sus propiedades son de gran importancia. (Hans 1987).

Los suelos de áreas tropicales se presentan asociados por lo general con un pH bajo, grandes cantidades de hidróxido de Al y Fe, y gran cantidad de cargas electropositivas y electronegativas de adsorción de fosfatos. Pero asociados con un pH bajo, aumentan las cantidades de Al y Fe cambiables, resultando así, la precipitación de fosfatos.

En algunos estudios se ha encontrado que la capacidad de fijación del fósforo correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica y de hidróxidos libres de Al y Fe, así como, con diversas arcillas de los suelos. Los factores más importantes son el pH, y el contenido de hidróxidos libres de Fe en la materia orgánica. La mayor parte de ellas retienen entre un 25 y 35 % del fósforo ofrecido (Hans1987).

Interpretación de las relaciones entresuelo planta

Las plantas absorben los iones H_2PO_4 directamente de la solución de suelo; la disponibilidad de fósforo es caracterizada en ese medio por el potencial de los fosfatos cálcicos ($p H_2PO_4 + 0.5 p Ca$), representando una buena asociación matemática con la planta, dadas las pequeñas concentraciones de H_2PO_4 en la solución del suelo y su rápida absorción por la plantas, se tienen el $p H_2PO_4 + 0.5 p Ca$ un parámetro de intensidad, una medida de la situación cambiante de fósforo en el suelo. Del proceso de la absorción de fósforo por las plantas resulta también la necesidad de reponer continuamente H_2PO_4 en la solución del suelo. Esto ocurre de acuerdo con la solubilidad y las cantidades de diferentes fosfatos presentes en la fase sólida del suelo. La caracterización de las fuentes de reserva o capacidad puede hacerse con los métodos de análisis de fosfatos orgánicos e inorgánicos y sus fracciones (Hans1987).

Formas del fósforo en el suelo

El fósforo en el suelo se encuentra forma orgánica e inorgánica. Entre un 60 y 50% del fósforo almacenado en el suelo es de forma orgánica, pudiendo variar dependiendo del tipo de suelo, y el resto en forma inorgánica. Las formas orgánicas se hallan en el humus del suelo, en diferentes niveles de estabilización (Melgar 2005).

La actividad microbiana es la que realiza el movimiento de las formas orgánicas, así como realiza la mineralización del fósforo orgánico.

El fósforo inorgánico está representado de las siguientes formas:

- Fósforo presente en los minerales primarios (básicamente apatitas).
- Fósforo adsorbido en las arcillas.
- Fósforo en solución: es el que pueden aprovechar las plantas: HPO_4^- y H_2PO_4^- .
- Fósforo poco disponible representado por fósforo precipitado/Ocluido (Melgar 2005).

d) Movilidad del fósforo en el suelo.

El principal movimiento del fósforo es por difusión y en menor escala por movimiento de masas. Los factores principales que influyen en la difusión son:

- Constante de solubilidad del fósforo: es una propiedad química intrínseca del elemento.
- Gradiente de concentración de fósforo entre dos puntos considerados.
- Distancia entre los puntos entre los que se realiza la difusión y tortuosidad del medio.
- Humedad: la difusión se realiza en medio acuoso, por lo que se transforma en un factor crítico.
- Temperatura: la difusión del P aumenta con el incremento de la temperatura (Melgar2005).

e) Factores que influyen en la disponibilidad de fósforo.

Los principales factores que influyen en la solubilidad del fósforo para la planta son:

- pH del suelo.
- Presencia de Fe, Al, y Mn solubles.
- Presencia de minerales que contienen Fe, Al y Mn.
- Minerales de calcio y magnesio disponibles.
- Cantidad y descomposición de materia orgánica.
- Actividad de microorganismos.(Melgar 2005)

f) Microorganismos solubilizadores de fosfatos

En distintos suelos se han aislados bacterias solubilizadoras de fosfato pertenecientes a los géneros: *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Rhizobium* spp., *Agrobacterium* spp., *Burkholderia* spp., *Achromobacter* spp., *Micrococcus* spp., *Aerobacter* spp., *Flavobacterium* spp. y *Erwinia* spp. (Nahas 1996). Estos microorganismos crecen en medios con fosfato tricálcico, apatita o materiales insolubles similares como única fuente de fosfato y no solo asimilan el elemento sino que solubilizan una gran proporción del mismo, liberándolo en cantidades superiores a sus demandas nutricionales. El principal mecanismo microbiológico por el cual los compuestos fosfatados son movilizados es la disminución del pH del medio por la liberación de ácidos orgánicos (Alexander 1980).

Se han aislado microorganismos como *Azospirillum lipoferum* o *Azotobacter chroococcum* que además de ser fijadores libres de nitrógeno, son capaces de promover el crecimiento vegetal mediante la solubilización de fosfatos inorgánicos (Murty y Ladha 1988). Además, distintas especies de los géneros *Rhizobium* spp. y *Bradyrhizobium* spp.,

bacterias del suelo que fijan nitrógeno en asociación simbiótica con distintas leguminosas, poseen capacidad de solubilización de fósforo inorgánico.

Existen diferentes métodos para seleccionar microorganismos solubilizadores de compuestos de fósforo inorgánico aislados del suelo. Los distintos criterios presentan sus ventajas y desventajas. Si bien se ha demostrado que la selección a partir de la formación del halo de solubilización no es una técnica infalible (Nautiyal1999).

Mecanismos de solubilización de fosfatos por microorganismos

Varios mecanismos se proponen para explicar la solubilización microbiana de compuestos inorgánicos de fósforo. Los mecanismos consisten en: producción de ácidos inorgánicos y orgánicos durante la descomposición de residuos orgánicos; excreción de protones debido a la asimilación de NH_4^+ por los microorganismos; formación de complejos entre aniones orgánicos (oxalato y citrato) y cationes en la solución del suelo que precipitan (Al^{3+} , Fe^{3+} y Ca^{2+}); y desorción de iones de fósforo soluble en los sitios de adsorción por aniones orgánicos producidos por los microorganismos solubilizadores de fósforo (Bernal2005.).

Se sabe que la producción de acidez fue el principal mecanismo en la solubilización de una roca fosfórica (hidroxiapatita) por *Enterobacter agglomerans* bajo condiciones *in vitro*. Para efectos de comparación, emplearon ácido cítrico, ácido oxálico, ácido láctico y ácido clorhídrico al mismo pH generado por *E. agglomerans* en un medio de cultivo. Ellos hallaron que a pH 4,0 – 4,1 (y agitación por 48 – 50 horas) no hubo diferencias significativas entre la solubilización de fósforo producida por ésta bacteria y la producida por los ácidos cítrico, oxálico y clorhídrico. Sin embargo el ácido láctico presentó una más baja capacidad ($P < 0,05$) para solubilizar la hidroxiapatita.

Algunos de los ácidos orgánicos comúnmente asociados con la solubilización microbiana de fósforo soluble son: glucónico, láctico, tartárico y aspártico. Estos ácidos son producto del metabolismo microbiano, en algunos casos por respiración oxidativa o por fermentación de sustratos carbonados (glucosa). Se acepta que las reacciones de solubilización de P ocurren en la rizosfera donde los compuestos carbonados son liberados y donde el P solubilizado puede ser tomado por la raíz o por el sistema micorrizal. En 1990 encontraron que las plantas pueden liberar a la rizosfera hasta un 40% del carbono total fijado por fotosíntesis. Muchos microorganismos de la rizosfera son heterótrofos y podrían usar estos sustratos carbonados para producir ácidos orgánicos (Bernal 2005.)

2.3.2 MARCO REFERENCIAL

a) Áreas de colecta de muestra

La colecta de muestras se realizó en dos fincas del departamento Sacatepéquez, siendo ellas, finca Retana ubicada en Antigua Guatemala y finca Bella Vista, en Ciudad Vieja. Estas fincas son caracterizadas por alta productividad de café (*Coffea arabica*L.) de excelente calidad. En cada una de las fincas se realizó un muestreo compuesto por cada lote de producción, constando de 10 sub-muestras por cada muestra compuesta que era representativa de un lote.

b) Ubicación geográfica del área de obtención de muestras.

Finca Retana se encuentra ubicada en Antigua Guatemala bajo las siguientes coordenadas N14° 32.941 W90° 45.234, a 1535 metros sobre el nivel del mar. Posee café estrictamente duro, de las variedades Bourbon, Catimor, Caturra. Esta finca posee una extensión de 125.77 Ha cultivadas.

Finca Bella Vista se encuentra ubicada en Ciudad Vieja bajo las siguientes coordenadas N14° 31.395 W90° 44.465, a 1525 metros sobre el nivel del mar. Posee café estrictamente duro, de las variedades predominantes de Bourbon y Caturra. Esta finca posee una extensión de 20.60 Ha cultivadas.

La georreferenciación de los puntos donde se realizó el muestreo (círculos de color) y la posición del área de muestreo regional se muestra anexo 1.

c) Ubicación del área de trabajo

El diagnóstico de la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo, se realizó en el Laboratorio de Protección Vegetal de ANALAB, en el edificio de ANACAFE, Guatemala. C.A.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

1. Realizar un diagnóstico preliminar sobre la presencia de bacterias solubilizadoras de fosfatos, en suelos provenientes de los municipios de Ciudad Vieja y Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala. C.A.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Caracterizar los parámetros físicos químicos de los suelos bajo estudio.
2. Establecer metodología de aislamiento de bacterias solubilizadoras de fósforo en suelos provenientes de los municipios de Ciudad Vieja y Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala. C.A.
3. Aislar bacterias solubilizadoras de fosfatos en suelos provenientes de los municipios de Ciudad Vieja y Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala. C.A.

2.5 HIPÓTESIS

En los suelos provenientes de plantaciones de café de Ciudad Vieja y Antigua Guatemala, en el departamento de Sacatepéquez, Guatemala, hay presencia de bacterias solubilizadoras de fosfatos.

2.6 METODOLOGÍA

2.6.1 Características físico químicas

a) Muestreo

Las muestras se tomaron en lugares que contienen cafetales adultos, de dos fincas. Previo a muestreo, se limpió el lugar para quitar la maleza y broza. Luego se procedió a extraer con ayuda de azadón y pala las muestras a una profundidad de 10 cm. Es importante resaltar que la muestra se colectó junto con residuos de raíces de plantas de café. Se obtuvieron 500 g de muestra compuesta de 10 sub-muestras por lote de producción, a través de un muestreo aleatorio simple. Las muestras se depositaron en bolsas plásticas previamente identificadas.

En las figuras **a** y **b**, se muestran los procesos de muestreo y de homogenización de muestras, realizadas para cada una de las muestras.



a)



b)

Figura 4 Muestreo y homogenización de muestras. A. Toma de muestra, B. Homogenización de la muestra

b) Preparación de la muestras.

Las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron en mesh 20 μ . En cada una de las muestras se determinó: pH (suelo: agua; 1:2.5) potenciométricamente con un electrodo de vidrio; y fósforo extractable por el método de Olsen modificado. Además se realizó un análisis del contenido de otros elementos de menor importancia.

c) Determinación de pH

Se tomaron 10 mL de suelo y se agregaron 25 mL de agua destilada. Esta mezcla se agitó durante 15 minutos y se dejó reposar durante 30 minutos. La lectura se realizó directamente sobre la suspensión (Diaz y Hunter 1978). La determinación de pH en el suelo se realizó según la metodología establecida por ANALAB, figura 5. Con una relación 1:2.5 suelo agua respectivamente.

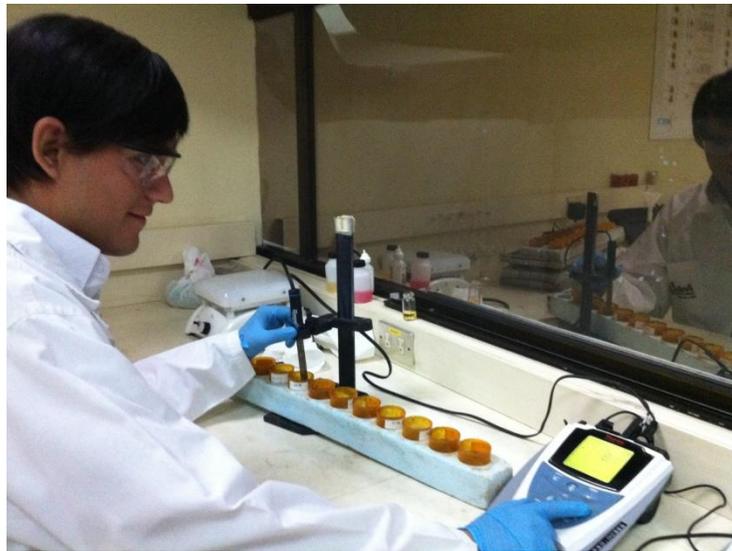


Figura 5 Determinación de pH en suelos

d) Determinación de fósforo

El fósforo se determinó colorimétricamente midiendo la cantidad de luz absorbida por la muestra cuando un haz de luz pasa a través de ella. Para lo anterior se necesitó que los fosfatos formaran un complejo coloreado llamado azul molibdeno. Este complejo se formó entre el fósforo y un agente acomplejante (molibdato), bajo condiciones reducidas que provee el ácido ascórbico. La intensidad del color está directamente relacionada con la cantidad de fósforo en solución. Un factor importante es que la estabilidad del azul molibdeno es limitado por el tiempo, debido a lo anterior las lecturas deben ser realizadas preferiblemente en los primeros 20 minutos luego de generado el color azul (Abreu y Andrade2001).

Se tomaron 2.5 mL de suelo y se agregaron 25 mL de solución Olsen modificado, la mezcla se agitó por 10 minutos, posteriormente se filtró con papel whatman #2, del filtrado se tomó una alícuota de 2 mL a la cual se agregó 8 mL de agua desmineralizada, y 10 mL de solución A. y se dejó reposar 20 min de reacción, se determinó el fósforo con espectrofotómetro UV a una longitud de 660nm.

En la figura 6, se muestra el momento de la reacción, tornándose de color azul las muestras con mayor concentración de fósforo.



Figura 6 Determinación de Fósforo

2.6.2 Establecimiento de metodología de aislamiento de bacterias solubilizadoras de fósforo

a) Pre-enriquecimiento y aislamiento primario de bacterias

Para ello se utilizaron 10g de muestra de suelo que se colocaron en un erlenmeyer con 90 mL de una solución de NaCl 0.1% (p/v). Esta mezcla se agito por 15 minutos a 200 rpm. A partir de estas soluciones se realizaron diluciones seriadas desde 10^{-1} a 10^{-5} utilizando de agua esterilizada. Para determinar la población microbiana se sembró en medio SRSM que contiene púrpura de bromocresol y se aplicó el método de recuento en placa en micro gota determinando UFC/mL.

b) Medio SMRS1

Para el aislamiento de bacterias solubilizadoras se requiere de un medio indicador, que permite el cambio de color, para identificar colonias que solubilizan fósforo. En el cuadro 5 se enlista los componentes y la cantidad de reactivo para realizar el medio de cultivo SMRS1 (Sundara-Rao y Sinha 1963).

Cuadro 5 Componentes del medio SMRS1

| Componente | g/L |
|---|-------|
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | 0.5 |
| KCl | 0.2 |
| $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 0.3 |
| $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.004 |
| NaCl | 0.2 |
| Glucosa | 10 |
| Extracto de levadura | 0.5 |
| Púrpura de Bromocresol | 0.1 |
| $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ | 5 |
| Agar | 15 |

Ajustar pH del medio a 7.2 con solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N.

2.6.3 Aislamiento de bacterias solubilizadoras

Las placas de agar se dividieron en dos partes iguales asignándole a cada parte una réplica de la dilución anteriormente mencionada. En cada una de las áreas se inoculó por el procedimiento de agotamiento bacteriano en la superficie del medio. Las placas de agar se dejaron secar por 15 minutos sin invertir a temperatura ambiente; posteriormente se llevó a incubación por 72 horas hasta que se observaron halos de solubilización alrededor de las colonias. Los halos se midieron en cada colonia con un criterio de selección, índice de solubilización (Santana y Vázquez 2002, Kumar y Narula 1999).

2.6.4 Técnicas de identificación de bacterias.

a) Tinción de gram

Cuando se emplea este método de tinción, debido a diferencias en la pared celular, las bacterias se dividen por lo general en dos grandes grupos, según retengan o no el colorante primario ("GRAMPOSITIVAS" o "GRAMNEGATIVAS" respectivamente)

Método:

- * Un colorante primario (**azul de metileno**) durante tres minutos.
- * Lavar con agua.
- * Un mordiente (**lugol**) durante dos minutos.
- * Lavar con agua.
- * Un agente decolorante (**alcohol-acetona**) durante diez segundos.
- * Lavar con agua.
- * Un colorante de contraste (**safranina**) durante treinta segundos.
- * Lavar con agua y secar sobre un papel de filtro.

Las células que retienen el colorante primario se denominan "GRAMPOSITIVAS" (color violeta) y las que se decoloran con el alcohol-acetona y se tiñen posteriormente con la safranina reciben el nombre de "GRAMNEGATIVAS" (color rojizo).

* Observar al microscopio con el objetivo de inmersión.

b) Crecimiento en agar extracto de levadura dextrosa-carbonato de calcio (YDC)

Este medio es utilizado para la determinación de color de la colonia, siendo un medio pre-selectivo.

Método:

- 1) Con el auxilio de una asa sembrar en medio YDC a partir de un cultivo puro.
- 2) Incubación durante 24-72 horas a 24°C.
- 3) Examinar color.

Interpretación: Colonias de color amarillo *Xanthomonas* y *Erwinia*. Colonias de color crema *Pseudomonas*, *Erwinia* y *Agrobacterium*.

c) Fluorescencia en medio B de King.

Medio de cultivo utilizado para el aislamiento, la detección y la diferenciación de especies de *Pseudomonas spp.* en base a la producción de fluoresceína. Este proceso consiste en que, tripeína y la peptona de carne aportan los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano, la glicerina favorece la producción de pigmentos, la concentración de fosfatos estimula la producción de fluorescencia e inhibe la producción de piocianina y pirrubina.

Método:

- 1) Con el auxilio de una asa sembrar en medio B de King a partir de un cultivo puro.
- 2) Incubación durante 18-24 horas a 35-37 °C
- 3) Examinar las colonias bajo luz ultravioleta.

Interpretación: La producción de fluorescencia indicativo del genero *Pseudomonas*.

d) Reacción de Hugh y Leifson

El método de Hugh&Leifsonse basa en la diferencia que tienen las bacterias para metabolizar los carbohidratos en forma oxidativa o fermentativa. Existen bacterias estrictamente oxidativas y es necesaria la presencia de oxígeno en el proceso. Otras son anaeróbicas facultativas y tienen la capacidad de multiplicarse en un medio con o sin oxígeno.

Método:

- 1) Con el auxilio de una asa inocular 2 tubos de ensayo con medio Hugh&Leifson.
- 2) Uno de los tubos, cubrirlo con 1 o 2 cm de aceite mineral estéril.
- 3) Incubar a 28 °C durante 48 hrs.

Interpretación: La producción de ácido se detecta en el medio por la aparición de color amarillo. En el caso de los microorganismos oxidativos. La producción de color se puede notar primero cerca de la superficie del medio.

2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

2.7.1 Caracterización físico-química de los suelos

En el Anexo 2 se muestra la determinación de los parámetros químicos del suelo para los que se utilizaron las siguientes metodologías:

- pH= método de potenciómetro, relación 1:2.5.
- Solución extractante para fósforo: Olsen modificado, metodología de espectrofotometría UV-Visible.
- Solución extractante para potasio: Olsen modificado, metodología de espectrofotometría de absorción atómica.
- Solución extractante para cobre, hierro, manganeso, zinc con DTPA (ácidodietiltri Aminopentacético), metodología de espectrofotometría de absorción atómica.
- Solución extractante para calcio y magnesio. KCl 1 normal, metodología de absorción atómica.
- Solución extractante para aluminio KCl 1 normal, metodología por volumetría.

En el Anexo 2 se observa que los valores de fósforo que se extrajeron con la solución Olsen modificado los cuales variaron de 48 a 171.8mg L⁻¹. Estos niveles se presentaron altos, considerando los rangos críticos para este elemento que en el cultivo de café que es de 15 mg L⁻¹. El nivel crítico establecido para café en los suelos de Guatemala según el laboratorio de suelos, foliares y agua de ANACAFE.

Este comportamiento se puede deber en gran medida a la alta fertilización de estos suelos, ya que el comportamiento no es coincidente con el material de origen de los suelos, siendo éste cenizas volcánicas en su mayoría como lo indica el mapa de génesis y clasificación de suelos.

2.7.2 Determinación de bacterias

El medio SMRS1 contuvo fosfato tricálcico como única fuente de P, sustancia altamente insoluble, ello permitió la selección directa de los microorganismos con capacidad solubilizadora. El halo color amarillo que se formó alrededor de las colonias, en la medida que ocurrió la solubilización, constituyó el indicador de actividad.

Los aislamientos obtenidos se purificaron y conservaron sobre el mismo medio, para análisis posteriores. En todos los casos, los cultivos microbianos se mantuvieron en incubación a 35°C y luz natural.

A partir de las diluciones 10^{-1} a 10^{-3} se hicieron aislamientos por estría sobre 3 placas de Petri por cada dilución. Las colonias presentaron el halo que indicaban la solubilización.

El cambio de color en el medio se debe a que el purpura de Bromocresol es un indicador de pH, siendo que para pH iguales o mayores de 6.8 el color es violeta y en pH de 5.2 o menor a este se torna de color amarillo.

El cambio de pH en el medio podría indicar la producción de ácidos orgánicos en el medio de cultivo que se presenta en la figura 7.

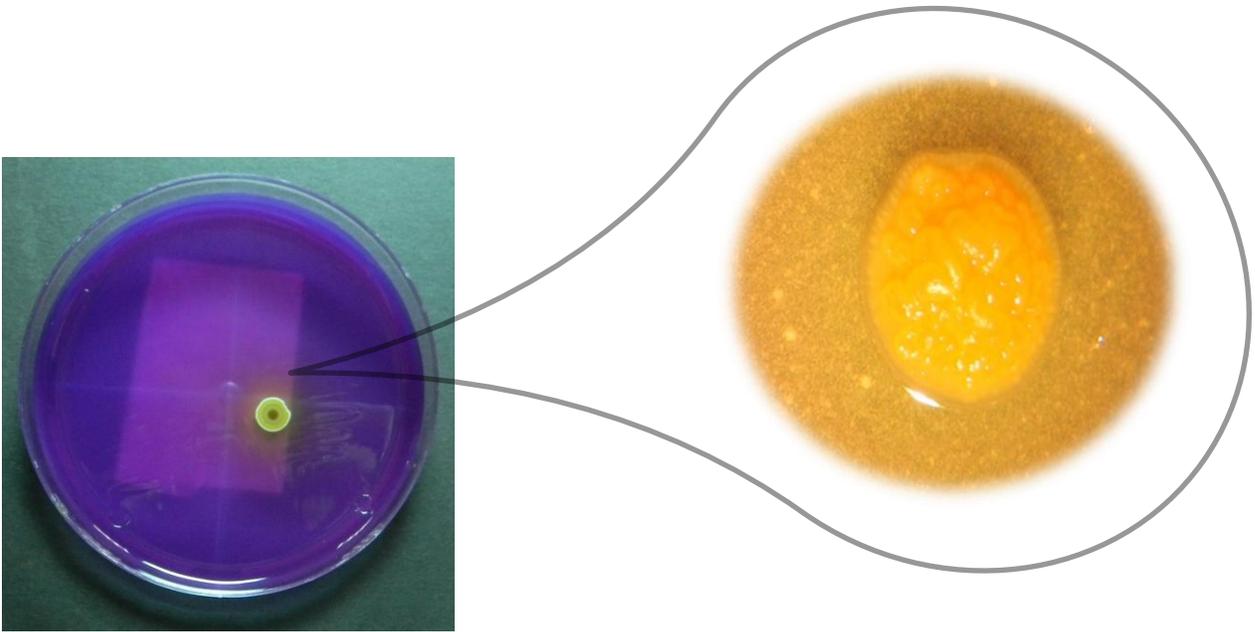


Figura 7 Presencia de Colonia solubilizadora de Fósforo

Se realizó el procedimiento de dilución y aislamiento para las 20 muestras, de las cuales se obtuvieron 12 aislamientos bacterianos con capacidad para hacer disponible el fósforo a partir de fosfato tricálcico. En el cuadro 6 se observan las muestras con presencia de bacterias solubilizadoras.

Cuadro 6 Aislamiento de colonia solubilizadoras de fosfatos y técnicas empleadas para la determinación de las colonias.

| N o. | Identificación de La Muestra | Finca | Pruebas realizadas para determinar orden | Bacteria (orden) | Descripción de la colonia en el medio SMRS |
|------|------------------------------|-------------|--|------------------|---|
| 1 | María Centro joven | Retana | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. Formación de pigmentos. | Pseudomona | Colonias color beige, con halo y forma definida, que presentan una alta capacidad de solubilización, sin olor. |
| 2 | María Centro joven | Retana | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. Formación de pigmentos. | Pseudomona | Colonias color beige, con halo y forma definida, que presentan una alta capacidad de solubilización, sin olor. |
| 3 | María Centro Adulta | Retana | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. No forma pigmentos. Reacción de Hughleyson: Oxidativa | Erwinia | Colonias color crema, sin forma definida, que presenta capacidad media de solubilización, con olor fétido. |
| 4 | María Centro Adulta | Retana | Xanthomonas: Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color amarillo Reacción de Hughleyson: Oxidativa | Pseudomona | Pseudomonas: Colonias color beige, con halo y forma definida, que presentan una alta capacidad de solubilización, sin olor. |
| 5 | Morera Sur | Retana | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. Formación de pigmentos. | Pseudomona | Colonias color beige, con halo y forma definida, que presentan una alta capacidad de solubilización, sin olor. |
| 6 | Lote 1 | Bella Vista | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. Formación de pigmentos. | Pseudomona | Colonias color beige, con halo y forma definida, que presentan una alta capacidad de solubilización, sin olor. |

Continuación cuadro 6. Aislamiento de colonia solubilizadoras de fosfatos y técnicas empleadas para la determinación de las colonias.

| | | | | | |
|----|-------------|-------------|--|----------------------------------|--|
| 7 | lote 3 Alto | Bella Vista | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. Formación de pigmentos. | Pseudomona | Colonias color beige, con halo y forma definida, que presentan una alta capacidad de solubilización, sin olor. |
| 8 | lote 8 Alto | Bella Vista | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. No forma pigmentos. Reacción de Hughleyson: Oxidativa | Erwinia | Colonias color crema, sin forma definida, que presenta capacidad media de solubilización, con olor fétido. |
| 9 | lote 9 bajo | Bella Vista | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. Formación de pigmentos. | Pseudomona | Colonias color beige, con halo y forma definida, que presentan una alta capacidad de solubilización, sin olor. |
| 10 | lote 7 alto | Bella Vista | Prueba de gram positivo | Gram + No se pudo identificar | ----- -- |
| 11 | lote 7 bajo | Bella Vista | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. Formación de pigmentos. | Pseudomona | Colonias color beige, con halo y forma definida, que presentan una alta capacidad de solubilización, sin olor. |
| 12 | lote 7 bajo | Bella Vista | Test Gram: Negativo crecimiento en medio YDC: colonia color crema crecimiento en medio B de King. No forma pigmentos. Reacción de Hughleyson: Oxidativa | Erwinia. | Colonias color crema, sin forma definida, que presenta capacidad media de solubilización, con olor fétido. |

Entre las bacterias solubilizadoras de fosfatos destacan los siguientes géneros: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aereobacter*, *Flavobacterium*, *Enterobacter*, *Pañotea*, *Klebsiella*, *Rhodobacter*, *Arthrobacter*, *Serratia* y *Erwinia* (Rodríguez y Fraga, 1999); mientras, en los hongos se han registrado principalmente, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* y levaduras (Khan *et al.* 2010; Whitelav 2000). Las bacterias encontradas en esta investigación fueron únicamente *Pseudomonas* y *Erwinia*. Además, se determinó un hongo solubilizador que se manifestó en los medios de cultivo, se determinó que era *Penicillium*. El cual se presenta en la figura 8.



Figura 8 Hongo solubilizador de fosfatos (*Penicillium*)

Pseudomonas es uno de los géneros con mayor presencia en estas áreas. Este género se mostró presente en un 66.66% de los aislamientos. Por esta capacidad de solubilización como es uno de los géneros bacterianos más eficientes. Naiket *et al.*, 2008, en un extenso estudio sobre la capacidad solubilizadora de fosfatos de 443 aislamientos de *Pseudomonas* fluorescentes, obtenidos a partir de la rizosfera de banano y arroz, encontraron que 80 fueron eficientes solubilizadores de P, incluyendo: *Pseudomonas monteilii*, *P. putida*, *P. plecoglossicida*, *P. fluorescens*, *P. fulva*, *P. mosselii* y *P.*

aeruginosa. Se obtuvieron bacterias solubilizadoras en este ecosistema de café (*Coffea arabica L*), sin embargo, al evaluar la estabilidad fenotípica de su capacidad solubilizadora en el tiempo, se encontró que a la tercera resiembra, ninguno de los aislamientos mantuvo su estabilidad de solubilización. En el presente estudio se demostró que por primera vez en Guatemala en plantaciones de café (*Coffea arabica L*) si hay existencia de bacterias solubilizadoras, pero que su estabilidad solubilizadora no es alta, esto se puede deber a que el estudio fue realizado en suelos clasificados como fértiles, en condiciones favorables para el desarrollo de la planta, esto indica que no hay una competitividad por este elemento y que no es favorable para el desarrollo de nichos de bacterias con un alto potencial de solubilización. Por otra parte, la desaparición del halo podría ser por causas genéticas. De hecho podrían proponerse mecanismos de represión genética regulados por la disponibilidad de P soluble o fenómenos de reprecipitación del P solubilizado originalmente. Cualquiera que sea el caso, se requiere de estudios adicionales. Este hecho se hizo evidente en la presente investigación, pues a pesar de obtener 12 aislamientos en una primera oportunidad en medio sólido SMRS1, todos éstos no fueron estables en su capacidad solubilizadora, como se demostró por la desaparición del halo de solubilización en las resiembras consecutivas. Esto corrobora la importancia, cuando se seleccionan cepas, de efectuar la confirmación de la estabilidad del fenotipo solubilizador por varios ciclos de siembra consecutivos, que garanticen una base genética que se exprese continuamente en el fenotipo. En el cuadro 7, muestra el número de unidades formadoras de colonias, correspondiente a cada una de las muestras, en el cual no se logró determinar ninguna relación con los parámetros físico-químicos de los suelos.

Cuadro 7 Número de unidades formadoras de colonias(UFC) por muestra

| Localidad | Lote | # col sol /suelo |
|--------------------------|------------------|------------------|
| Lote#9 parte alta | Fca. Bella Vista | 1 |
| Lote #9 parte baja | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #8 parte alta | Fca. Bella Vista | 1 |
| Lote #8 parte baja | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #7 parte alta | Fca. Bella Vista | 1 |
| Lote #7 parte baja | Fca. Bella Vista | 10 |
| Lote #6 parte alta | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #6 parte baja | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #5 parte alta | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #5 parte baja | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #4 parte alta | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #4 parte baja | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #3 parte alta | Fca. Bella Vista | 1 |
| Lote #3 parte baja | Fca. Bella Vista | 0 |
| Lote #1 | Fca. Bella Vista | 3 |
| Lote Juan Centro | Fca. Retana | 0 |
| Lote Morera Sur | Fca. Retana | 1 |
| Lote Morera Norte | Fca. Retana | 0 |
| Lote María Centro Joven | Fca. Retana | 40 |
| Lote María Centro Adulto | Fca. Retana | 2 |

En términos de evaluación de solubilización fósforo, hay un dilema debido a que, no hay correspondencia ni correlación entre los resultados de análisis físico químicos de suelo y la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo, esto puede ser por varias causas entre las cuales se encuentran la utilización de un medio sólido para la evaluación de bacterias solubilizadoras de fosfatos, esto debido a que solo algunas cepas de bacterias solubilizadoras de fósforo tienen esta alta capacidad de solubilizar $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ en medio sólido, tal y como lo demostró el estudio de Fankem et al., (2006), evaluaron varios aislados procedentes de rizosfera de palma de aceite (*Elaeisguineensis*) por su habilidad solubilizadora de P-Ca, P-Al y P-Fe sobre placas de agar y también en cultivo líquido.

En todos los casos, los aislados evaluados demostraron su capacidad solubilizadora en cultivo líquido, independiente del tipo de fosfato utilizado, contrario a lo que se observó cuando se usó la prueba en placa. De hecho, la cepa que demostró la mayor solubilización en medio líquido, no fue capaz de formar un halo de solubilización en medio sólido.

2.8 CONCLUSIONES

1. Debido a que los suelos provenientes de finca Bella Vista y de finca Retana, presentaron adecuadas características físico químicas se determinó que estos suelos son de carácter fértil.
2. Se implementó y estableció la metodología para el aislamiento de bacterias solubilizadoras de fósforo, la que consiste en un pre-enriquecimiento en NaCl, un aislamiento primario y un aislamiento definitivo en medio de cultivo SMRS1.
3. Se determinó a través de las prueba de tinción de gram, crecimiento bacteriano en medio YDC, fluorescencia en medio B de King y Reacción de Hugh y Leifson que las bacterias solubilizadoras presentes en estos suelos, pertenecían a los géneros de *Pseudomona* y *Erwinia*.

2.9 RECOMENDACIONES

1. Es recomendable realizar este estudio en muestreos rizosféricos en plantas indicadoras que crecen en condiciones desfavorables de suelo, entre las cuales destaquen la alta acidez y un bajo contenido de fósforo.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu, CA De; Abreu, MF De; Andrade, JC De. 2001. Análisequímico para avaliacao da fertilidadede los solos tropicais. Ed. Van Raij, B; Andrade, JC De; 1Mantarella, H; Quaggio, JA. Campinas, Sao Paulo, Brasil, Instituto Agronómico de Campinas.250 p.
2. Alexander, M. 1980. Transformaciones microbianas del fósforo. *In*Introducción a la microbiología del suelo. México, AGT Editor. p. 355-371.
3. Bernal, LM. 2005. Aislamiento de microorganismos solubilizadores de P, de las raíces de *Vanilla* sp. Bogotá D.C. Tesis PhD. Microbiól. Ind. Colombia, Pontificia Universidad Javeriana. 30 p.
4. Bertsch, HF. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
5. Díaz, P; Ferrer, R; Almaraz, G. 2001. Inoculation of plant growth-promoting bacteria in lettuce. *Terra*19:327-335.
6. Díaz R, R; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE.61 p.
7. Fankem, H; Nwaga, D; Deubel, A; Dieng, L; Merbach, W; Etoa, FX. 2006. Ocurrance and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeisguineensis*) rizosphere in Cameroon. *African Journal of Biotechnology* 5(24):2450-2460.
8. Fernández, I; Zalba, P; Gómez, M. 2005. Bacterias solubilizadoras de fosfatos inorgánicos aisladas de suelos de la región sojera. *Cienc. Suelos* 23(1):31-37.
9. Hans, W. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de Latino AméricaSan José, Costa Rica, IICA. p. 272 -280.
10. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1982. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja Chimaltenango 2059 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
11. IPNI (International Plant Nutrition Institute, US). 2010.Importancia del fósforo(en línea). US. Consultado 25 mar2011. Disponible en[http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/\\$webindex/0D2745E9793640FD06256AAE00136ECB?opendocument&navigator=home+page](http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/$webindex/0D2745E9793640FD06256AAE00136ECB?opendocument&navigator=home+page)
12. Illmer, P; Schinner, F. 1992. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biol. Biochem.*24:389-395.

13. Khan, MS; Zaidi, A; Ahemad, M; Oves, M; Wani, P.A. 2010. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. *ArchAgronSoilScien*, 56(1): 73–98.
14. Melgar R. 2005. Movilidad del fósforo en el suelo(en línea).Argentina. Consultado 24 mar 2011. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672011000100004&script=sci_arttext
15. Murty, MG; Ladha, JK. 1988. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. *PlantSoil*108:281-285.
16. Nahas, E. 1996. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil. *World J. Microbiol. Biotech.* 12:567-572.
17. Naik, PR; Raman, G; Badri Narayanan, K; Sakthivel, N. 2008. Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing fluorescent pseudomonads isolated from rhizospheric soil. *BMC Microbiology* 8:230.
18. Nautiyal, CS. 1999. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiol. Lett.* 170:265-270.
19. Rincón Vanegas, SC. 2008. Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza. Bogotá D.C. tesis de Microbióloga Industrial. Colombia. Pontificia universidad Javeriana. 97 p.
20. Rodríguez, H; Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* 17:319–339.
21. Salazar, J. 2005. El fósforo en los sistemas ganaderos de leche. *Agronomía Mesoamericana* 16(002):231-238.
22. Tsai, S; Rossetto. 1992. Transformacoes microbianas do fósforo. In *Microbiologia do Solo*. Campinas, Brasil
23. Young, CC. 1990. Effects of phosphorus-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscularmycorrhizal fungi on the growth of tree species in subtropical-tropical soils. *Soil Sci. Nutr.* 36: 225 – 231

CAPÍTULO III
SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS Y
AGUA DE ANACAFE, UBICADO EN GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.

3.1 PRESENTACION

Del diagnóstico realizado en el en el laboratorio de suelos, plantas y aguade ANALAB, de la asociación nacional del café, se identificaron diversos problemas, priorizándolos en base a la importancia que cada uno de ellos representan para el laboratorio. Los cuales fueron la falta de generación de nuevas soluciones para la solubilización y la determinación de fósforo en los suelos.

A partir de estos problemas se planeó y ejecutó un servicio con la finalidad de solventar el problema. El servicio consistió en el desarrollo de metodologías que puedan determinar de una forma más real, la cantidad de fósforo disponible para las plantas, que esto se plantea con la determinación de fósforo por la metodología de resinas de intercambio iónico.

Con la realización de dicho estudio se puede llevar a cabo la correlación de las soluciones a nivel de campo, para poder determinar qué solución posee una mejor determinación de fósforo disponible, con lo cual se podrá determinar de una mejor manera el aporte de fertilizantes hacia los cultivos.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo general

1. Realizar una comparación a curvas de fijación de fósforo disponible determinado por solución Olsen modificado y resinas de intercambio iónico en 19 tipos de suelos pertenecientes a la región cafetalera III y IV, de Guatemala. C.A.

3.2.2 Objetivos específicos

1. Establecimiento de áreas de interés de estudio.
2. Preparación de muestras según metodologías establecidas por ANALAB.
3. Determinación de fósforo disponible según metodologías por ANALAB.
4. Elaboración de curvas de fijación de fósforo disponible para cada uno de los suelos con solución extractora Olsen modificado y resinas de intercambio iónico.

3.3 METODOLOGÍA

- Se selecciono los puntos de muestreo según criterios de importancia de cada una de las áreas bajo estudio (región III y IV), determinados conjuntamente con el departamento técnico de ANACAFE.
- Se realizó cada uno de los procesos indicados en el manual de procedimientos, para llevar cada uno de los pasos en el proceso de preparación de muestra.
- La determinación de fósforo disponible por metodología de Olsen modificado se hizo de acuerdo al manual de procedimientos de ANALAB, la determinación de fósforo disponible por la metodología de resinas de intercambio iónico se hizo de acuerdo a B. van Raij 2001.
- Realización de curvas de fijación de fósforo según procedimiento de ANALAB.
- Interpretación de resultados.

3.4 RESULTADOS.

3.4.1 Selección de puntos de muestreo

En el cuadro 8 se presenta el listado de las regiones cafetaleras donde se realizó el estudio, con sus respectivas características geográficas, climáticas y clasificación de zona de vida según Holdrige (Holdridge L. 1997).

Cuadro 8 Datos geográficos, climáticos y zonas de vida de las regiones en estudio.

| Region | Altitud (msnm) | pp (mm/año) | T °C | HR % | Suelos | Latitud | Longitud | Zona de Vida |
|---------------------------------|----------------|---------------|-------|-------|---------------------------------|-----------|-----------|---|
| III Frajanes y Antigua | 1400- 1800 | 1500- 3000 | 12-26 | 70-90 | Volcánicos | 14°27'45" | 90°26'25" | Bosque Húmedo Subtropical (templado) |
| IV Santa Rosa | 1300- 1700 | 1800- 2000 | 18-25 | 70-80 | Metamórficos y arcillosos | 14°11'18" | 90°16'39" | Bosque Húmedo Subtropical (templado) |

La selección de los puntos de muestreo se realizó en los municipios con mayor importancia en las regiones III y IV de las zonas cafetaleras, determinadas por el departamento técnico de ANACAFE, las cuales son:

Cuadro 9 Ubicación geográficos de los puntos de muestreo, finca y a la región a la que pertenece

| Departamento | Municipio | Finca | Latitud | Longitud | Región |
|---------------|------------------------|-------------|-----------|------------|--------|
| Sacatepéquez | Ciudad Vieja | Bella Vista | 14.531967 | -90.743767 | III |
| Sacatepéquez | Antigua Guatemala | La Follie | 14.574433 | -90.730967 | III |
| Sacatepéquez | Jocotenango | Buena Vista | 14.587133 | -90.744183 | III |
| Chimaltenango | San Martín Jilotepeque | San Martín | 14.878500 | -90.801000 | III |
| Chimaltenango | San Martín Jilotepeque | Santa Elena | 14.890167 | -90.746217 | III |
| Chimaltenango | Acatenango | El Líbano | 14.549050 | -90.943233 | III |
| Escuintla | San Vicente Pacaya | Las Estacas | 14.420467 | -90.612617 | III |

Continuación cuadro 10 Ubicación geográficos de los puntos de muestreo, finca y a la región a la que pertenece

| | | | | | |
|---------------|------------------------------|------------------|-----------|------------|-----|
| Chimaltenango | Yepocapa | La Conchita | 14.474233 | -90.969033 | III |
| Guatemala | Amatitlán | El Rincón | 14.450467 | -90.520817 | III |
| Guatemala | Santa Elena Barillas | El Retumbo | 14.324767 | -90.596333 | III |
| Guatemala | Villa Canales, aldea dolores | Las Cachajinas | 14.349950 | -90.571450 | III |
| Santa Rosa | Pueblo Nuevo Viñas | La Vega | 14.345500 | -90.454733 | IV |
| Santa Rosa | Pueblo Nuevo Viñas | El Retiro | 14.173100 | -90.417417 | IV |
| Santa Rosa | Nueva Santa Rosa | El Zapote | 14.319450 | -90.308983 | IV |
| Sacatepéquez | San Miguel Dueñas | San Rafael Urias | 14.523183 | -90.787767 | III |
| Santa Rosa | Santa Rosa de Lima | El Recreo | 14.418466 | -90.29426 | IV |
| Jalapa | Mataquescuintla | Vizcayá | 14.561166 | -90.2102 | IV |
| Jalapa | Mataquescuintla | San Jacinto | 14.540183 | -90.201683 | IV |

La georeferenciación de los puntos donde se realizó el muestreo (círculos de color) y la posición del área de muestreo regional se muestra en la figura 9.

Mapa de geoposicionamiento de puntos de muestreo

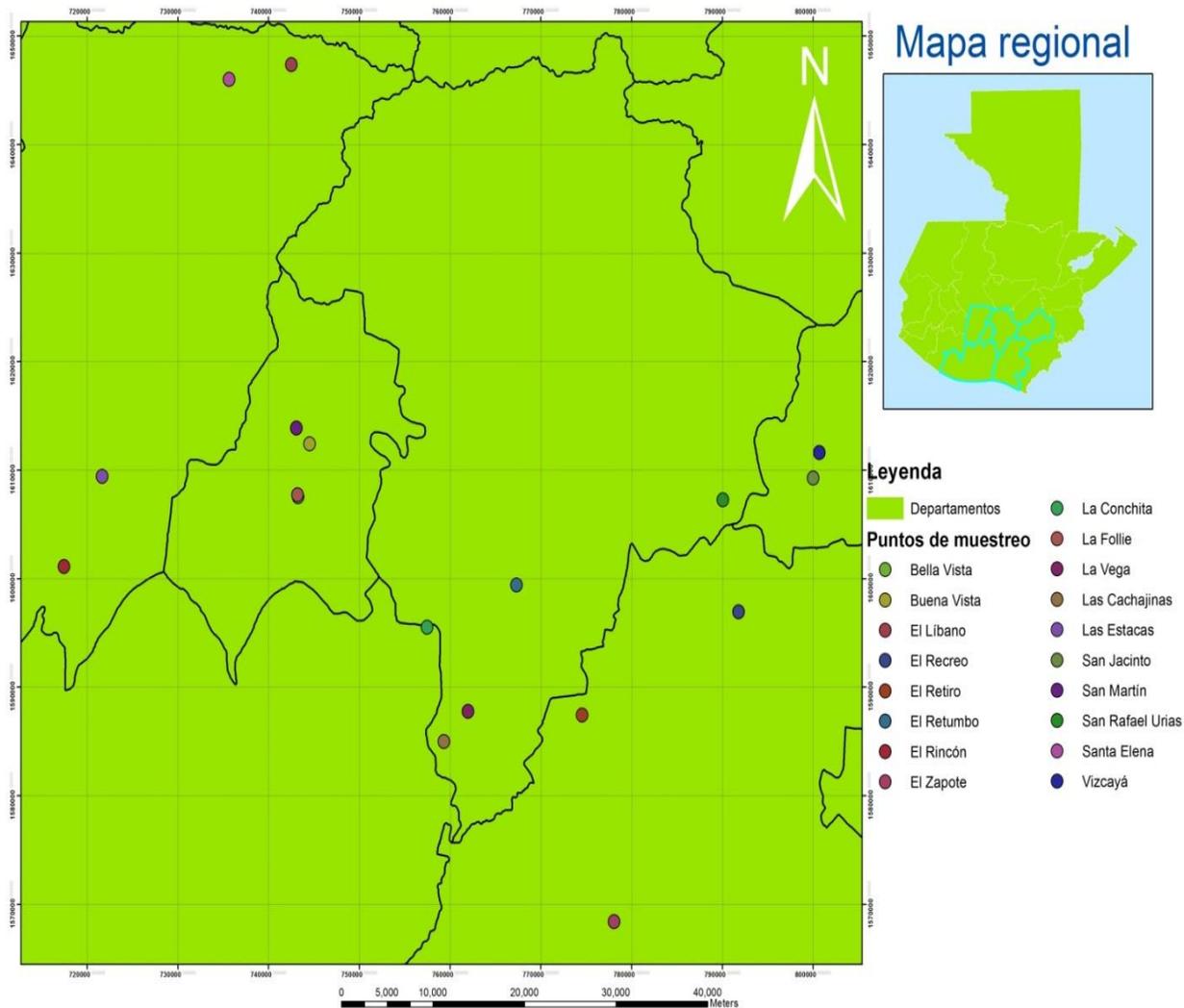


Figura 9 ubicaciones de los puntos de muestreo

a) Muestreo

Se seleccionaron 21 puntos de muestreo (fincas), las cuales están ubicadas en las regiones cafetaleras III y IV. En cada punto se recolecta 2-4 kg de suelo a una profundidad de 0-20 cm.

a)



b)



Figura 10: muestreo de suelos. A. toma de muestra, B. Identificación de la muestra

b) PREPARACIÓN de la muestra

La preparación de la muestra se llevó a cabo en el laboratorio de suelos, plantas y agua de ANACAFÉ, en la preparación de muestra se realizaron las actividades de secado, tamizado y homogenizado.

c) SECADO:

El suelo se esparció en una capa delgada sobre plástico y se removió periódicamente hasta lograr un secado homogéneo, esto bajo condiciones de alta ventilación y sombra.



Figura 11 secado de muestras

d) Tamizado

Esta actividad procedió luego de que la muestra presentaron condiciones de secado uniforme, se tamizaran las muestras en un tamiz de 2 mm de diámetro.



Figura 12 Tamizado de muestras

e) Homogenizado

Las muestra ya tamizadas se homogenizaron, la homogenización se realizó con un movimiento constante de un sitio a otra.

3.4.2 Metodologías para la determinación de fosforo disponible

Las metodologías utilizadas para la determinación de fósforo disponible por Olsen modificado son las que se encuentran descritas en el manual de procedimientos analíticos de ANALAB, y la metodología de resinas de intercambio iónico utilizada es la descrita por B. Van Raij 2001.

a) Método Olsen modificado

- Tomar 2.5 mL de muestra seca y tamizada, colocarla en los vasos plásticos.
- Agregar 25 mL de solución Olsen modificada pH 8.5 a los vasos plásticos conteniendo las muestras de suelo, controles y blancos.
- Tapar y agitar por 10 minutos a una velocidad lenta (176 ciclos por minuto).
- Filtrar con papel whatman #1 o #2.
- Tomar 2 mL del filtrado y 2 mL de estándares.
- Agregar 10 mL de solución B más 8 mL de agua desmineralizada a las muestras controles.
- Dejar reposar por 30 minutos.
- Leer a 660 nm en el Espectrofotómetro.

b) Método de resinas de intercambio iónico.

- Colocar 2.5 mL de suelo en vaso de precipitado con 25 mL de agua destilada y una bola de vidrio.
- Agitar por 15 minutos para disgregar el suelo.
- Retirar bola de vidrio y agregar 2.5 mL de resina tratada.
- Agitar a una velocidad de 220 rpm por 16 horas.
- Tamizar suspensión en malla de poliéster de 0.4 mm y lavar resina con agua.
- Transferir toda la resina a vaso plástico y agregar 50 mL de solución extractora.
- Dejar en reposo 30 minutos.
- Filtrar con papel filtro whatman No. 1 o No. 2
- Cuantificar el fósforo por porcentaje de absorbancia en un espectrofotómetro a 720 nm de longitud de onda.

3.4.3 Resultado de fósforo disponible determinados con solución Olsen modificada y por la metodología de resinas de intercambio iónico.

En el cuadro 10 se muestran la determinación de fósforo disponible en un estrato de 0-20 cm de profundidad, en los 19 puntos bajo estudio, estos resultados fueron determinados con ambos métodos, para cada una de las muestras.

Cuadro 11 Resultados de Fósforo disponible de fincas bajo estudio determinado por solución Olsen modificado y resinas de intercambio Iónico

| Nombre de Finca | P disponible determinado por Olsen modificado en ppm | P disponible determinado por resinas de intercambio iónico en ppm |
|------------------------|---|--|
| San Martin | 20.75 | 19.95 |
| Santa Elena | 18.99 | 6.37 |
| El Líbano | 11.67 | 55.57 |
| La Conchita | 42.65 | 63.50 |
| Las Estacas | 20.15 | 20.96 |
| El Rincón | 72.23 | 137.31 |
| El Retumbo | 8.83 | 15.753 |
| Las Cachajinas | 10.41 | 24.57 |
| San Rafael Urías | 34.01 | 42.12 |
| Bella Vista | 56.95 | 91.80 |
| La Follie | 114.16 | 129.60 |
| Buena Vista | 13.46 | 27.66 |
| La Vega | 7.77 | 9.91 |
| El Retiro | 64.32 | 28.96 |
| El Zapote | 32.45 | 28.50 |
| El Recreo | 27.51 | 36.36 |
| Vizcaya | 301.61 | 123.81 |
| Colina San Jacinto | 14.83 | 5.36 |

3.4.4 Determinación de curvas de fijación de fósforo.

El estudio de curvas de fijación de fósforo se llevó a cabo añadiendo al suelo, una solución, distintas cantidades de elemento bajo estudio. La cantidad de solución es suficiente para saturar completamente la muestra de suelo y dejar un ligero exceso cubriéndola. Esto producirá una condición anaeróbica en la muestra durante algunas horas. El recipiente que contuvo la muestra se dejó destapado hasta que llegó a sequedad, lo cual estuvo ocurriendo a un tiempo de 4-6 días, este sistema permitió que el elemento reacciones con el suelo bajo condición de humedad hasta la sequedad, lo que redujo el tiempo de las reacciones que se lleva a cabo cuando se hace a nivel de campo.

a) Metodología para la realización de curvas de fijación de fósforo.

- El estudio de fijación de fósforo se llevó a cabo en los recipientes usados para el análisis de rutina, se usaron 11 recipientes, con lo cual nos cubre la demanda para realizar el estudio en 5 tratamientos con dos repeticiones y un testigo.

- Agregar 2.5 mL del suelo en estudio a cada uno de los once frascos, distribuyéndolos de la siguiente forma:
 - a. Frasco No.1, testigo agregar 2.5 mL de agua destilada.
 - b. Frasco No. 2 y 7, agregar 2.5 mL de la solución de sorción 1.
 - c. Frasco No. 3 y 8, agregar 2.5 mL de solución de sorción 2.
 - d. Frasco No. 4 y 9, agregar 2.5 mL de solución de sorción 3.
 - e. Frasco No. 5 y 10, agregar 2.5 mL de solución sorción 4.
 - f. Frasco No. 6 y 11, agregar 2.5 mL de solución sorción 5.

- Después de que todas las soluciones se han agregado al suelo, se agita suavemente los frascos para que toda la solución se mezcle completamente con el suelo. Los frascos se dejan destapados en un lugar libre de polvo hasta que su contenido se secó
- Luego de esto se determinó el fósforo con Olsen modificado y resinas de intercambio iónico.

En el cuadro 11 se muestra las concentraciones agregadas a cada uno de los tratamientos y muestras bajo estudio.

Cuadro 12: concentración de fósforo por tratamiento

| Tratamiento de sorción No | Concentración fósforo $\mu\text{g/mL}$ |
|---------------------------|--|
| 1 | 35 |
| 2 | 70 |
| 3 | 140 |
| 4 | 280 |
| 5 | 560 |

3.4.5 Curvas de fijación de fósforo disponible por departamento

a) Chimaltenango

En el departamento de Chimaltenango se utilizaron fincas ubicadas en el municipios de San Martin Jilotepeque, Acatenango y Yepocapa, debido a que son los municipios más representativos de la región cafetalera, este departamento se caracteriza por poseer suelos de origen volcánico en los cuales se localizan los siguientes ordenes Entisoles, Alfisoles, Inceptisoles, Andisoles y Ultisoles. El muestreo se realizó en cuatro fincas de café, distribuidas de la siguiente forma: dos en San Martin Jilotepeque, una en Yepocapa y una ubicada en Acatenango, en ambos métodos de determinación de fósforo, se observó que la relación de extracción es mayor a mayor saturación del elemento, como tendría que ser el comportamiento normal de una curva de fijación. El comportamiento de las curvas de fijación tiende a ser exponencial debido a la saturación que sufre el suelo, como se muestra en las figuras.

En la figura 13 y 14 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca San Martin, ubicada en el municipio de San Martin Jilotepeque,

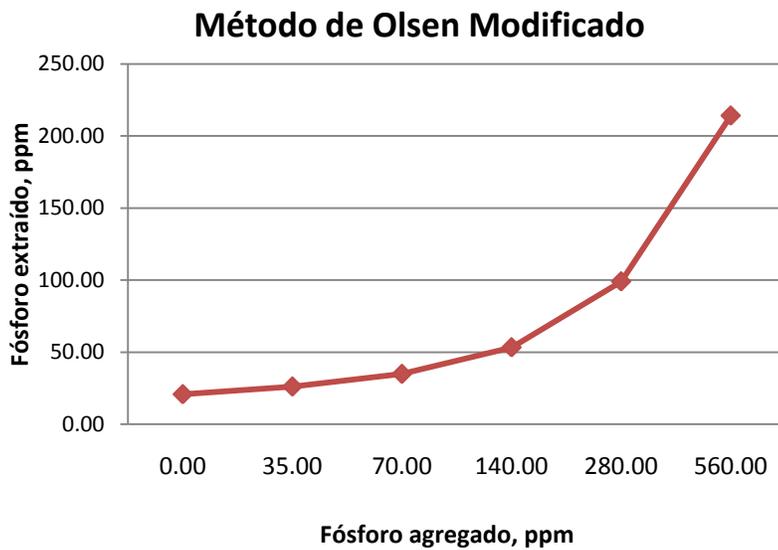


Figura 13 Curva de Fijación de Fosforo, solución Olsen Modificado, Fca. San Martin

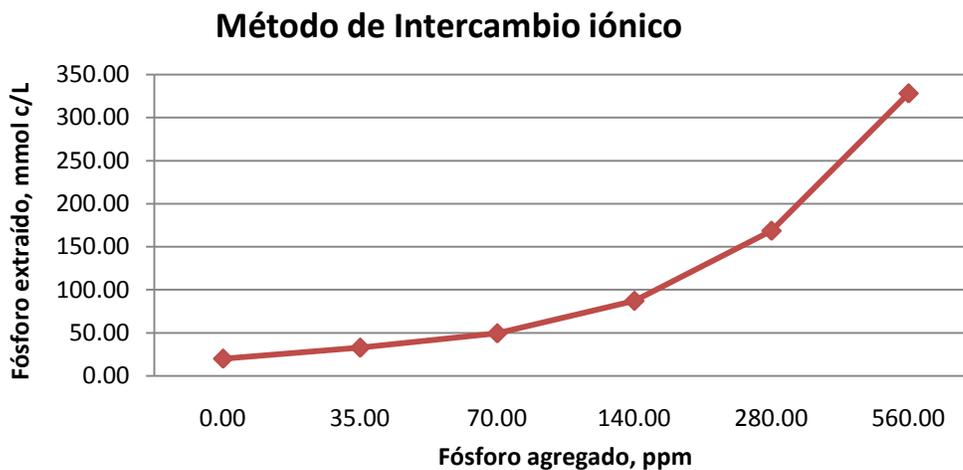


Figura 14 Curva de Fijación Fósforo, Resinas de Intercambio, Fca. San Martin

En la figura 15 y 16 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca Santa Elena, ubicada en el municipio de San Martín Jilotepeque,

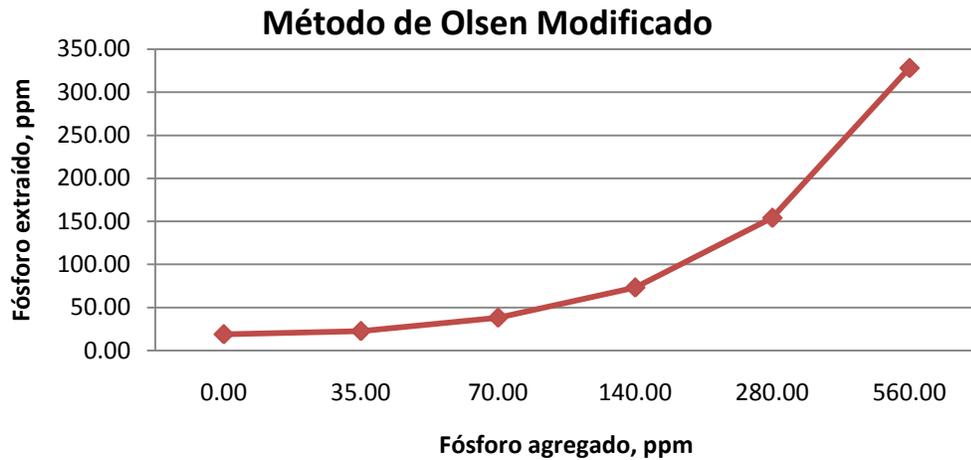


Figura 15 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Santa Elena

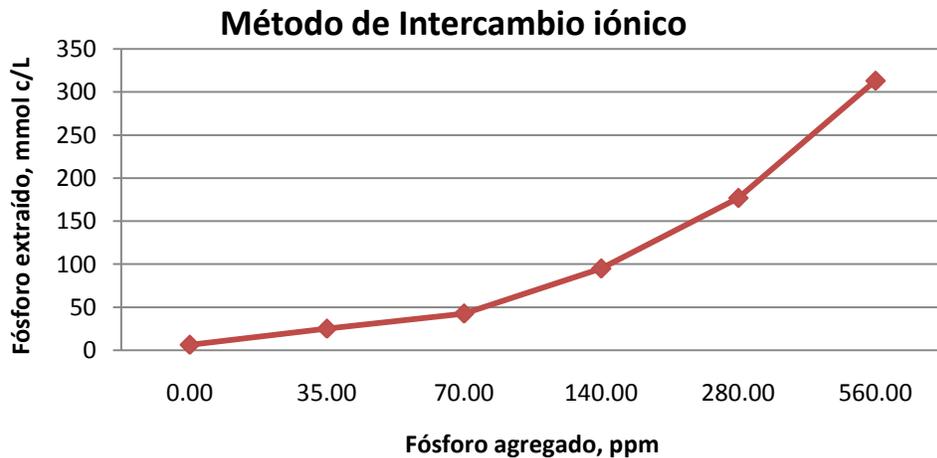


Figura 16 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. Santa Elena

En la figura 17 y 18 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos determinados por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca El Líbano, ubicada en el municipio de Acatenango.

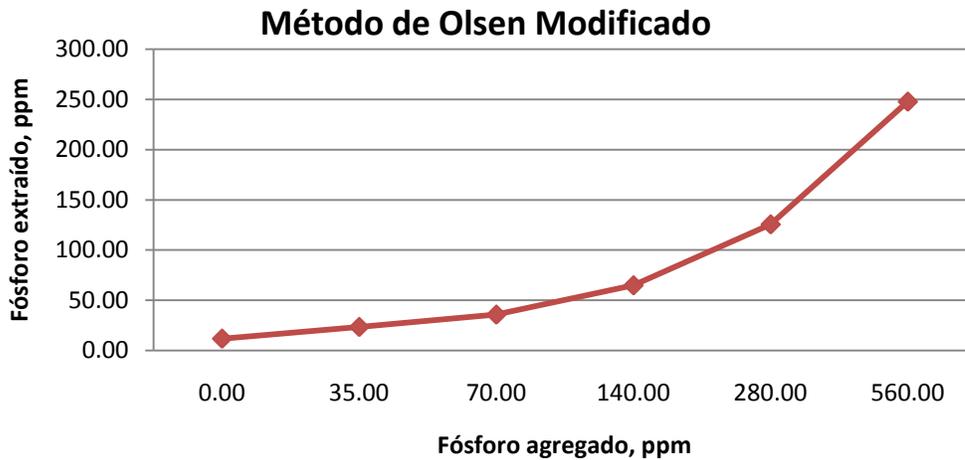


Figura 17 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Líbano

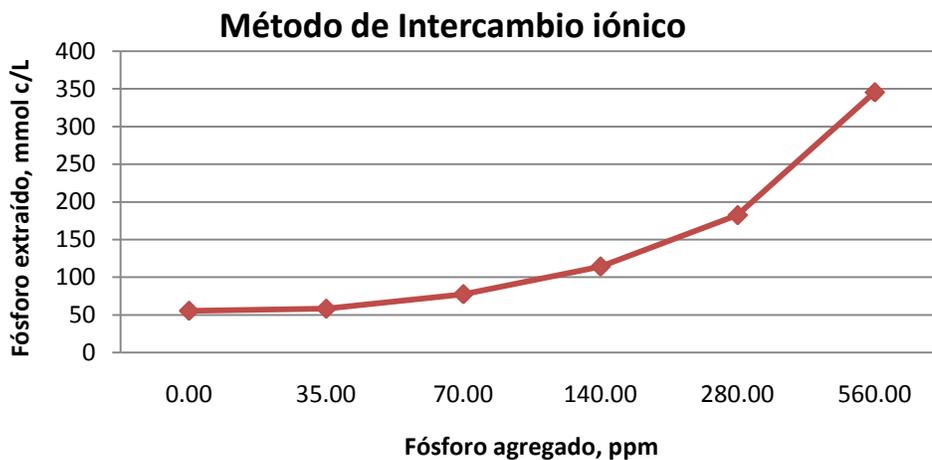


Figura 18 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. El Líbano

En la figura 19 y 20 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca La Conchita, ubicada en el municipio de Yepocapa,

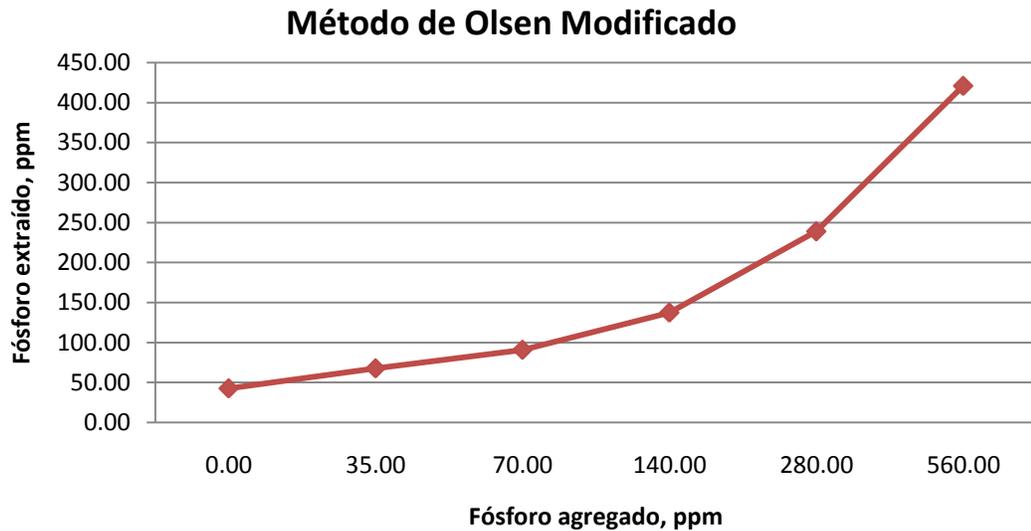


Figura 19 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. La Conchita

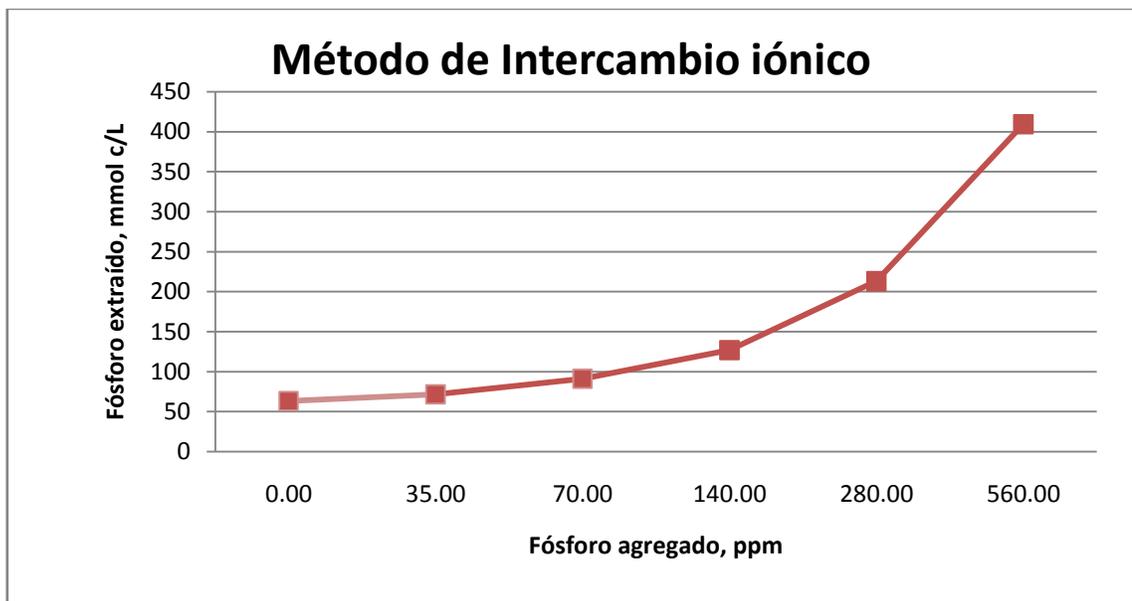


Figura 20 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. La Conchita

b) Escuintla

En el departamento de Escuintla se utilizó únicamente una finca debido a la representación de la zona en las áreas cafetaleras siendo esta perteneciente al municipio de San Vicente Pacaya, este departamento se caracteriza por poseer suelos de origen volcánico en los cuales se localizan los siguientes ordenes Molisoles, Inceptisoles, Entisoles y Andisoles. En la figura 21 y 22 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca La Estacas, ubicada en el municipio de San Vicente Pacaya.

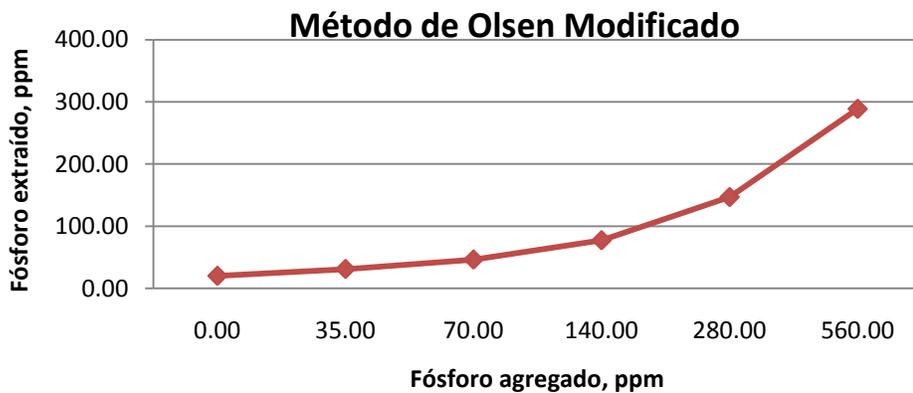


Figura 21 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Las Estacas

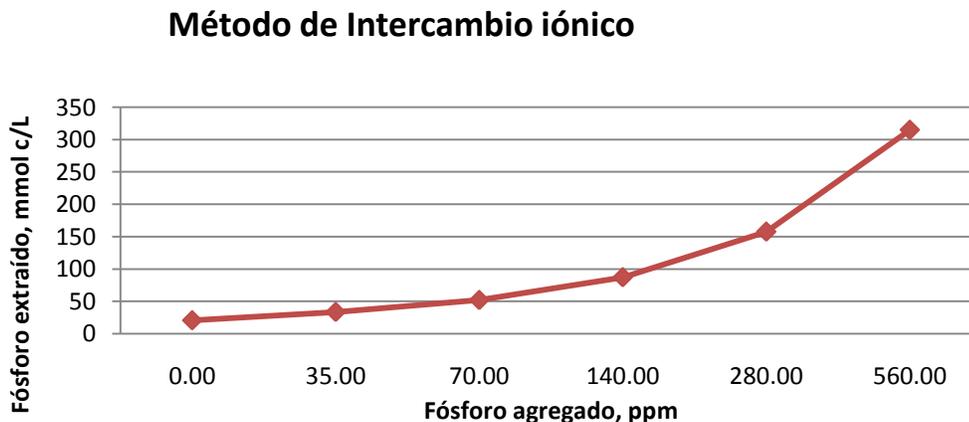


Figura 22 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. Las Estacas

c) Guatemala

En el departamento de Guatemala se seleccionaron tres fincas, distribuidas de la siguiente forma, dos en Villa Canales y una en Amatitlán. El departamento se caracteriza por poseer suelos de origen volcánico en los cuales se localizan los siguientes órdenes Alfisoles, Inceptisoles, Entisoles y Andisoles. En la figura 23 y 24 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca el Rincón, ubicada en el municipio de Amatitlán.

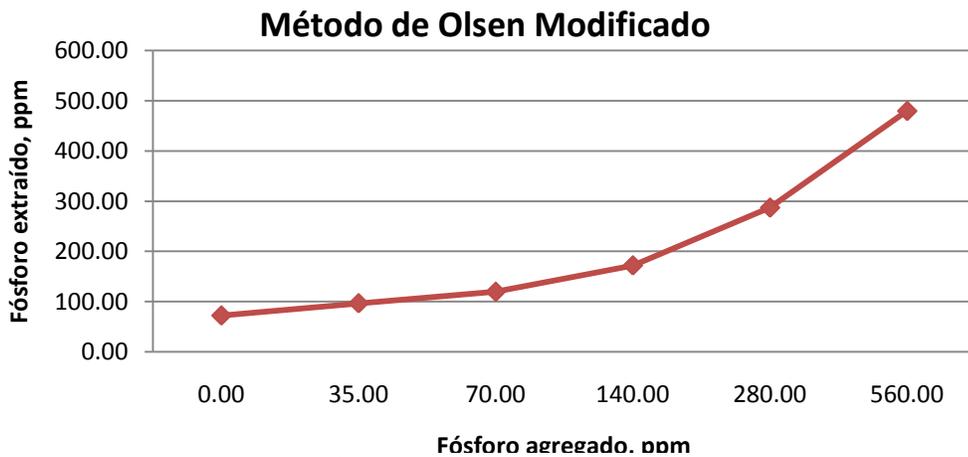


Figura 23 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Rincón

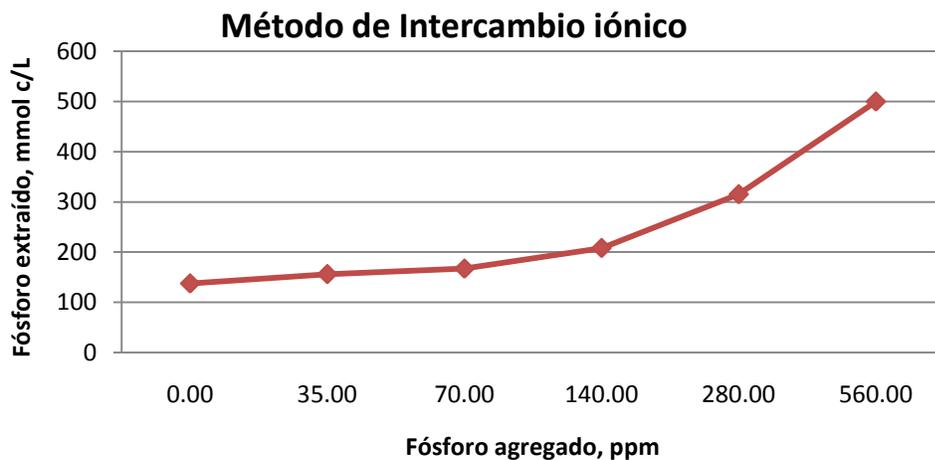


Figura 24 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Rincón

En la figura 25 y 26 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca el Retumbo, ubicada en el municipio de Villa Canales.

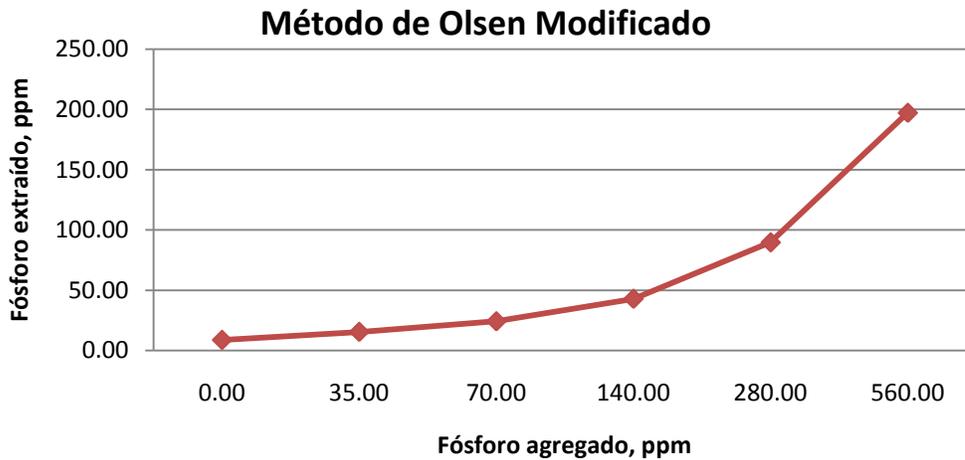


Figura 25 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Retumbo

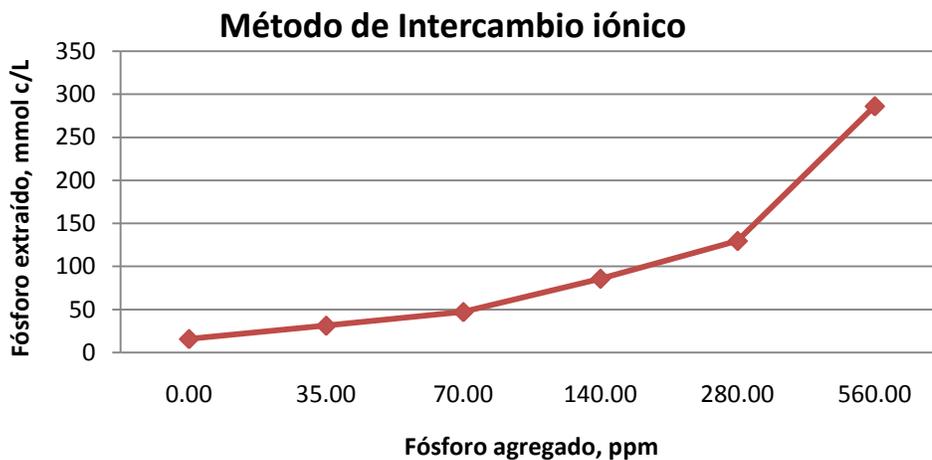


Figura 26 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Retumbo

En la figura 27 y 28 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca las Cachajinas, ubicada en el municipio de Villa Canales

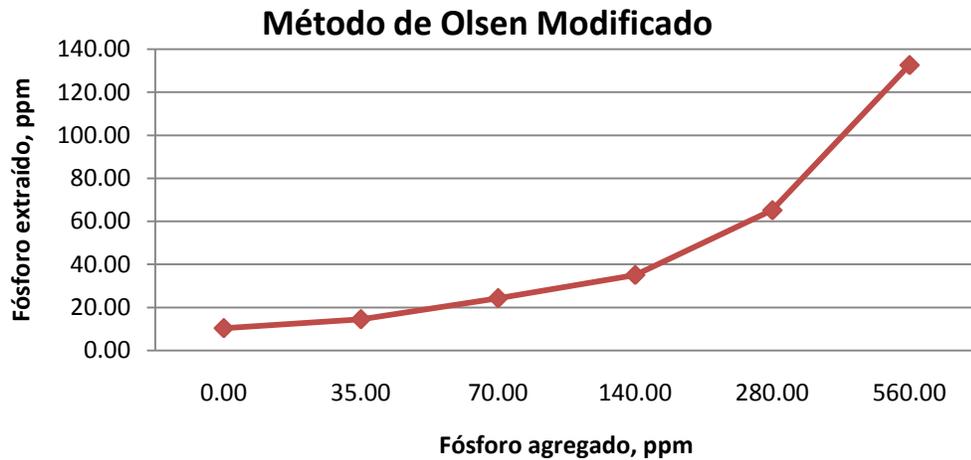


Figura 27 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Las Cachajinas

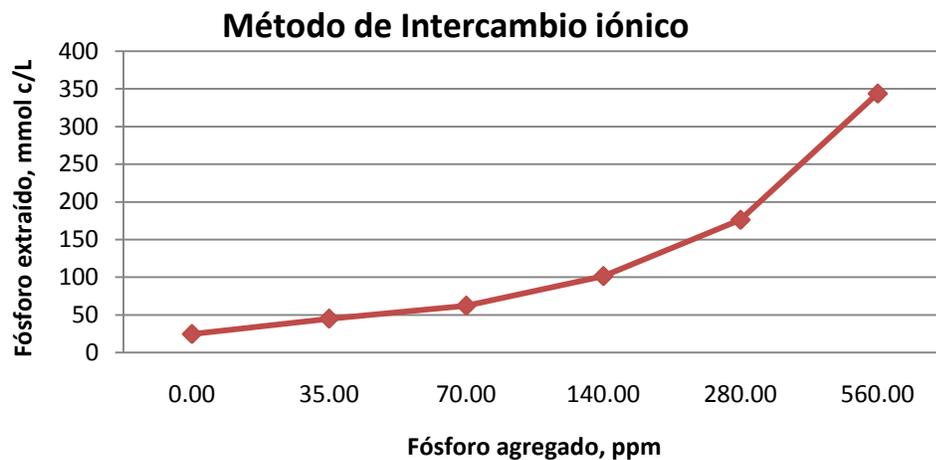


Figura 28 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Las Cachajinas

d) Sacatepéquez

En el departamento de Sacatepéquez se seleccionaron cuatro fincas, distribuidas de la siguiente forma, una en San Miguel Dueñas, dos en Jocotenango, Una en Ciudad Vieja. En este departamento se seleccionaron cuatro fincas debido a la importancia del departamento en la producción, tanto en cantidad como en calidad de café, el departamento se caracteriza por poseer suelos de origen volcánico en los cuales se localizan los siguientes órdenes Andisoles y Entisoles. En la figura 29 y 30 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca San Rafael Urías, ubicada en el municipio de San Miguel Dueñas.

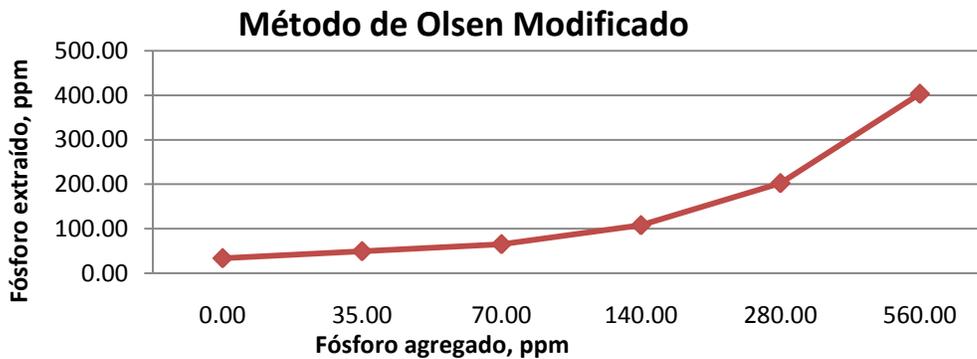


Figura 29 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. San Rafael Urías

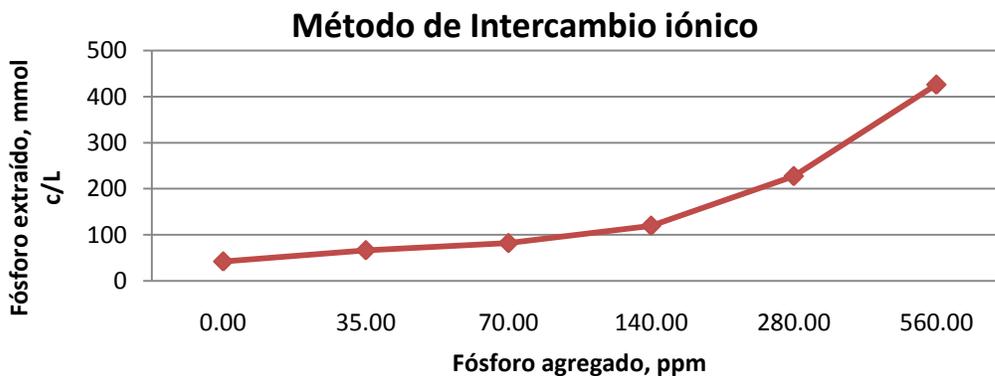


Figura 30 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. San Rafael Urías

En la figura 31 y 32 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca Bella Vista, ubicada en el municipio de Ciudad Vieja.

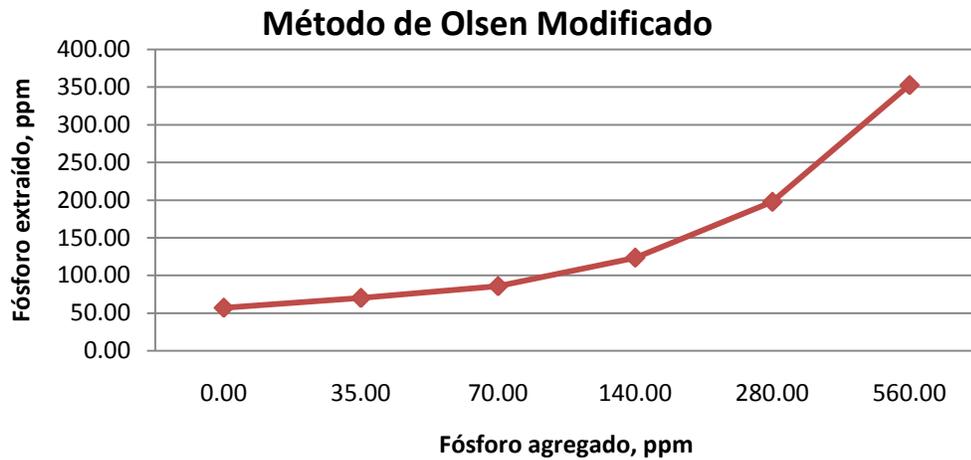


Figura 31 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Bella Vista

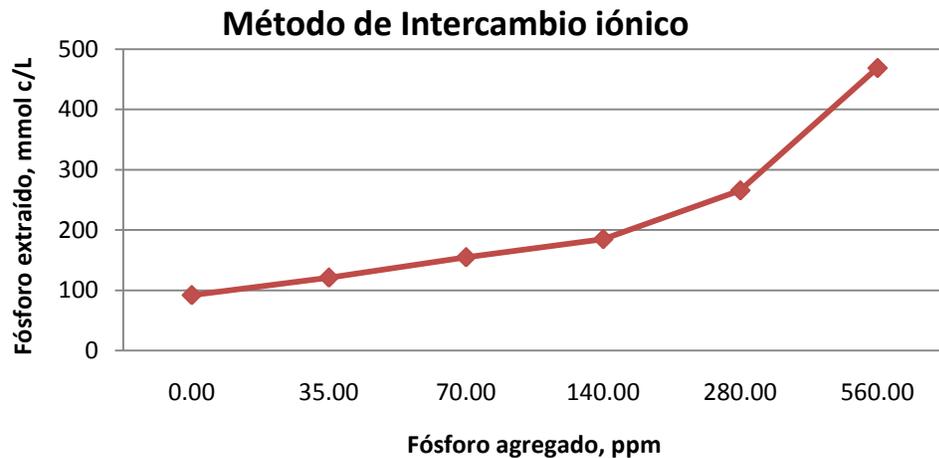


Figura 32 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Bella Vista

En la figura 33 y 34 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca la Follie, ubicada en el municipio de Jocotenango.

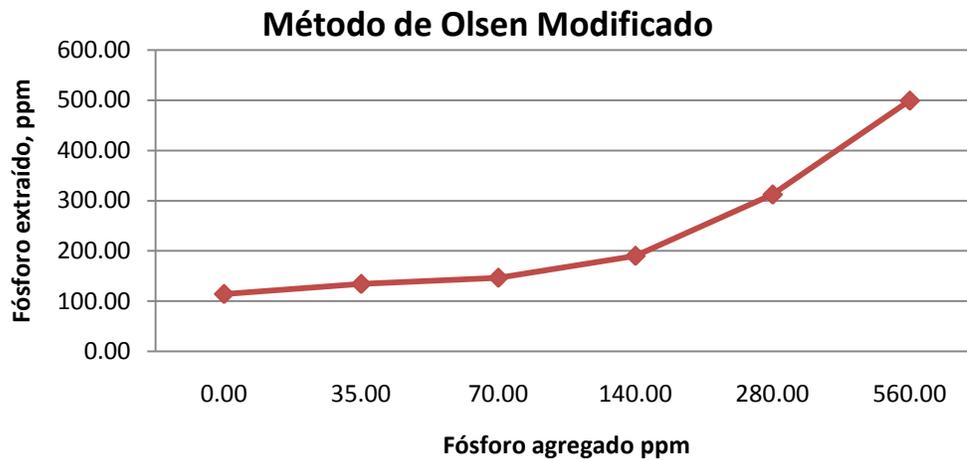


Figura 33 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. La Follie

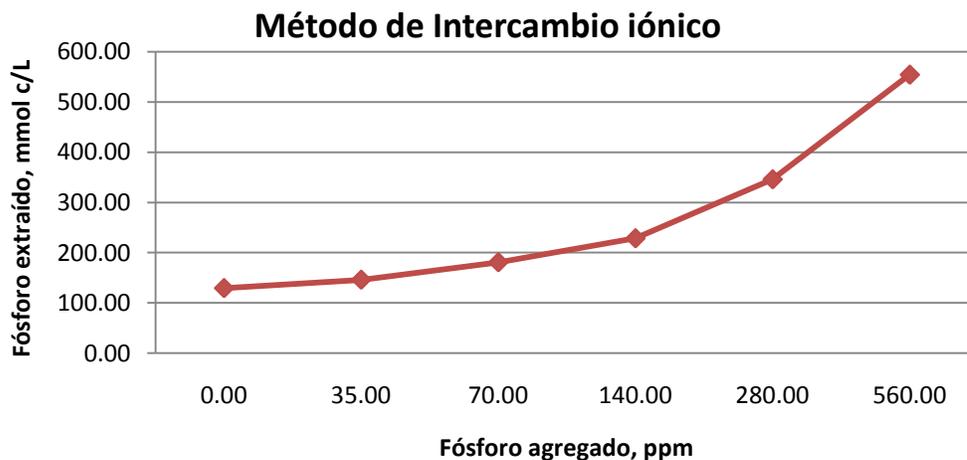


Figura 34 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. La Follie

En la figura 35 y 36 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca la Buena Vista, ubicada en el municipio de Jocotenango.

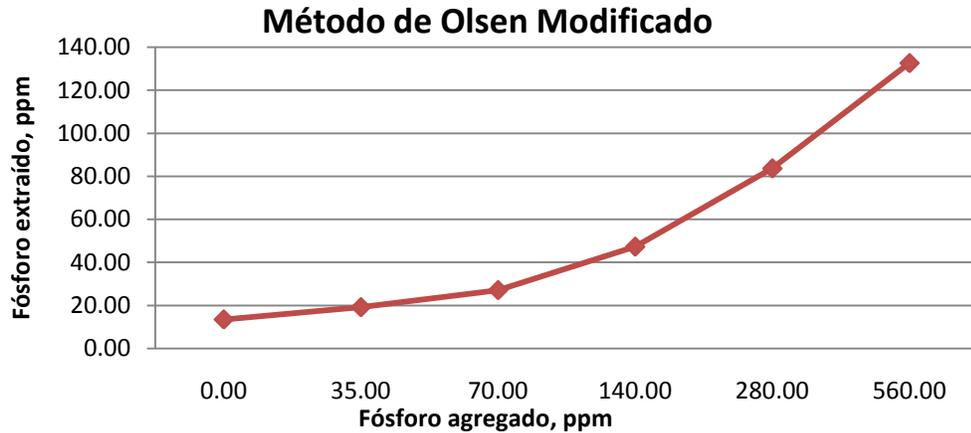


Figura 35 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Buena Vista

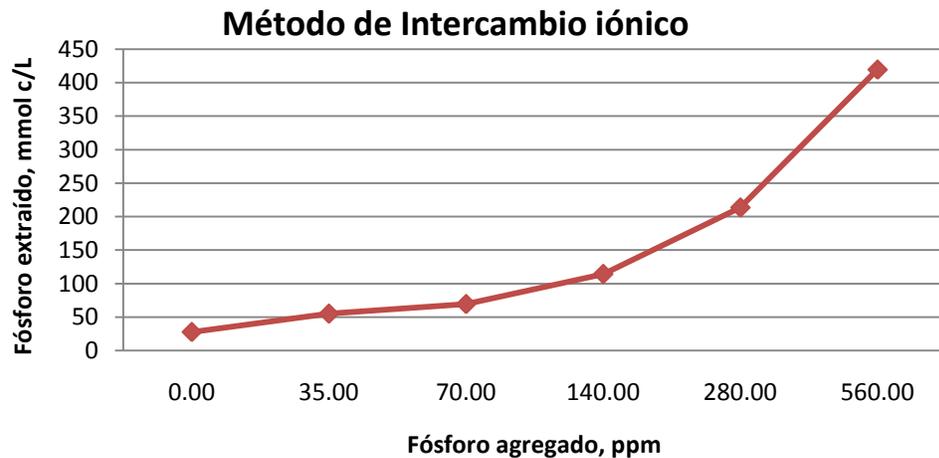


Figura 36 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Buena Vista

e) Santa Rosa

En el departamento de Santa Rosa se seleccionaron cuatro fincas, distribuidas de la siguiente forma, dos en Pueblo Nuevo Viñas, una Nueva Santa Rosa, Una en Santa Rosa de Lima. En este departamento se seleccionaron cuatro fincas debido a la importancia del departamento en la producción, tanto en cantidad como en calidad de café, el departamento se caracteriza por poseer los siguientes órdenes Andisoles, Entisoles, Molisoles, Ultisoles, Alfisoles y Vertisoles. En la figura 37 y 38 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca La Vega, ubicada en el municipio de Pueblo Nuevo Viñas.

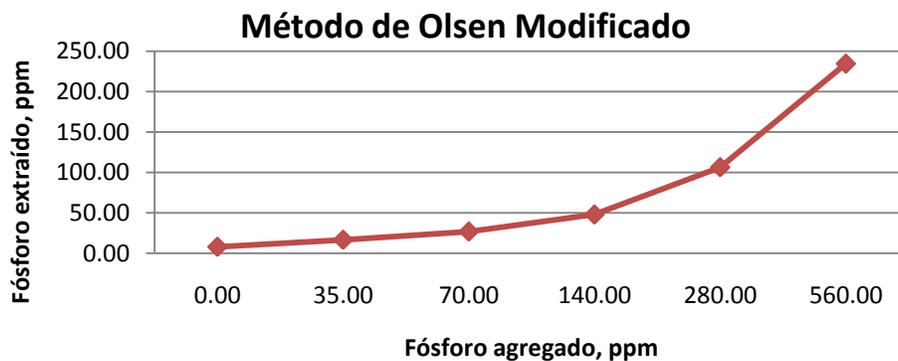


Figura 37 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. La Vega

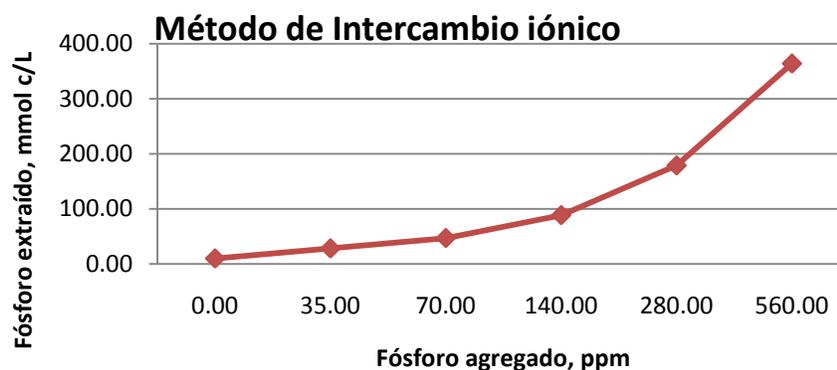


Figura 38 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas Intercambio Iónico, Fca. La Vega

En la figura 39 y 40 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca El Retiro, ubicada en el municipio de Pueblo Nuevo Viñas.

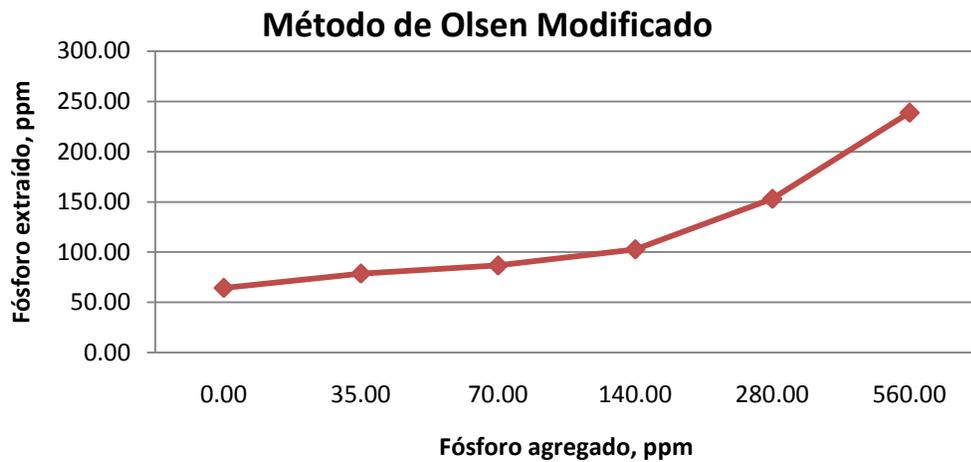


Figura 39 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Retiro

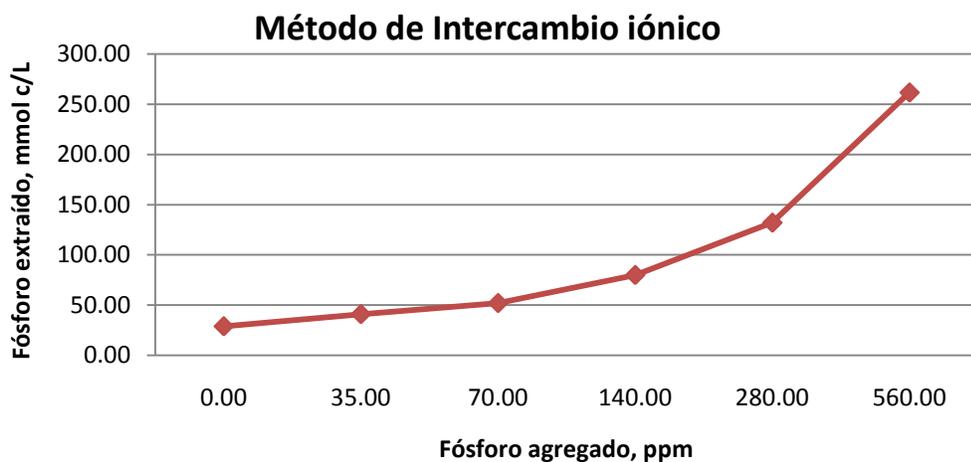


Figura 40 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Retiro

En la figura 41 y 42 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca El Zapote, ubicada en el municipio de Nueva Santa Rosa.

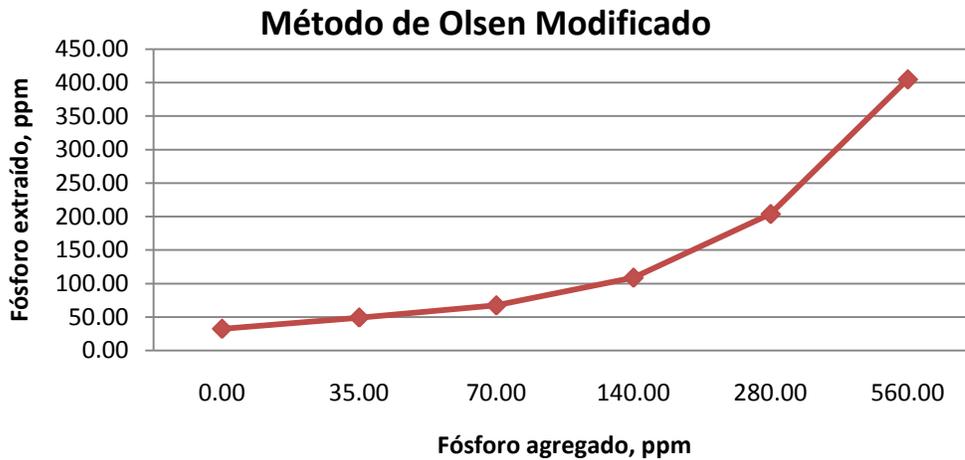


Figura 41 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Zapote

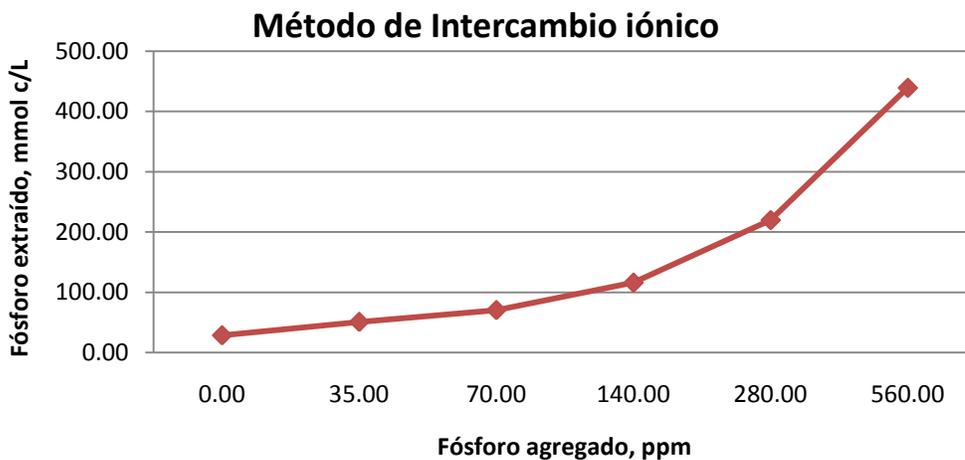


Figura 42 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Zapote

En la figura 43 y 44 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca El Recreo, ubicada en el municipio de Santa Rosa de Lima.

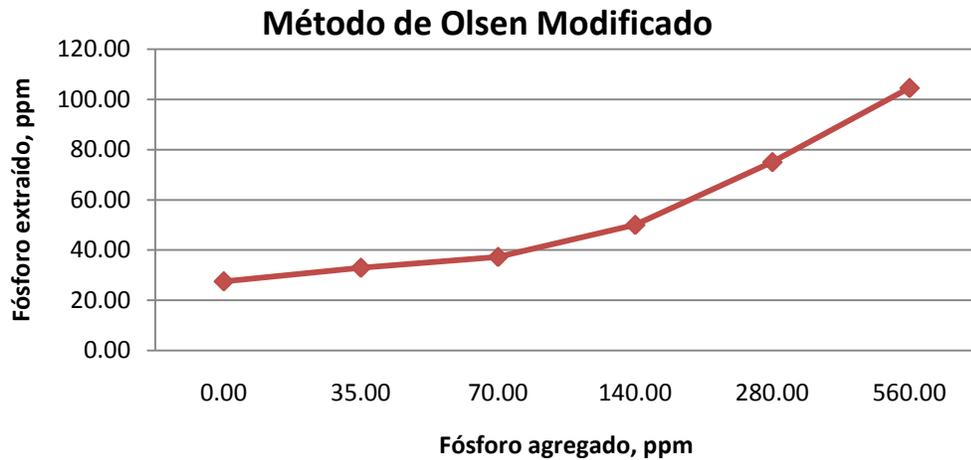


Figura 43 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. El Recreo

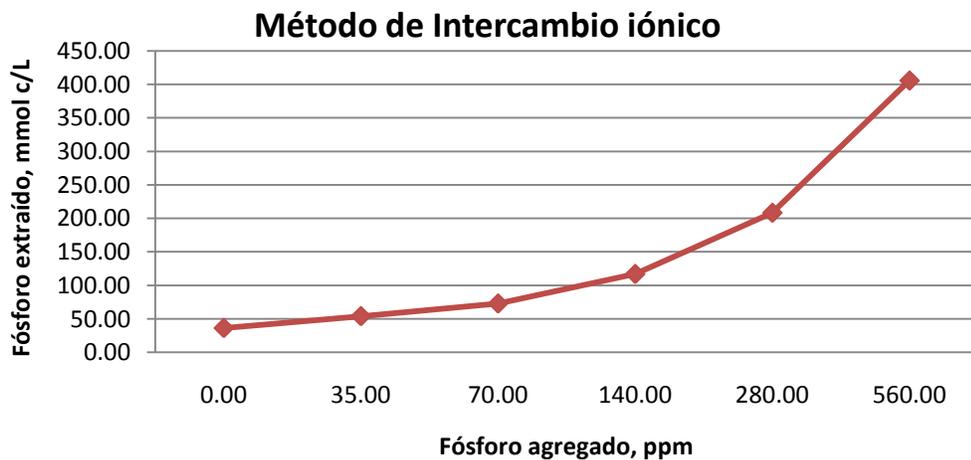


Figura 44 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. El Recreo

f) Jalapa

En el departamento de Jalapa se seleccionaron dos fincas, ambas ubicadas en Mataquescuintla, esto debido que Mataquescuintla es el municipio con mayor importancia en la región Cafetalera, el departamento se caracteriza por poseer suelos pertenecientes a los siguientes ordenes Inceptisoles, Vertisoles, Alfisoles, Molisoles y Andisoles. En la figura 45 y 46 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca Viscaya, ubicada en el municipio de Mataquescuintla.

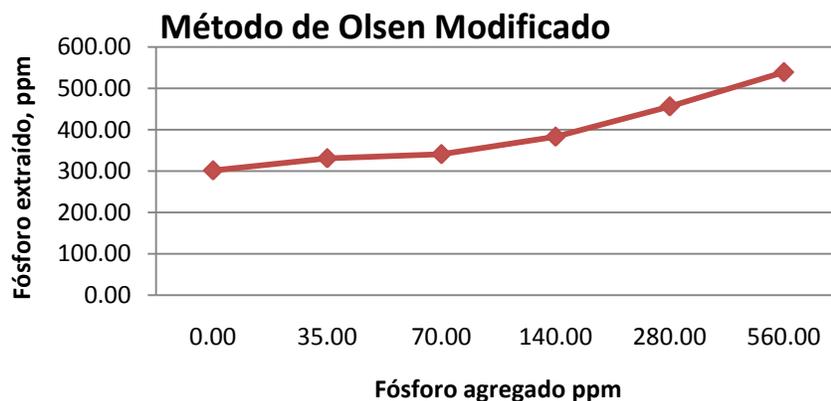


Figura 45 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Vizcaya

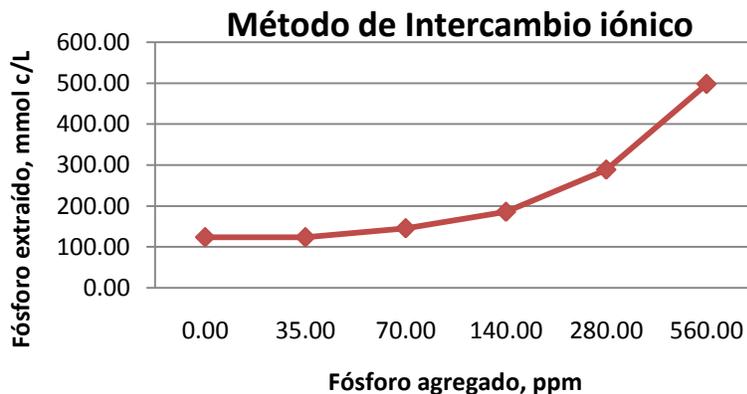


Figura 46 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Vizcaya

En la figura 47y 48 se muestra el comportamiento de la fijación de fósforo disponible en los suelos, determinado por solución extractora Olsen modificado y metodología de resinas de intercambio iónico de la finca Colina de San Jacinto, ubicada en el municipio de Mataquescuintla.

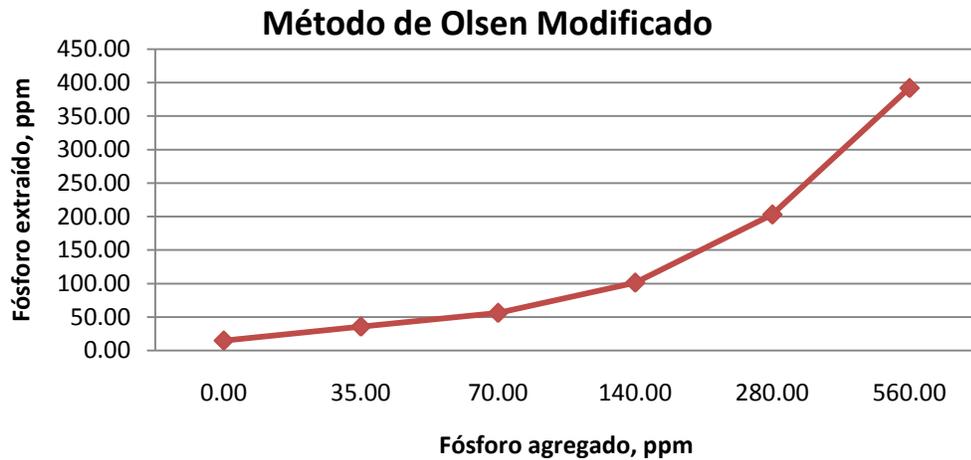


Figura 47 Curva de Fijación de Fósforo, Olsen modificado Fca. Colina de San Jacinto

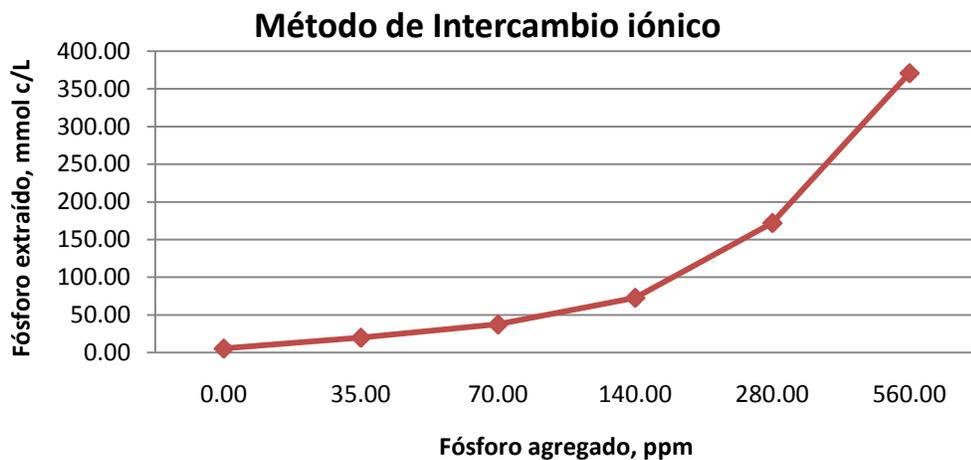


Figura 48 Curva de Fijación de Fósforo, Resinas de Intercambio Iónico, Fca. Colina San Jacinto

5.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Es por todas estas variaciones que presentan en los resultados de fósforo lábil, que este elemento ha retomado relevancia en sus metodologías de determinación en suelos, tanto internacionalmente como localmente, debido a esto ANALAB lo ha propuesto como un punto crítico tal y como se describió en el diagnóstico, y aunque aún no se ha tomado la decisión de cuál sería la mejor metodología para determinar la disponibilidad de este nutriente en los suelos, la metodología de resinas parece ser un excelente procedimiento, y ha sido bien aceptado por el laboratorio de rutina.

El funcionamiento de las metodologías se describe a continuación la metodología de Olsen modificado funciona generando una hidrólisis de fósforo en un pH elevado: utilizando el principio de la solubilización de compuestos de fósforo complejados con aluminio, hierro y calcio, esta solución presenta un defecto que es la mayor extracción de fósforo que se encuentra asociado a fosfatos de hierro y aluminio. Lo cual es totalmente distinto al funcionamiento de la resina de intercambio iónico, ya que esta funciona de la misma forma en que funciona una raíz, simulando el principio de difusión generado por el movimiento de la agitación de 16 horas manteniendo en contacto la resina con el suelo y agua.

En el cuadro 12 se muestran los porcentajes de fijación para cada uno de los métodos y para cada una de las muestras bajo estudio, donde se refleja una tendencia a mayor fijación de fósforo disponible con la solución extractora Olsen modificado, lo cual dará como resultado una recomendación de fertilización con una mayor incorporación de fósforo, lo cual sería erróneo. Esta decisión está respaldada según Van Raij 2001. Debido a que la solución Olsen modificado posee un coeficiente de correlación con los índices biológicos para la determinación de fósforo disponible de 47 y 52% para suelos

ácidos y básicos respectivamente, comparado con la metodología de resinas de intercambio iónico que posee un coeficiente de correlación de 84 y 83 % en suelos ácidos y básicos respectivamente, aunque estos resultados no son evidencia suficiente para decidir cuál de las metodologías es un mejor estimador de fósforo disponible, nos da una tendencia de los resultados.

Es necesario llevar en campo un experimento a nivel invernadero y luego a nivel de campo donde se pueda realizar una correlación de la concentración de fósforo disponible con el crecimiento en biomasa de una planta indicadora,

Cuadro 13 Porcentaje de fijación de fósforo disponible extraído con Olsen modificado y Resinas de intercambio iónico en todas las fincas Bajo estudio

| Finca | % de fijación Olsen Modificado | % de fijación resinas de intercambio iónico | Diferencia |
|--------------------|--------------------------------|---|------------|
| San Martin | 75.79 | 53.08 | 22.71 |
| Santa Elena | 63.95 | 43.22 | 20.73 |
| El Líbano | 62.38 | 64.34 | -1.96 |
| La conchita | 30.82 | 55.19 | -24.37 |
| Las Estacas | 59.4 | 53.94 | 5.46 |
| El Rincón | 28.45 | 45.3 | -16.85 |
| El Retumbo | 74.41 | 54.45 | 19.96 |
| Las Cachajinas | 81.85 | 44.38 | 37.47 |
| San Rafael Urías | 46.28 | 36.64 | 9.64 |
| Bella Vista | 54.25 | 26.26 | 27.99 |
| La Folié | 40.61 | 31.01 | 9.6 |
| Buena Vista | 78.74 | 32.73 | 46.01 |
| La Vega | 68.76 | 42.95 | 25.81 |
| EL Retiro | 67.44 | 63.53 | 3.91 |
| El Zapote | 44 | 34.57 | 9.43 |
| El Recreo | 84.78 | 42.44 | 42.34 |
| Vizcaya | 40.74 | 59.79 | -19.05 |
| Colina San Jacinto | 37.07 | 48.09 | -11.02 |

3.5 CONCLUSIONES

1. Las áreas bajo estudio se seleccionaron de acuerdo al grado de importancia para la producción de café, siendo estas la región III y IV.
2. La preparación de muestra consistió en secado, molido y tamizado de muestra para cada una de las metodologías.
3. Se determinó la concentración de fósforo por el método de Olsen modificado y por extracción de resinas de intercambio iónico.
4. Se realizaron las distintas curvas de fijación para cada uno de los métodos de extracción de fósforo, ambas metodologías poseen un comportamiento típico de una curva de fijación de fósforo, el 72% de los suelos analizados presentaron un mayor índice de fijación con la solución Olsen modificado en comparación con la metodología de resinas de intercambio iónico.

3.6 RECOMENDACIÓN

Llevar a cabo la correlación de las soluciones a nivel de campo, para poder determinar qué solución posee una mejor determinación de fósforo disponible, con lo cual se podrá determinar de una mejor manera el aporte de fertilizantes hacia los cultivos.

3.7 EVALUACION DE SERVICIO.

La evaluación se realizó en las 2 regiones de mayor importancia, siendo estas la región III y IV, se evaluaron 12 fincas de la región III y 6 fincas de la región IV, cada una de las muestras se realizaron las curvas de fijación , llegando con esto a un 100% de alcance del servicio propuesto.

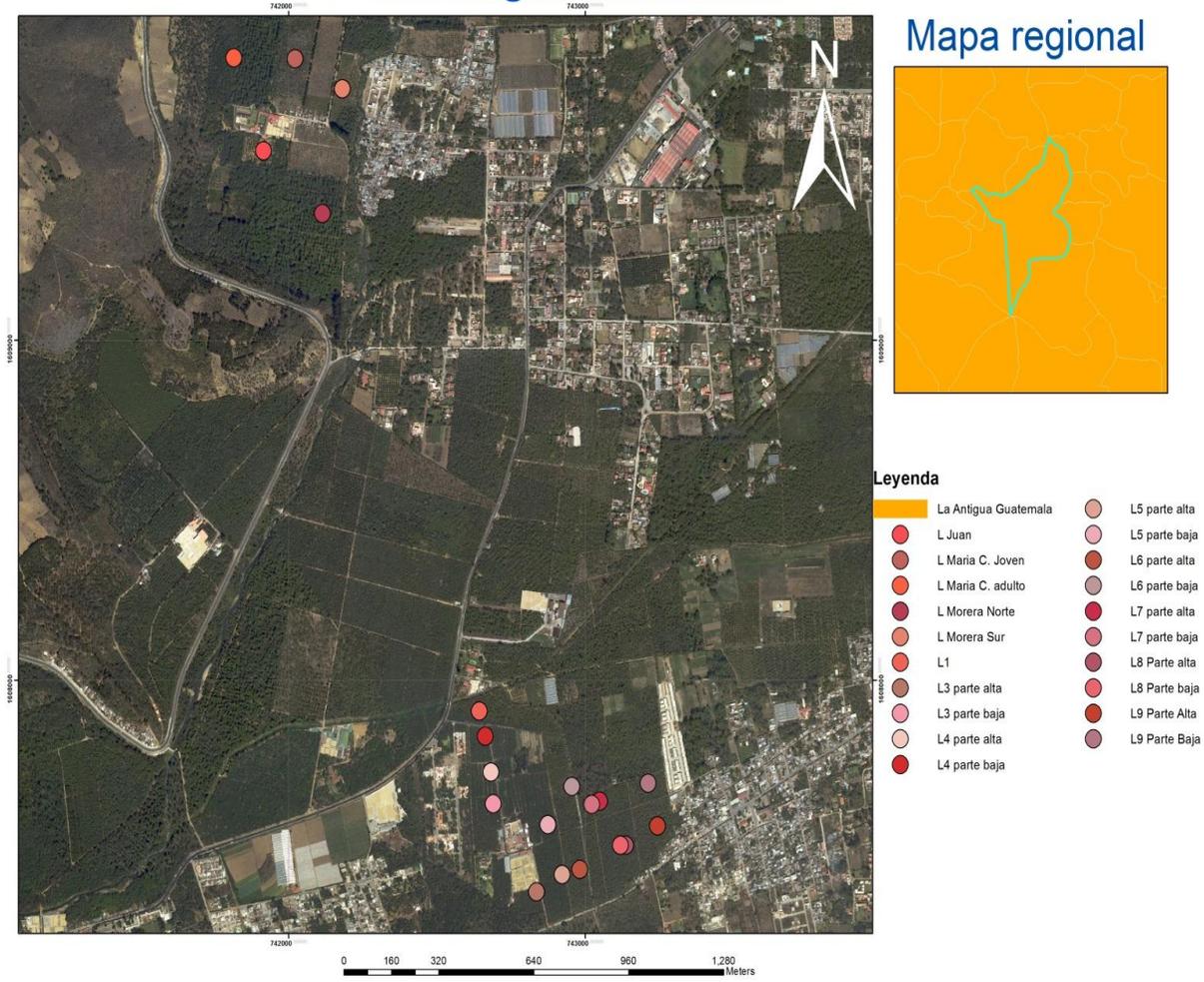
3.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Arias, M; Silva, C; JasGarcia-Rio, L; Mejuto, J; Núñez, A. 2006. Retention of phosphorus by iron and aluminum-oxides-coated quartz particles. *Journal of Colloid and Interface Science*295(1):65-70.
2. Díaz R, R; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 61 p.
3. Fassbender, H. 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana*3(1-2):203-216.
4. Hurtarte, M. 1984. Determinación del nivel crítico de fósforo en serie de suelos Chica, la Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades, Departamento Ciencias Agrícolas. 42 p.
5. Van Raij, B; Andrade, JC; Cantarella, H. Y Quaggio, J. A. 2001. Análisis química para avaliacao da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Brasil, Instituto Agronómico. 285 p.

3.9 ANEXOS

Anexo 1 Ubicación de los puntos de muestreo

Mapa de geoposicionamiento de puntos de muestreo La Antigua Guatemala



Anexo 2 Resultados de Análisis de Suelo

| Identificación de la Muestra | Coordenadas | | pH | P | K | Ca | Mg | Al | Cu | Fe | Mn | Zn | M.O. |
|-------------------------------------|--------------|--------------|-----|--------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| | Latitud | Longitud | | | | | | | | | | | |
| | mg/L | Cmol (+)/L | | | | | | | | | | | |
| Lote#9 parte alta Fca. Bella Vista | 14°31'48.26" | 90°44'34.42" | 6.3 | 55.2 | 1.07 | 6.94 | 2.50 | 0.13 | 1.18 | 161 | 3.62 | 10.06 | 9.69 |
| Lote #9 parte baja Fca. Bella Vista | 14°31'52.35" | 90°44'35.43" | 6.1 | 69.6 | 0.93 | 7.91 | 1.80 | 0.10 | 1.50 | 159 | 3.45 | 9.8 | 10.4 |
| Lote #8 parte alta Fca. Bella Vista | 14°31'46.46" | 90°44'38" | 6.3 | 63.7 | 1.10 | 5.80 | 1.68 | 0.11 | 1.46 | 167 | 4.01 | 11.2 | 8.72 |
| Lote #8 parte baja Fca. Bella Vista | 14°31'50.67" | 90°44'38.55" | 5.9 | 48.60 | 1.02 | 6.96 | 1.57 | 0.09 | 1.59 | 156 | 3.99 | 12.1 | 8.64 |
| Lote #7 parte alta Fca. Bella Vista | 14°31'43.21" | 90°44'40.98" | 6.0 | 51.3 | 0.97 | 10.2 | 3.43 | 0.07 | 1.89 | 187 | 4.01 | 11.10 | 9.43 |
| Lote #7 parte baja Fca. Bella Vista | 14°31'50.41" | 90°44'41.79" | 5.8 | 62.1 | 1.04 | 8.97 | 2.36 | 0.12 | 1.75 | 167 | 3.02 | 10.4 | 8.78 |
| Lote #6 parte alta Fca. Bella Vista | 14°31'44.21" | 90°44'43.2" | 5.9 | 53.34 | 0.87 | 9.80 | 3.22 | 0.11 | 1.66 | 133 | 2.98 | 9.78 | 9.30 |
| Lote #6 parte baja Fca. Bella Vista | 14°31'52.11" | 90°44'44.03" | 5.7 | 73.1 | 0.74 | 10.1 | 3.75 | 0.08 | 1.90 | 165 | 3.23 | 8.90 | 8.90 |
| Lote #5 parte alta Fca. Bella Vista | 14°31'43.71" | 90°44'45.19" | 5.9 | 59.6 | 0.67 | 9.75 | 2.76 | 0.07 | 1.65 | 178 | 3.56 | 9.9 | 7.80 |
| Lote #5 parte baja Fca. Bella Vista | 14°31'48.5" | 90°44'46.72" | 5.9 | 62.1 | 0.78 | 11.2 | 3.02 | 0.09 | 1.89 | 180 | 3.27 | 9.67 | 8.67 |
| Lote #4 parte alta Fca. Bella Vista | 14°31'53.61" | 90°44'53.09" | 5.8 | 60.24 | 0.86 | 15.3 | 4.23 | 0.12 | 1.79 | 167 | 3.06 | 12.1 | 8.94 |
| Lote #4 parte baja Fca. Bella Vista | 14°31'57.01" | 90°44'53.72" | 6.0 | 61.5 | 0.82 | 13.2 | 2.90 | 0.04 | 1.82 | 166 | 3.54 | 11.2 | 7.90 |
| Lote #3 parte alta Fca. Bella Vista | 14°31'42.08" | 90°44'48.09" | 5.8 | 56.7 | 0.92 | 11.8 | 3.12 | 0.12 | 1.64 | 172 | 3.22 | 10.9 | 10.1 |
| Lote #3 parte baja Fca. Bella Vista | 14°31'50.57" | 90°44'52.88" | 5.9 | 90 | 0.88 | 12.4 | 3.4 | 0.10 | 1.72 | 186 | 3.20 | 9.8 | 9.80 |
| Lote #1 Fca. Bella Vista | 14°31'59.44" | 90°44'54.35" | 5.9 | 54.5 | 0.70 | 9.90 | 2.68 | 0.12 | 1.68 | 164 | 2.90 | 10.1 | 8.4 |
| Lote Juan Centro Fca. Retana | 14°32'53.27" | 90°45'18.09" | 6.5 | 63.52 | 1.09 | 6.94 | 1.71 | 0.02 | 2.34 | 68 | 5.11 | 5.14 | 8.80 |
| Lote Morera Sur Fca. Retana | 14°32'59.1" | 90°45'9.14" | 5.8 | 171.80 | 0.98 | 6.27 | 1.86 | 0.05 | 0.83 | 105 | 3.34 | 5.68 | 10.6 |
| Lote Morera Norte Fca. Retana | 14°32'47.23" | 90°45'11.54" | 5.7 | 149.58 | 1.05 | 7.59 | 1.50 | 0.03 | 1.78 | 84.90 | 2.67 | 5.54 | 6.88 |
| Lote Maria Centro Joven Fca. Retana | 14°33'2.05" | 90°45'14.47" | 5.9 | 72.66 | 0.86 | 9.71 | 1.77 | 0.02 | 2.34 | 76.70 | 9.30 | 5.30 | 7.08 |
| Lote Maria Centro Adulto Fca Retana | 14°33'2.22" | 90°45'21.35" | 6.1 | 117.11 | 0.91 | 7.14 | 1.77 | 0.03 | 2.54 | 113 | 6.66 | 5.46 | 7.37 |

Anexo 3: Clasificación textural de los suelos.

| Nombre de la Finca | Clase Textural | Localización | |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|-------------|
| Finca Retana | Franco Arenoso | N14° 32.941 | W90° 45.234 |
| Finca Bella Vista | Franco | N14° 31.395 | W90° 44.465 |