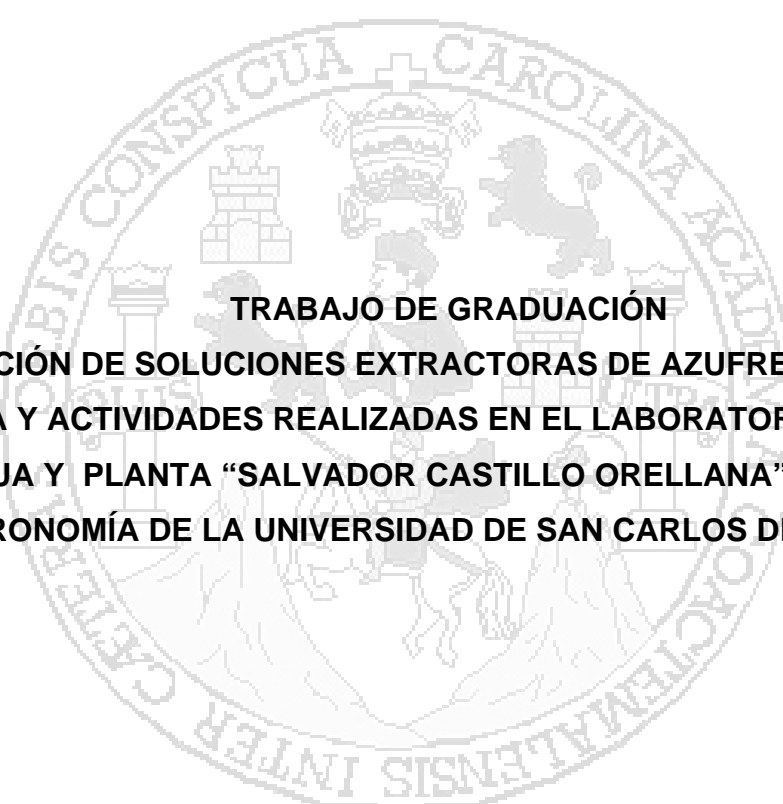


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN  
EVALUACIÓN DE SOLUCIONES EXTRACTORAS DE AZUFRE EN SUELOS DE  
GUATEMALA Y ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE  
SUELO, AGUA Y PLANTA “SALVADOR CASTILLO ORELLANA” DE LA FACULTAD  
DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**AUGUSTO ROGELIO PACHECO CABRERA**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008**

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

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE SOLUCIONES EXTRACTORAS DE AZUFRE EN SUELOS DE  
GUATEMALA Y ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE  
SUELO, AGUA Y PLANTA “SALVADOR CASTILLO ORELLANA” DE LA FACULTAD  
DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

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

**POR**

**AUGUSTO ROGELIO PACHECO CABRERA**

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

**EN**

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**EN EL GRADO ACADEMICO DE  
LICENCIADO**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008**

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

**RECTOR MAGNIFICO**

LIC. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

|               |   |
|---------------|---|
| DECANO        | MSc. Francisco Vásquez Vásquez          |
| VOCAL PRIMERO | Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes          |
| VOCAL SEGUNDO | Ing. Agr. Walter Antonio Reyes Sanabria |
| VOCAL TERCERO | MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila        |
| VOCAL CUARTO  | Br. Rigoberto Morales Ventura           |
| VOCAL QUINTO  | Br. Miguel Armando Salazar Donis        |
| SECRETARIO    | MSc. Edwin Enrique Cano Morales         |

Guatemala, Noviembre 4 de 2008

Guatemala, Noviembre 4 de 2008

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecida por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE SOLUCIONES EXTRACTORAS DE AZUFRE EN SUELOS DE GUATEMALA Y ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO, AGUA Y PLANTA “SALVADOR CASTILLO ORELLANA” DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Augusto Rogelio Pacheco Cabrera

## **ACTO QUE DEDICO**

**A**

### **DIOS**

Por ser mi todo y por haberme permitido llegar al final de mi carrera.

### **MIS PADRES**

Agustín Domingo Pacheco García y Ada Dina Hernández Mijangos por su sabia guianza y apoyo incondicional.

### **MIS HERMANOS**

Alexander Pacheco, David Pacheco, Guisela Pacheco y Sergio Pacheco por su comprensión brindada.

### **MI FUTURA ESPOSA**

Alejandra Segura por ser especial y apoyar mis decisiones.

### **El Ing. Agr. Aníbal Sacbajá**

Como muestra de agradecimiento en su labor de formación hacia mi persona.

### **LABORATORIO “SALVADOR CASTILLO ORELLANA”**

Por formar parte importante en el proceso de mi formación profesional.

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO**

**A**

### **DIOS**

Majestuoso creador de todo cuanto existe.

### **MIS PADRES**

Agustín Domingo Pacheco García y Ada Dina Hernández Mijangos por brindarme la oportunidad de ser un profesional.

### **MIS HERMANOS**

Daniel Alexander, Domingo David, Elida Guisela y Sergio Francisco, como una muestra de superación.

### **MI FUTURA ESPOSA**

Alejandra Segura por su apoyo incondicional.

### **El Ing. Agr. Aníbal Sacbajá**

Por ser un profesional digno de imitar.

### **LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Por ser la precursora del conocimiento que ahora me hace ser un profesional.

### **LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Por ser mi casa de estudios profesionales.

### **GUATEMALA**

Bella tierra privilegiada por la gracia de Dios, lugar donde nací.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A**

### **DIOS**

Por ser mi razón de vivir, pues nada hubiera alcanzado si El no estuviera a mi lado.

### **MIS PADRES**

Por guiarme sabiamente en el transcurrir de mi vida y por brindarme su amor, ayuda y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

### **MIS HERMANOS**

Por apoyarme de forma desinteresada en los momentos difíciles.

### **MI FUTURA ESPOSA**

Por su amor y comprensión brindado hacia mi persona y por estar conmigo en los buenos y malos momentos de mi carrera.

### **Ing. Agr. Aníbal Sacbajá**

Por su sincera amistad e importante apoyo brindado en el transcurso de mi formación profesional.

**PERSONAL DEL LABORATORIO “SALVADOR CASTILLO ORELLANA”** Inga. Agr. Celena Carias, Ing. Agr. Norvin Ramos, Br. Ranferí Ampudia y Romael Alfaro por acogerme en dicho lecho de trabajo.

### **MIS ASESORES**

Ing. Agr. Aníbal Sacbajá e Ing. Agr. Iván Santos por sus consejos brindados.

### **A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN**

En especial a Juan Cecilio Palencia y Mario Alberto Agreda, por demostrarme su compañerismo y verdadero apoyo como amigos.

# ÍNDICE GENERAL

| CONTENIDO   | PÁGINA |
|---|--------|
| INDICE GENERAL  | i      |
| ÍNDICE DE FIGURAS   | iv     |
| ÍNDICE DE CUADROS   | v      |
| RESUMEN   | vi     |
| CAPÍTULO I  |        |
| DIAGNÓSTICO GENERAL DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO<br>AGUA Y PLANTA "SALVADOR CASTILLO" DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA .....         | 1      |
| 1.1 Presentación.....   | 2      |
| 1.2 Marco Referencial.....  | 3      |
| 1.2.1 Ubicación .....   | 3      |
| 1.2.2 Instalaciones .....   | 3      |
| 1.3 Objetivos.....  | 4      |
| 1.4 Metodología .....   | 5      |
| 1.4.1 Fase inicial de gabinete.....   | 5      |
| 1.4.2 Fase de obtención de la información:.....   | 5      |
| 1.4.3 Elaboración del informe final: .....  | 5      |
| 1.5 Resultados.....   | 6      |
| 1.5.1 Antecedentes históricos .....   | 6      |
| 1.5.2 Organización interna del laboratorio .....  | 10     |
| 1.5.3 Recursos humanos, físicos y equipo con que cuenta el laboratorio de<br>análisis de Suelo, Agua y Planta "Salvador Castillo" ..... | 11     |
| 1.5.4.1 Recursos humanos.....   | 11     |
| 1.5.4.2 Físicos .....   | 11     |
| 1.5.4.3 Equipo .....  | 12     |
| 1.5.5 Servicios que presta.....   | 13     |
| 1.5.5.1 Análisis de Suelo .....   | 13     |
| 1.5.5.2 Análisis de Planta .....  | 13     |
| 1.5.5.3 Análisis de Agua.....   | 14     |
| 1.5.5.4 Análisis de Fertilizantes granulados y Líquidos .....   | 14     |
| 1.5.5.5 Análisis de cales.....  | 14     |
| 1.5.5.6 Análisis de materiales orgánicos .....  | 14     |
| 1.5.5.7 Identificación de Rocas y Minerales. ....   | 14     |
| 1.5.5.8 Otros servicios: .....  | 14     |
| 1.5.5.9 Problemas encontrados .....   | 15     |
| 1.6 Conclusiones .....  | 16     |
| 1.7 Recomendaciones .....   | 17     |
| 1.8 Bibliografía.....   | 18     |



|  |    |
|--|----|
| CAPITULO II INVESTIGACIÓN  |    |
| EVALUACIÓN DE TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS DE AZUFRE                            |    |
| EN DIECINUEVE SUELOS DE GUATEMALA EN INVERNADERO.....                          | 19 |
| 2.1 Presentación.....  | 20 |
| 2.2 Marco Conceptual.....  | 21 |
| 2.2.1 Marco Teórico .....  | 21 |
| 2.2.1.1 El azufre en la planta .....   | 21 |
| 2.2.1.2 Absorción de azufre por la planta .....                                | 21 |
| 2.2.1.3 Azufre en el suelo .....   | 22 |
| 2.2.1.4 Análisis de suelo.....   | 23 |
| 2.2.1.5 Solución extractora .....  | 23 |
| 2.2.1.6 Soluciones extractoras utilizadas para extraer azufre .....            | 24 |
| 2.2.1.7 Nivel crítico .....  | 25 |
| 2.2.1.8 Método de correlación .....  | 25 |
| 2.2.1.9 Método gráfico de Cate y Nelson.....                                   | 26 |
| 2.2.1.10 Planta indicadora .....   | 27 |
| 2.2.2 Marco referencial .....  | 28 |
| 2.2.2.1 Antecedentes de investigación relacionados con la extracción azufre en |    |
| suelos de Guatemala .....  | 28 |
| 2.2.2.2 Antecedentes de investigaciones internacionales .....                  | 28 |
| 2.2.2.3 Descripción del área experimental.....                                 | 29 |
| 2.3. Objetivos.....  | 32 |
| 2.3.1 General .....  | 32 |
| 2.3.2 Específicos.....   | 32 |
| 2.4 Hipótesis .....  | 33 |
| 2.5 Metodología .....  | 34 |
| 2.5.1 Selección de muestras .....  | 34 |
| 2.5.2 Muestreo .....   | 34 |
| 2.5.3 Preparación de las muestras.....   | 34 |
| 2.5.4 Determinaciones físicas y químicas de las muestras de suelo .....        | 35 |
| 2.5.5 Análisis químico para la determinación de azufre .....                   | 35 |
| 2.5.5.1 Descripción de las metodologías utilizadas para la determinación de    |    |
| azufre disponible en suelo .....   | 35 |
| 2.5.5.2 Cuantificación de azufre .....   | 36 |
| 2.5.6 Metodología experimental .....   | 37 |
| 2.5.6.1 Fase de invernadero.....   | 37 |
| 2.5.6.2 Diseño experimental .....  | 38 |
| 2.5.6.3 Tratamientos evaluados .....   | 38 |
| 2.5.6.4 Unidad experimental.....   | 38 |
| 2.5.7 Variable evaluada.....   | 38 |
| 2.5.7.1 Materia seca expresada en rendimiento relativo (RR).....               | 38 |
| 2.5.8 Manejo agronómico.....   | 38 |
| 2.5.8.1 Aplicación de elementos al suelo.....                                  | 38 |
| 2.5.8.2 Siembra .....  | 38 |
| 2.5.8.3 Riego .....  | 39 |
| 2.5.8.4 Raleo .....  | 39 |
| 2.5.8.5 Aplicación de nitrógeno .....  | 39 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.5.8.6 Cosecha .....  | 39        |
| 2.5.8.7 Cuantificación de materia seca.....  | 39        |
| 2.5.9 Análisis de la información.....  | 39        |
| 2.5.9.1 Estudio de correlación .....   | 39        |
| 2.5.9.2 Determinación del nivel crítico .....  | 40        |
| 2.6 Resultados.....  | 41        |
| 2.6.1 Características físicas y químicas de los suelos en estudio.....   | 41        |
| 2.6.2 Azufre extraído con las soluciones extractoras .....   | 42        |
| 2.6.3 Nivel crítico determinado por el método de fosfato monocálcico .....   | 44        |
| 2.6.4 Nivel crítico determinado por el método de agua caliente.....  | 45        |
| 2.6.5. Nivel crítico determinado por el método Mehlich III.....  | 46        |
| 2.6.6 Análisis de correlación entre soluciones evaluadas .....   | 47        |
| 2.7 Conclusiones .....   | 48        |
| 2.8 Recomendaciones .....  | 49        |
| 2.9 Bibliografía.....  | 50        |
| <b>CAPITULO III</b>  |           |
| <b>INFORME DE SERVICIOS.....</b>   | <b>52</b> |
| 3.1 Presentación.....  | 53        |
| 1.1 SERVICIO No 1 APOYO A LAS ACTIVIDADES DEL LABORATORIO<br>DE ANÁLISIS DE SUELO Y PLANTA “SALVADOR CASTILLO” ..... | 54        |
| 3.2.1. Objetivos: .....  | 54        |
| 3.2.2 Metodología .....  | 55        |
| 3.2.2.1 Determinación de Materia Orgánica (M.O.) en el suelo.....  | 56        |
| 3.2.2.2. Determinación electromecánica de pH.....  | 57        |
| 3.2.2.3. Determinación de la conductividad eléctrica.....  | 58        |
| 3.2.2.4 . Análisis granulométrico de suelo .....   | 58        |
| 3.2.2.5. Determinación de la densidad aparente .....   | 60        |
| 3.2.3 Resultados .....   | 61        |
| 3.2.4 Evaluación.....  | 61        |
| 3.3 SERVICIO No 2 IMPLEMENTACIÓN DE UNA RUTINA DE TRABAJO<br>PARA LA EXTRACCIÓN DE AZUFRE DISPONIBLE EN SUELO. ....  | 62        |
| 3.3.1. Objetivos .....   | 62        |
| 3.3.2. Metodología.....  | 63        |
| 3.3.2.1 Procedimiento de extracción de azufre:.....  | 63        |
| 3.3.2.2 Cuantificación de azufre .....   | 63        |
| 3.2.3. Resultados .....  | 65        |
| 3.2.4. Evaluación.....   | 65        |
| 3.2.5. Bibliografía .....  | 66        |

**ÍNDICE DE FIGURAS**

| <b>FIGURA</b> |   | <b>PÁGINA</b> |
|---------------|---|---------------|
| 1             | Determinación del nivel crítico de azufre, según el método de Cate - Nelson.              | 27            |
| 2             | Ubicación de los puntos de muestreo   | 31            |
| 3             | Nivel crítico determinado fosfato monocálcico.  | 44            |
| 4             | Nivel crítico para azufre con agua caliente.  | 45            |
| 5             | Nivel crítico para azufre con Mehlich III.  | 46            |
| 6             | Correlación entre los valores de azufre extraído con fosfato monocálcico y agua caliente. | 47            |

**ÌNDICE DE CUADROS**

| <b>CUADRO</b> |   | <b>PÁGINA</b> |
|---------------|---|---------------|
| 1             | Cantidades de azufre extraídas con diferentes soluciones extractoras.   | 24            |
| 2             | Niveles críticos de azufre determinados en otros lugares.   | 25            |
| 3             | Procedencia de los puntos de muestreo.  | 30            |
| 4             | Características físicas y químicas y las metodologías utilizadas para su determinación.   | 35            |
| 5             | Características físicas y químicas de los suelos en estudio.  | 41            |
| 6             | Cantidades de azufre extraído con las soluciones estudiadas y valores de rendimiento relativo obtenido para los suelos evaluados. | 42            |
| 7             | Cantidades de azufre extraído en 38 suelos utilizando la metodología de extracción de azufre con fosfato monocálcico              | 65            |


## RESUMEN

### **EVALUACIÓN DE SOLUCIONES EXTRACTORAS DE AZUFRE EN SUELOS DE GUATEMALA Y ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO, AGUA Y PLANTA “SALVADOR CASTILLO ORELLANA” DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

A continuación se presenta un documento producto del desarrollo del EPS en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo”, este incluye el diagnóstico general que muestra aspectos básicos del mismo, como la organización interna, recursos humanos, físicos y equipo con el que cuenta, para brindar los servicios de calidad que se prestan en el mismo. Este diagnóstico ayudó a comprender que dicho laboratorio es una buena opción a nivel nacional como laboratorio de servicio para la iniciativa privada, entidades gubernamentales, organizaciones y personas individuales que soliciten sus servicios, ya que cuenta con personal calificado y equipo de alta tecnología que lo hacen posible. Así mismo es un apoyo sólido para los estudiantes de la Facultad de Agronomía, al contribuir didácticamente con éstos y por apoyar proyectos de investigación a los estudiantes que lo soliciten no importando la unidad académica a la que pertenezcan.

También se presentan los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, la cual consistió en la evaluación de tres soluciones extractoras para azufre en suelo, estas son: fosfato monocálcico, agua caliente y Mehlich III; se obtuvo un primer nivel crítico por debajo 20 ppm con fosfato monocálcico y menor de 10 ppm con agua caliente y debido a la poca consistencia de los valores de extracción obtenidos con Mehlich III, no se pudo establecer un primer nivel crítico con esta solución. Al realizar una correlación entre los valores de extracción de azufre con fosfato monocálcico y agua caliente se encontró un coeficiente  $R = 0.88$ , el cual indica la afinidad entre estas soluciones y que se pueden obtener valores de extracción de azufre con fosfato monocálcico al sustituir los valores extracción con agua caliente con la ecuación obtenida en la correlación.

Los servicios realizados durante el Ejercicio Profesional Supervisado realizado en el período de Febrero a Noviembre del año 2006, son el complemento de este trabajo; el primer servicio en mención consistió en apoyar las actividades que se realizan diariamente en el laboratorio. El otro servicio hace referencia a un aporte importante que consistió en implementar una metodología para la extracción y determinación de azufre en suelo.



**CAPITULO I**  
**DIAGNÓSTICO GENERAL DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO, PLANTA**  
**Y AGUA “SALVADOR CASTILLO” DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

## 1.1 Presentación

El laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Agronomía “Salvador Castillo” inició sus funciones como laboratorio de servicios a partir del año 1974. Cuando brindó servicios de análisis de Capacidad de Intercambio Catiónico, densidad aparente y textura a la finca Pantaleón (2), con el tiempo y por iniciativa de los diferentes encargados, fue ampliando sus servicios. En el año 1988 se adquiere el primer espectrofotómetro de absorción atómica con el cual ya se pudo determinar elementos disponibles en el suelo. Con lo expresado anteriormente nos damos cuenta de la labor de servicio del laboratorio “Salvador Castillo”, la cual es vigente hasta la fecha para todo el sector agrícola de Guatemala, por lo que es importante conocer los aspectos administrativos, recursos, equipo humano de trabajo y organización interna para fortalecer la confiabilidad hacia éste por los servicios que brinda y resaltar que el laboratorio cuenta con profesionales de alto nivel; expertos en las áreas donde se desempeñan.

Este trabajo contribuyó a encontrar limitaciones dentro del laboratorio, las cuales están relacionadas con el espacio físico, ya que el área de trabajo es reducida, otra limitación encontrada, es la carencia de diferenciación de las áreas de trabajo y por último se estableció que no existe un programa de divulgación de los servicios que presta el laboratorio.



## **1.2 Marco Referencial**

### **1.2.1 Ubicación**

El laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo”, se encuentra ubicado en el 2do. nivel, oficina B-9 del edificio T-8 de la Facultad de Agronomía, en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicado en la zona 12 de la ciudad capital de Guatemala.

### **1.2.2 Instalaciones**

El espacio con que cuenta actualmente el laboratorio es bastante reducido, pues abarca un área aproximada de 120 m<sup>2</sup>; además de ser reducido en su interior, no hay una diferenciación de las áreas de trabajo con ningún tipo de señalización; sin embargo internamente se separan las áreas para trabajos de análisis químico de suelo, agua y planta. Y por otro lado para análisis físico de muestras de suelo. Además se le anexa el uso de un pequeño invernadero techado de lámina plástica el cual se utiliza para montar ensayos biológicos (2).

### **1.3 Objetivos**

- 1.3.1 Describir la organización del Laboratorio de Análisis de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo”.
- 1.3.2 Caracterizar los recursos humanos, físicos y equipo con los que cuenta el laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo”.
- 1.3.3 Identificar y describir los servicios que presta el laboratorio de Análisis de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo”.
- 1.3.4 Identificar y describir problemas del laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y planta “Salvador Castillo”

## **1.4 Metodología**

Para elaborar el presente diagnóstico se procedió a dividir el trabajo de la siguiente manera:

**1.4.1 Fase inicial de gabinete:** consistió en planificar la manera en que se iba a estudiar el objeto de interés, planificar la forma en como se generaría la información así como la selección de bibliografía necesaria que ayudará a complementar la información generada.

**1.4.2 Fase de obtención de la información:** Ésta fase consistió en: 1.entrevistas al actual responsable del laboratorio Ing. Agr. Aníbal Sacbajá Galindo y sus colaboradores, quienes desempeñan actividades específicas dentro del mismo, 2. observación directa a las actividades realizadas, 3. actualización de la información generada en estudios similares realizados con anterioridad, 4. consulta de la información existente sobre el laboratorio.

**1.4.3 Elaboración del informe final:** Consistió en ordenar toda la información obtenida de las distintas fuentes de información para dar lugar al actual documento.

## 1.5 Resultados

### 1.5.1 Antecedentes históricos

En 1950 la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala inicialmente estuvo en la zona 1 de la Ciudad Capital. Aproximadamente en el año 1954 fue trasladada al actual Campus Central de Universidad de San Carlos de Guatemala que se encuentra ubicado en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, donde ocupó las instalaciones del actual Centro de Aprendizaje de Lenguas de la Universidad de San Carlos (CALUSAC), y en una pequeña habitación de dichas instalaciones se instaló el primer laboratorio de Análisis de Suelo y Agua, adscrito al departamento de Edafología y Química, el cual se localizaba en el segundo nivel del edificio. El fundador y director del laboratorio fue el Ingeniero Químico Mario Erick Braeuner, quien también fue el primer catedrático del curso de Edafología. El Ingeniero Franz Peter laboró junto al Ingeniero Braeuner en los inicios del laboratorio en el cual se trabajaban los análisis siguientes:

- Análisis granulométrico.
- Índice plástico superior.
- Nitrógeno, fósforo y potasio por el método de Llamote Morgan.
- Análisis de pH por el método del potenciométrico.
- Porcentaje de humedad por el método gravimétrico.

Para ese entonces el laboratorio contaba únicamente con un potenciómetro marca Coleman y una balanza analítica de oscilaciones. La Facultad de Agronomía compró parte de dicho equipo por medio del Ingeniero Braeuner (2).

El 8 de Noviembre de 1957 es aprobado por Rectoría, el anteproyecto para la construcción del edificio de los laboratorios de la Facultad de Agronomía, permitiendo esto el 1 de Marzo de 1958 celebrar la ceremonia del inicio de la construcción del edificio de laboratorios de la Facultad de Agronomía (actualmente T-8), con un costo estimado de Q 350,000.00 (2).

En 1960 el laboratorio adquiere el siguiente equipo:

- Dos balanzas analíticas donadas por la Administración de Cooperación Internacional.
- Una Balanza para densidades.

- Equipo de campo para análisis foliar rápido.
- Escritorio barnizado con silla.
- Una máquina de escribir.

El 1 de febrero de 1961 se inaugura el edificio de laboratorios de la Facultad de Agronomía con un costo total de Q. 582,557.67, es trasladado el laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta a este edificio (que es donde actualmente se localiza el laboratorio). El Ingeniero Braeuner juntamente con el Ingeniero Salvador Castillo inician la búsqueda de equipo para el laboratorio, logran obtener una donación por parte de la AID del siguiente equipo:

- Un horno de convección.
- Una mufla.
- Un macro kieldhal.
- Una centrífuga.

Tiempo después la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID) dono:

- Un fotómetro de llama, Perkin-Elmer.
- Equipo para constantes de humedad.
- Balanzas de torsión.
- Colorímetro marca Coleman.
- Colorímetro marca Fisher.
- Colorímetro marca Cenco (2).

Los análisis que se realizaban hasta ese entonces eran los siguientes:

- Análisis de pH por los métodos potenciométrico y colorimétrico.
- Análisis de nitrógeno total por macro kieldhal.
- Análisis de nitrógeno disponible por Llamote-Morgan.
- Análisis de fósforo disponible por colorimetría.
- Análisis de potasio disponible por gravimetría.
- Análisis de potasio intercambiable por medio de fotometría.

- Análisis de calcio, magnesio y sodio intercambiable, por medio de fotometría y titulación por EDTA.
- Análisis de materia orgánica y carbono orgánico por el método Walkley-Black.
- Constantes de humedad por medio de la olla de presión (2).

Después, se introdujo la metodología Carolina del Norte para cuantificar la fracción disponible de fósforo, potasio, calcio y magnesio. La determinación de bases cambiables por medio del fotómetro de llama y la extracción por medio de acetato de amonio 1N a pH 7.

En el año de 1974 se efectúan los primeros análisis de servicio a entidades fuera de la Facultad de Agronomía; en este caso se realizaron análisis de textura, densidad aparente y de capacidad de intercambio catiónico, dichos análisis estuvieron a cargo del ingeniero Salvador Castillo (2).

Los análisis de micro elementos se inician a partir del año de 1988, año en el cual se adquiere el primer espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer con recursos de la Facultad de Agronomía con un costo de Q 80,000.00. En el año de 1989 aprobado por La Junta Directiva de la Facultad de Agronomía se decide nombrar con el nombre del Ingeniero Salvador Castillo al laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Agronomía (2).

En los años 1991-1992, el laboratorio prestaba algunos servicios, por lo que en este tiempo se elaboró la primera carta de entendimiento entre la Facultad de Agronomía y el proyecto TRIFINIO, dicho proyecto fue ejecutado por la Sub área de Manejo Suelo y Agua, que estaba coordinada por el Ingeniero José de Jesús Chonay. Como cambio a la prestación de servicios se adquirió:

- Un colorímetro de la marca Lambda.
- Una balanza analítica marca Ohaus.
- Una centrífuga marca Centra.
- Se logró acreditar la contratación de personal.

En 1992 se elabora el Proyecto Autofinanciable del Laboratorio de Análisis de Suelo, Planta y Agua de la Facultad de Agronomía, el cual es aprobado el 28 de Noviembre de 1996, en sesión celebrada por junta directiva de la Facultad de Agronomía en el punto 6, acta No. 49-96, resolución No. 735-96, Finalmente fue aprobado por el Consejo Superior Universitario el 27 de Abril de 1997, en el punto décimo sexto, del acta No. 08-97 (2).

También en el año 1992 asume el cargo de “Encargado” del Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta el Ingeniero: Aníbal Sacbajá quien es el actual encargado (3).

En el período de tiempo entre los años 1990-1994 se desarrolló el programa de Hortalizas Nativas en conjunto con la Dirección General de Investigación (DIGI), y por prestar servicios se adquirió para el laboratorio:

- Una estufa agitador magnético.
- Reactivos y cristalería.
- Una balanza marca “Soiltest”.
- Muestreadores de suelo.
- Se brindó apoyo para la remodelación del invernadero a cargo de la Subárea de Manejo de Suelo y Agua (2).

En éste mismo período de tiempo, se trabajaron diversos proyectos con la iniciativa privada, instituciones gubernamentales y no gubernamentales que se mencionan a continuación:

- Proyectos ALA Totonicapán, ALA Sololá y ALA Coatepeque.
- Los ingenios Madre Tierra y Pantaleón.
- La Cooperación Internacional para la Preinversión Agrícola (CIPREDA).
- Montana S.A.
- Paul Ecke de Guatemala.

En 1999 el laboratorio en mención se incorpora al Programa de Íntercomparación e ínter calibración de los procesos para el Análisis de Muestras de Suelo y Plantas entre laboratorios con el Colegio de Post graduados de México (2).

En el año 2000 se adquiere un segundo Espectrofotómetro de Absorción Atómica con fondos generados del Proyecto Autofinanciable (3).

Para el año 2003 se fortalece el laboratorio “Salvador Castillo”, por la iniciativa de profesores de la Subárea de Manejo de Suelo y Agua al presentar proyectos de investigación con financiamiento externo con instituciones, como: la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), la Dirección General de Investigación (DIGI) y el Programa de la Red Centroamérica de Recursos Hídricos (CARA), Proyecto integrado por la Universidad de Calgary, la Universidad de Waterloo ambas de Canadá, la Universidad de Costa Rica, la Universidad Autónoma de Nicaragua y la Universidad de San Carlos de Guatemala (2).

En el año 2005 por iniciativa de los Ingenieros Aníbal Sacbajá y Hugo Tobías ( Coordinador de la Subárea de Manejo de Suelo y Agua en esa fecha) , con el apoyo de las autoridades de la Facultad de Agronomía y con fondos del proyecto PROINTEC de la SENACYT se logra adquirir un tercer Espectrofotómetro de Absorción Atómica con horno de grafito y generador de hidruros, el cual puede determinar metales pesados en suelo, agua y plantas, con capacidad para determinar concentraciones en partes por billón (3).

Hasta la fecha año 2008 el Encargado del laboratorio es el Ingeniero Aníbal Ovidio Sacbajá Galindo, y se sigue prestando servicio a la comunidad del agro nacional; y es un apoyo importante para los estudiantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **1.5.2 Organización interna del laboratorio**

La organización interna del laboratorio “Salvador Castillo” es muy sencilla debido al poco personal que labora y se presenta de la siguiente manera:

Encargado del Laboratorio: Ing. Agr. Aníbal Sacbajá es la persona encargada de la coordinación general del laboratorio. Seguido por la Inga. Agr. Celena Carías quien es la



encargada del control de calidad y determinaciones de análisis químicos de suelo planta y agua, quedando como último eslabón de la organización, los laboratoristas quienes son los encargados de apoyar todas las actividades dentro del laboratorio ya que complementan el trabajo desarrollado (3).

### **1.5.3 Recursos humanos, físicos y equipo con que cuenta el laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo”**

#### **1.5.4.1 Recursos humanos**

El equipo de trabajo que actualmente labora en el laboratorio “Salvador Castillo”, se menciona a continuación juntamente con las funciones que desempeñan.

**Ing. Agr. Aníbal Sacbajá** Es el encargado de la planificación, coordinación y supervisión de las diferentes actividades que se desarrollan en el laboratorio.

**Inga. Agr. Celena Carías** Se encarga del control de calidad y de realizar determinaciones químicas de suelo, agua y plantas.

**Br. Ranferí Ampudia** Tiene a cargo análisis químico de suelo, planta, agua y otros.

**Norvin Ramos** Está encargado de determinaciones químicas especiales, así como el conductor de pequeños ensayos que se realizan eventualmente.

**Romael Alfaro** Es la persona que tiene a su cargo desarrollar los diferentes análisis físicos de los suelos (3).

#### **1.5.4.2 Físicos**

El espacio con que cuenta actualmente el laboratorio es bastante reducido pues abarca un área aproximada de 120 mt<sup>2</sup>, donde en su interior no hay una diferenciación de las áreas de trabajo con ningún tipo de señalización, sin embargo internamente se separan las áreas para trabajos de análisis químico de suelo agua y planta y por otro lado para análisis físico de muestras de suelo. Además se le anexa el uso de un pequeño invernadero techado de lámina plástica el cual se utiliza para montar ensayos biológicos (3).

Actualmente se cuenta con un edificio destinado para servicios que está ubicado en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), cuya construcción fue financiada por el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), del cual se ha asignado

una parte del tercer nivel para el laboratorio “Salvador Castillo”, éstas instalaciones son amplias y tienen bien definidas las diferentes áreas de trabajo a diferencia de las actuales instalaciones. Éste edificio podrá ser ocupado cuando la Junta Directiva de la Facultad de Agronomía lo autorice (3).

#### **1.5.4.3 Equipo**

Para poder realizar los diferentes análisis de suelo, planta y agua en el laboratorio cuenta con equipo de alta tecnología:

- 1 Espectrofotómetro colorímetro marca Perkin Elmer Lambda 11/Bio el cual cuenta con su respectiva impresora Epson LX-300
- 2 Espectrofotómetros de absorción atómica marca Perkin Elmer
- 1 Horno Fisher Escientific model 630G para secar muestras de suelo.
- 1 Horno de convección forzada Imperial IV de Laboline instrument.
- 1 Juego de ollas de presión para determinar constantes de humedad Soilmoisture equipament y su respectivo compresor marca Leeson.
- 1 Agitadora Eberbach de dos velocidades.
- 1 Centrífuga EC Centra-8.
- 1 Destilador Kieldhal marca Labconco.
- 1 Destilador Kieldhal. marca Gerhardt – Vapodest.
- 1 Digestor Gerhardt.
- 1 Refrigerador de 18 pies cubicos marca General Electric.
- 1 Destilador de agua marca Barnstead – Thermolyne.
- 1 Campana de extracción de gases marca Labconco.
- 1 Batería de tamices de 2 mm a 150 micrómetros.
- 1 Balanza analítica Ohaus Precisión Plus
- 1 Balanza semianalítica monoplano Ohaus con capacidad de 2610 g.
- 1 Mufla 1300 Thermolyne con capacidad de 5 muestras.
- 1 Mufla 30400 Thermolyne con capacidad para 50 muestras.
- 4 Agitadoras Hamilton Beach.
- 1 Hidrómetro de Bouyucus
- 1 Porta buretas Precision scientific

- 1 Potenciómetro marca Orion
- 1 Conductivímetro marca Orion.
- 1 Computadora para la base de datos.
- 2 Molinos de acero inoxidable para tejido vegetal

### **1.5.5 Servicios que presta**

Según la guía de Servicios Universitarios para el Sector Externo, de la Dirección General de Investigación (DIGI) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (1), el laboratorio realiza ensayos físico-químicos de suelo, planta y agua. Según los siguientes servicios:

#### **1.5.5.1 Análisis de Suelo**

- pH en solución de agua y suelo, relación 2.5:1.
- pH y macro nutrientes disponibles (P, K, Ca, Mg).
- pH y nutrientes disponibles (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn)
- Materia orgánica.
- CIC total y bases intercambiables.
- Acidez intercambiable.
- Prueba de fijación de nutrientes (P, K, Cu, Zn, Mn).
- Análisis granulométrico.
- Densidad real.
- Retención de humedad (1/3 , 15 atm).
- pH en KCl 1N.
- Nitrógeno total.
- Color del suelo.
- Densidad real con Picnómetro.
- Prueba rápida de salinidad.
- Presencia de alófano (Método cualitativo).
- Relación C/N.

#### **1.5.5.2 Análisis de Planta**

- N total, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Fe, Mn.

- Boro.
- Cuantificación de materia seca.

#### **1.5.5.3 Análisis de Agua**

- pH
- Conductividad Eléctrica.
- Ca, Mg, Na, K , Cu, Zn, Fe, Mn, B.
- Carbonatos y Bicarbonatos, Cloruros y Sulfatos.

#### **1.5.5.4 Análisis de Fertilizantes granulados y Líquidos**

- N total, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, B.

#### **1.5.5.5 Análisis de cales**

- Ca, Mg, Índice de neutralización, eficiencia.

#### **1.5.5.6 Análisis de materiales orgánicos**

- N total, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Carbono orgánico.

#### **1.5.5.7 Identificación de Rocas y Minerales.**

Los análisis mencionados anteriormente, forman parte de los servicios primordiales que se prestan a las diferentes entidades estatales y privadas que se dedican a la producción agrícola; así como a personas particulares que necesitan de alguno de los análisis especificados. Agregado a esto, se brinda servicio de asesoría y soporte técnico a quienes lo solicitan, en los temas: asesoría en programas de fertilización, evaluación de fertilidad a nivel de invernadero y actualización de conocimientos relacionados con fertilidad de suelos.

#### **1.5.5.8 Otros servicios:**

Otra atribución del laboratorio, es brindar servicio y apoyo didáctico a los estudiantes de la Facultad de Agronomía. Siendo el apoyo didáctico el que con más frecuencia se brinda

por la relación establecida entre la Subárea de Manejo de Suelo y Agua (en relación a los cursos que se imparten en la misma) y el laboratorio de análisis “Salvador Castillo”. Por último, estudiantes de otras unidades académicas de la Universidad de San Carlos, Centros Regionales e instituciones educativas relacionadas al agro, también son apoyados por este laboratorio (3).

#### **1.5.5.9 Problemas encontrados**

Por medio de la observación se logró identificar algunos problemas dentro del laboratorio siendo estos:

**A. Reducido espacio físico** Según las observaciones realizadas uno de los problemas encontrados es el reducido espacio físico con el que cuenta el laboratorio “Salvador Castillo”, pues éste cuenta con un área aproximada de 120 metros cuadrados. Esto repercute en que las personas que laboran aquí tengan espacio limitado para desarrollar adecuadamente el trabajo.

**B. No hay diferenciación de las áreas de trabajo** internamente no hay diferenciación de las áreas de trabajo, no posee identificaciones visibles como carteles o rótulos señalizando, donde se efectúan determinadas tareas, como área de preparación de muestras, bodega interna, etc., por que aunque el área del laboratorio sea pequeña se podrían visualizar mejor las áreas.

**C. Falta de promoción de servicios prestados** Por el personal y equipo con el que cuenta el laboratorio “Salvador Castillo”, los servicios prestados son de calidad, sin embargo no existe dentro de la estructura interna del laboratorio un encargado de realizar promoción de los servicios que éste presta, lo cual limita a aumentar la cantidad de usuarios.

La limitación del espacio físico será resuelta cuando el laboratorio sea trasladado al edificio de servicios ubicado en el Centro Experimental Docente de Agronomía, a la vez permitirá tener un buen control e identificación de las áreas de trabajo por el diseño establecido para el espacio que ocupará el laboratorio.

## **1.6 Conclusiones**

- 1.6.1 La organización interna del Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo” es muy sencilla debido al poco personal que labora en él, donde el Ing. Aníbal Sacbajá es el encargado responsable de éste.
- 1.6.2 El laboratorio de Análisis de Suelo, Planta y Agua “ Salvador Castillo ” cuenta con personal calificado y equipo de alta tecnología para prestar servicio de calidad para quienes lo requieran.
- 1.6.3 En el Laboratorio “Salvador Castillo” se realiza una amplia gama de análisis físicos y químicos de suelo, químicos de planta y de agua a entidades del sector agrícola de Guatemala no importando si son de la iniciativa privada, asociaciones, instituciones gubernamentales o bien personas particulares, brinda servicio de asesoría cuando le es requerido, lo cual permite ser considerado como una alternativa que puede prestar servicio de las instituciones mencionadas.
- 1.6.4 En su labor de docencia e investigación el laboratorio apoya a los estudiantes de la Facultad de Agronomía y a otras Unidades Académicas del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- 1.6.5 Los problemas de espacio físico del laboratorio “Salvador Castillo”, serán resueltos cuando éste sea trasladado al edificio de servicios ubicado en el Centro Experimental Docente, pues el diseño de éste lo permite.

## 1.7 Recomendaciones

- 1.7.1 Gestionar por medio de la Junta Directiva de la Facultad de Agronomía, agilizar el proceso de traslado del laboratorio “Salvador Castillo” al edificio de servicios con el fin de mejorar las condiciones de trabajo para quienes laboran en éste.
- 1.7.2 Promover actividades de visita a organizaciones campesinas, cooperativas, municipalidades, empresas de la iniciativa y personas individuales etc., del interior del país y de la ciudad capital con el fin de dar a conocer los servicios que presta el Laboratorio “Salvador Castillo”. Ya que éste cuenta con personal y equipo de calidad que garantiza la confiabilidad de los resultados de los análisis.
- 1.7.3 Mantener en constante capacitación y actualizado al equipo de trabajo del laboratorio “Salvador Castillo” para seguir prestando el servicio de calidad que hasta la fecha dicho laboratorio presta.

## 1.8 Bibliografía

- 1 DIGI (USAC, Dirección General de Investigación, GT). 2002. Guía de servicios universitarios para el sector externo. Guatemala, Editorial Universitaria. 101 p.
- 2 Muñoz Meza, P. 2006. Diagnostico general de la situación actual del Laboratorio de análisis de suelo, planta y agua "Salvador Castillo" de la FAUSAC, en relación con los sistemas de gestión de calidad. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 32 p.
- 3 Sacbajá Galindo, AO. 2008. Información general del laboratorio de análisis de suelo, agua y planta "Salvador Castillo" (entrevista). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Laboratorio de Análisis de Suelo, Planta, Agua y Ambiente.





**CAPITULO II**

**EVALUACION DE TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS DE AZUFRE EN DIECINUEVE  
SUELOS DE GUATEMALA EN INVERNADERO**

**EVALUATION OF THREE SULFUR EXTRACTOR SOLUTIONS IN NINETEEN SOILS  
OF GUATEMALA UNDER GREENHOUSE CONDITIONS**

## 2.1 Presentación

A pesar de saber que el azufre es un elemento esencial para la planta, ya que participa activamente en la síntesis de proteínas, al estar directamente inmerso en los aminoácidos cistina, cisteína y metionina, no se ha profundizado en el estudio de este elemento, ya que actualmente no se cuenta con información específica relacionada al tema de niveles críticos y valores de extracción de azufre disponibles para las plantas. Como caso particular, se puede mencionar que en el laboratorio de Análisis de Suelo, Planta y Agua de la Facultad de Agronomía “Salvador Castillo” no se cuenta con una metodología correlacional para la extracción de azufre disponible en suelo, por lo que no se dan recomendaciones de la aplicación de éste.

Buscando hacer una aportación que pueda lograr inquietar la generación de trabajos que permitan obtener información útil sobre este elemento, el presente trabajo que se realizó en dos fases: la fase de laboratorio que tuvo lugar en las instalaciones del laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Agronomía, así como la fase de campo que tuvo lugar en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), se reportan los logros alcanzados al evaluar tres soluciones extractoras de azufre en 19 suelos de Guatemala, estos consisten en haber encontrado un valor por debajo de 20 ppm con la solución extractora fosfato monocálcico y debajo de 10 ppm con la solución extractora, agua caliente, el método utilizado para su obtención fue el método gráfico de Cate y Nelson; la tercera solución evaluada fue la Mehlich III, la cual no mostró un comportamiento aceptable con los suelos evaluados por lo que no se determinó un primer nivel crítico con esta solución. Al realizar la correlación entre las soluciones con las que se encontró un primer nivel crítico se determinó que hay buena correlación entre las cantidades de azufre que extraen éstas pues se encontró un coeficiente  $R^2 = 0.8832$ .

## 2.2 Marco Conceptual

### 2.2.1 Marco Teórico

#### 2.2.1.1 El azufre en la planta

El azufre es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas y debido a la cantidad en que éstas lo requieren se considera un macro nutriente (16).

Las principales funciones del azufre en la planta son las siguientes:

1. Es necesario para la síntesis de aminoácidos esenciales que contienen azufre y que son fundamentales para las proteínas, estos son: cistina, cisteína y metionina.
2. Participa en la síntesis de Proteína.
3. Está presente en la actividad de varias enzimas proteolíticas como las papainazas.
4. Ayuda en la formación de vitaminas como la biotina, glutatona y coenzima A.
5. Está relacionado con la formación de una serie de glucósidos, componentes fundamentales de los aceites esenciales responsables del olor en plantas como las liliáceas y crucíferáceas.
6. Participa en el establecimiento de enlaces bisulfuro entre compuestos, lo cual proporciona mayor tolerancia a condiciones desfavorables.
7. Participa en la activación de la enzima sulfurilasa de ATP que tiene un papel importante en el metabolismo del azufre.
8. Participa en formación de la ferredoxina (proteína de hierro y azufre) la cual participa en la fotosíntesis y esta involucrada en la fijación de N (2).

#### 2.2.1.2 Absorción de azufre por la planta

Las plantas absorben el azufre principalmente en forma de ión sulfato ( $\text{SO}_4$ )<sup>-2</sup> del suelo. También tienen la capacidad de absorber azufre en forma de óxido de la atmósfera. La absorción de azufre por las raíces, es un proceso que requiere energía y por esto en condiciones de buena iluminación se realiza mejor, después de la absorción, el ión sulfato se traslada al xilema donde en la corriente transpiratoria es llevado a las hojas. En este sitio el sulfato es reducido e incorporado a los compuestos orgánicos (2).

### 2.2.1.3 Azufre en el suelo

#### A. Formas de azufre en el suelo

El azufre en el suelo se encuentra en dos formas una como azufre inorgánico, del cual sólo cuando se encuentra como ión  $(\text{SO}_4)^{-2}$  puede ser aprovechado por la planta; y la otra forma es como azufre orgánico, que se encuentra limitado a la disponibilidad de la planta por la rapidez del proceso de mineralización de la materia orgánica (14).

**Inorgánico** Se sabe que la absorción de sulfato, junto a factores de suelo, se ve también influenciada por otros iones absorbidos al mismo tiempo, se ha observado que la presencia de iones amonio, como en algunos abonos, como el sulfato de amonio o urea azufre, después de la hidrólisis del último, fomenta la absorción del sulfato (2).

**Orgánico** El azufre orgánico presente en la materia orgánica proviene de los residuos vegetales, animales y microbianos que se incorporan al suelo.

La mayoría del azufre contenido en los suelos de las regiones húmedas templadas y tropicales se encuentra incorporado como compuestos orgánicos, dándose la circunstancia que los suelos de mayor contenido en materia orgánica contienen más azufre (2).

Por otro lado, los suelos de zonas áridas y de trópicos húmedos presentan, generalmente, bajos niveles de materia orgánica y, por tanto, de azufre orgánico. Este tipo de azufre llega a ser asimilable por la planta sólo después de la descomposición de la materia orgánica y de su oxidación a sulfato (2).

Por otra parte, el contenido de sulfato de la mayoría de los suelos arables es bajo, ya que el ión  $(\text{SO}_4)^{-2}$  es muy móvil y puede fácilmente perderse por lavado, siendo sólo una pequeña fracción adsorbida por las partículas del suelo.

#### B. Factores que afectan la absorción del azufre:

La absorción de sulfato es más alta a bajo pH, y es también más favorable en las arcillas de tipo estructural 1:1 como la caolinita, que en los minerales arcillosos de tipo estructural 2:1 como la illita y la montmorillonita.

Asimismo los óxidos de hierro y aluminio que se encuentran entre los componentes del suelo tienen una gran capacidad para la adsorción de iones sulfato (2).

### **C. Fuentes de azufre en el suelo:**

Las piritas, pizarras, yeso, la anhidrita y una forma deshidratada del yeso, son las formas minerales de azufre más profusamente distribuidas en las rocas y en los suelos. En los procesos de formación de los suelos las piritas y otros sulfuros metálicos, tienden a dar azufre en forma de sulfuro de hidrógeno, o bien de dióxido de azufre, dependiendo de la cantidad de oxígeno presente; gran parte de este azufre es transformado en ácido sulfúrico, y los sulfatos restantes se acumulan en el suelo, o son lixiviados por las aguas de drenaje, según las condiciones de lluvia prevalecientes en la zona y de la textura del suelo (2).

#### **2.2.1.4 Análisis de suelo**

Los análisis químicos de suelos consisten en la extracción de los nutrimentos del suelo mediante soluciones químicas. Existen diferentes soluciones extractoras que extraen diferentes cantidades de los nutrimentos en los diferentes tipos de suelos. Por sí solo un análisis de suelo no tiene valor, es un índice que puede reflejar o no la disponibilidad de un nutrimento para las plantas. Estas extracciones tendrán sentido agronómico si guardan alguna relación con la acción que hacen las raíces de las plantas en el suelo. Es importante establecer el punto o nivel de elemento extraído con esa solución extractora a partir del cual los rendimientos del cultivo que se obtienen son semejantes. De ahí que el diagnóstico químico de la fertilidad del suelo, para ser adecuado y confiable debe apoyarse en dos aspectos esenciales:

- a) En el uso de las soluciones extractoras de la fracción disponible para los diferentes grupos de suelos.
- b) En la utilización de niveles críticos (altos, medios, bajos) confiables, calibrados para la solución extractora más adecuada según los grupos de suelos, y según los cultivos (1).

#### **2.2.1.5 Solución extractora**

Escoger una solución extractora para un elemento determinado se basa en la asociación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. En términos prácticos, una solución extractora será eficiente o adecuada cuando a valores altos de extracción correspondan valores altos de absorción del elemento y cuando los

valores bajos de extracción coincidan con baja absorción del elemento por la planta. En caso contrario supondrá una eficiencia baja o nula (1).

### 2.2.1.6 Soluciones extractoras utilizadas para extraer azufre

Para medir el azufre inorgánico del suelo fácilmente disponible a las plantas se utiliza diversidad de soluciones extractoras de las que se mencionan: Agua fría, Agua caliente, Mehlich III, soluciones de sales como:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ , y  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , soluciones que contienen fósforo en cantidades de 500 mg/L, como  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  y  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y soluciones ácidas como:  $\text{NH}_4\text{OAc-HOAc}$ ,  $\text{NH}_4\text{OAc}$  y Bray 1 (5).

#### Mehlich III

Solución compuesta de ácido acético 0.2N, nitrato de amonio 0.25 N, fluoruro de amonio 0.015N, ácido nítrico 0.013N y EDTA 0.001M regulada a pH 2.5; la solución puede emplearse para la determinación de macro y micro nutrientes (3).

#### Agua Caliente

Para la extracción se utiliza agua destilada libre de azufre y no se necesita otro reactivo por lo que resulta ser una opción económica, adicional a esto, ésta solución puede utilizarse al mismo tiempo para la extracción de boro disponible.

#### Fosfato Monocálcico con 500 ppm de P

Solución compuesta por fosfato monocálcico, ácido acético y agua destilada, se utiliza con una concentración de 500 ppm de fósforo (8).

**Cuadro 1. Cantidades de S extraídas con diferentes soluciones extractoras**

| Solución extractora                  | ámbito (mg/l) |
|--------------------------------------|---------------|
| $\text{NH}_4\text{Oac}$              | 6 - 8200      |
| $\text{NH}_4\text{OAc-HOAc}$         | 7 - 59        |
| Bray 1                               | 6 - 56        |
| $\text{CaCl}_2$                      | 9 - 65        |
| Agua caliente                        | 22 - 100      |
| $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ | 0.6 - 7.9     |
| $\text{CaCl}_2$                      | 2.3 - 15.2    |

Fuente: Cabalceta G. y Bornemisza E. 1995 Correlación de soluciones extractoras de azufre en suelos de Costa Rica (5).

### 2.2.1.7 Nivel crítico

Se define como el contenido de un elemento por debajo del cual la producción disminuye.

En la determinación de los niveles críticos se utiliza la información concerniente a la correlación entre los valores del elemento disponible en el suelo y los valores correspondientes al rendimiento relativo obtenido con la aplicación del elemento o los elementos de estudio. La alta correlación positiva de los niveles disponibles de nutrimento que corresponda con bajos rendimientos relativos, estos suelos van a presentar altas probabilidades de respuesta a la aplicación de nutrientes. Por el contrario, el grupo de suelo que tenga altos niveles disponibles del nutrimento corresponderá a altos rendimientos relativos, estos suelos van a presentar bajas probabilidades de respuesta (12).

**Cuadro 2 Niveles Críticos de azufre determinados en otros países**

| Lugar         | Solución extractora                              | Niveles críticos<br>(mg/L) | Autor                    |
|---------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Wisconsin     | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 9.3                        | Takkar, 1988             |
| Wisconsin     | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 14                         | Takkar, 1988             |
| Nueva Zelanda | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 10                         | Anderson et al, 1992     |
| Nueva Zelanda | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 20                         | Anderson et al, 1992     |
| Costa Rica    | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 10                         | Díaz - Romeu y Hunter    |
| Costa Rica    | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 12                         | Cabalceta y Cordero 1995 |
| India         | Agua Caliente                                    | 12.5                       | Takkar, 1988             |
| India         | Agua Caliente                                    | 16                         | Takkar, 1988             |

Fuente : Cabalceta G. y Cordero A. 1994 (4) Niveles críticos en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica, Agronomía Costarricense.

### 2.2.1.8 Método de correlación

Según The Internacional soil fertility evaluation and improvent program (9), para que un análisis de suelo tenga significado para algún nutriente, éste deberá ser asociado con la disponibilidad de dicho nutriente para la planta. Se han ensayado diversas técnicas para relacionar los análisis de suelo con el crecimiento de las plantas, fluctuando desde intentos directos para extraer químicamente del suelo la misma cantidad que las raíces extraen biológicamente, hasta correlaciones indirectas o empíricas entre los nutrientes extraídos y el crecimiento vegetal. Los métodos indirectos de correlación han resultado ser los medios más prácticos para una evaluación, a pesar de la dificultad de controlar los

factores de rendimiento. Muchos científicos prefieren comenzar los trabajos de correlación con estudios de invernadero donde el rendimiento puede ser controlado dentro de los límites razonables a través de un mejor control de todos los factores del crecimiento. Aun así, el rendimiento es afectado por tantos factores que los estudios de correlación entre los análisis de los suelos y el rendimiento absoluto de materia seca (o una medida relacionada, tal como asimilación de nutrientes), han tenido más éxito que los estudios que involucran el rendimiento relativo. A pesar de ser cierto que la simulación de nutrientes, o la cantidad de nutrientes en un tejido vegetal, frecuentemente correlaciona bien con el análisis de suelo, no existe una manera conveniente para distinguir entre el requerimiento de la planta y el consumo de lujo. Entonces, la escala que resulta para la interpretación de los análisis de suelo será arbitraria si un punto de inflexión bien definido que indique cuando la fertilidad de los suelos está por debajo o sobre el rango de la respuesta del rendimiento (11).

#### **2.2.1.9 Método gráfico de Cate y Nelson**

El método Gráfico desarrollado por Cate y Nelson, en 1965 es un método sencillo, utilizado para determinar con acertada aproximación, un primer nivel crítico. Sustituyendo con esto buscar adecuar una función matemática continua a través de los puntos distribuidos (6).

Este método consiste en desarrollar los siguientes pasos:

- a) Ubicar en un sistema de coordenadas cartesianas, mediante el ploteo, los puntos resultantes de los valores de Rendimiento Relativo en el eje de las ordenadas (Y) en función de los valores obtenidos del análisis de suelo, básicamente de la fracción disponible en el eje de las Abscisas (X).
- b) Elaborar el sistema de coordenadas cartesianas sobre un plástico transparente y colocarlo sobre los puntos ya localizados, moverlos en un sentido u otro hasta conseguir que el mayor número de puntos de la gráfica queden ubicados en los cuadrantes positivos. En la posición anterior la línea perpendicular horizontal coincidirá con un valor del eje de las ordenadas (Rendimiento Relativo) bajo el cual las respuestas serán altas o medias. Simultáneamente la perpendicular vertical coincidirá, sobre el eje de las abscisas, con la



concentración del elemento en el suelo sobre el cual estará el grupo de suelos que mostró respuestas altas o medias; este valor constituye el nivel crítico.

Al final resultarán dos categorías distintas de suelo-cultivo que diferirán en el tipo de respuesta obtenida. Debajo del nivel crítico se espera alta probabilidad de respuesta a la aplicación del elemento en estudio y arriba de éste la respuesta será poca o nula esto se puede observar en la figura 1.

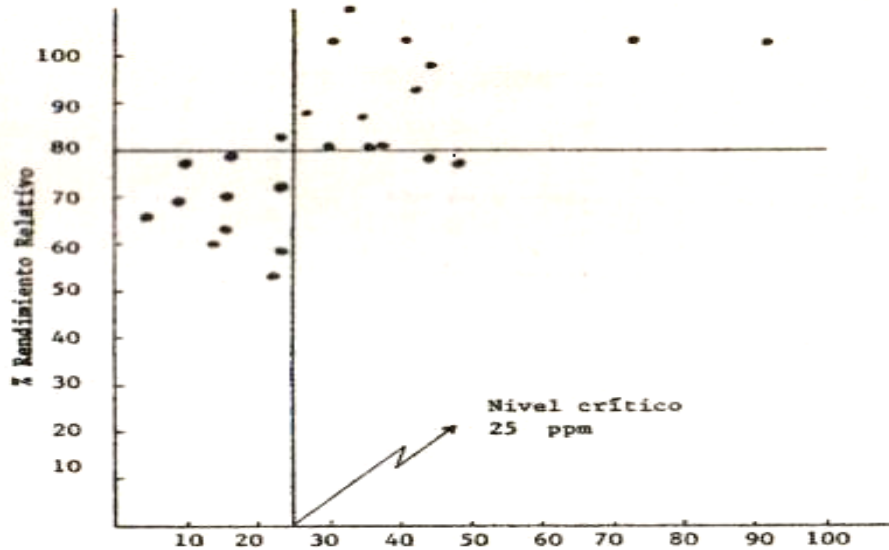


Figura 1. Determinación del nivel crítico del azufre, según el método de Cate y Nelson  
Fuente : Sierra Santos, 1989. Determinación del nivel crítico de azufre y boro empleando dos soluciones extractoras para cada elemento en 25 suelos de Guatemala.

### 2.2.1.10 Planta indicadora

El sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*) cuenta con las siguientes características: puede alcanzar su máximo crecimiento de 4 a 5 semanas, posee tallos erectos, macizos de 0.6 a 2.5 metros de alto, en cada yema lateral posee un nudo con hojas solitarias, posee hojas alternas sin vellosidades de superficie ceria y con sistema radicular muy ramificado y sin pivotante. Es recomendada por Díaz Romeu-Hunter citados por Ramos (13), para ser utilizada en pruebas a nivel de invernadero por presentar las siguientes ventajas:

- Es sensible a la mayoría de deficiencias y posee semilla pequeña.
- Es de crecimiento rápido y crece adecuadamente en un amplio rango de condiciones edafo-climáticas.

## 2.2.2 Marco referencial

### 2.2.2.1 Antecedentes de investigación relacionados con la extracción azufre en suelos de Guatemala

**Ranero** 1975 (14) elaboró un estudio de correlación utilizando el método de Cate y Nelson en 25 suelos de Guatemala a nivel de invernadero, este autor utilizó la solución extractora Acetato de Amonio 0.5N y Ácido acético glacial 0.25N obteniendo un nivel crítico de 14 ppm.

**Sierra Santos** 1989 (16) evaluó las soluciones extractoras de Morgan y la solución fosfato monocálcico, con la primera no pudo definir el valor del nivel crítico pero con la segunda obtuvo un nivel crítico de 25 ppm con un coeficiente de correlación de 0.6165, dicho trabajo fue realizado con 25 suelos de Guatemala a nivel de invernadero.

**Sagastume Godínez** 1995 (15) evaluó las metodologías: digestión húmeda, Alcalina y Ácida, para la extracción de azufre total en suelos, concluyó que con la digestión alcalina se obtienen los mayores valores de extracción de azufre total y que ésta es la que necesita menos tiempo de recuperación.

### 2.2.2.2 Antecedentes de investigaciones internacionales

Gilberto Cabalceta y Elemer Bornemisza (5), realizaron una correlación del azufre extraído en 4 órdenes de suelos de Costa Rica incluyendo 25 suelos por orden, utilizaron las soluciones extractoras: Mehlich III, Morgan modificado, Fosfato de calcio + Cloruro de calcio, Fosfato monocálcico y Fosfato monobásico de potasio. Concluyeron que la solución Mehlich III es excelente en los distintos procesos de la determinación del azufre, así mismo obtuvieron un nivel crítico de 31 ppm con la solución Mehlich III y de 10 ppm con la solución Fosfato Monocálcico.

Guerrero (8) 1999, evaluó 4 soluciones extractoras para cuantificar el contenido de azufre en 16 suelos de México, para esta determinación dicho autor utilizó la técnica de turbidimetria; las soluciones extractoras que empleo fueron: Cloruro de calcio, Fosfato monocálcico, Bicarbonato de sodio y Agua caliente. Llegó a concluir que los procedimientos donde se incluye el Bicarbonato de sodio y el Cloruro de calcio son los métodos promisorios para realizar la cuantificación de azufre disponible en los suelos que utilizó.

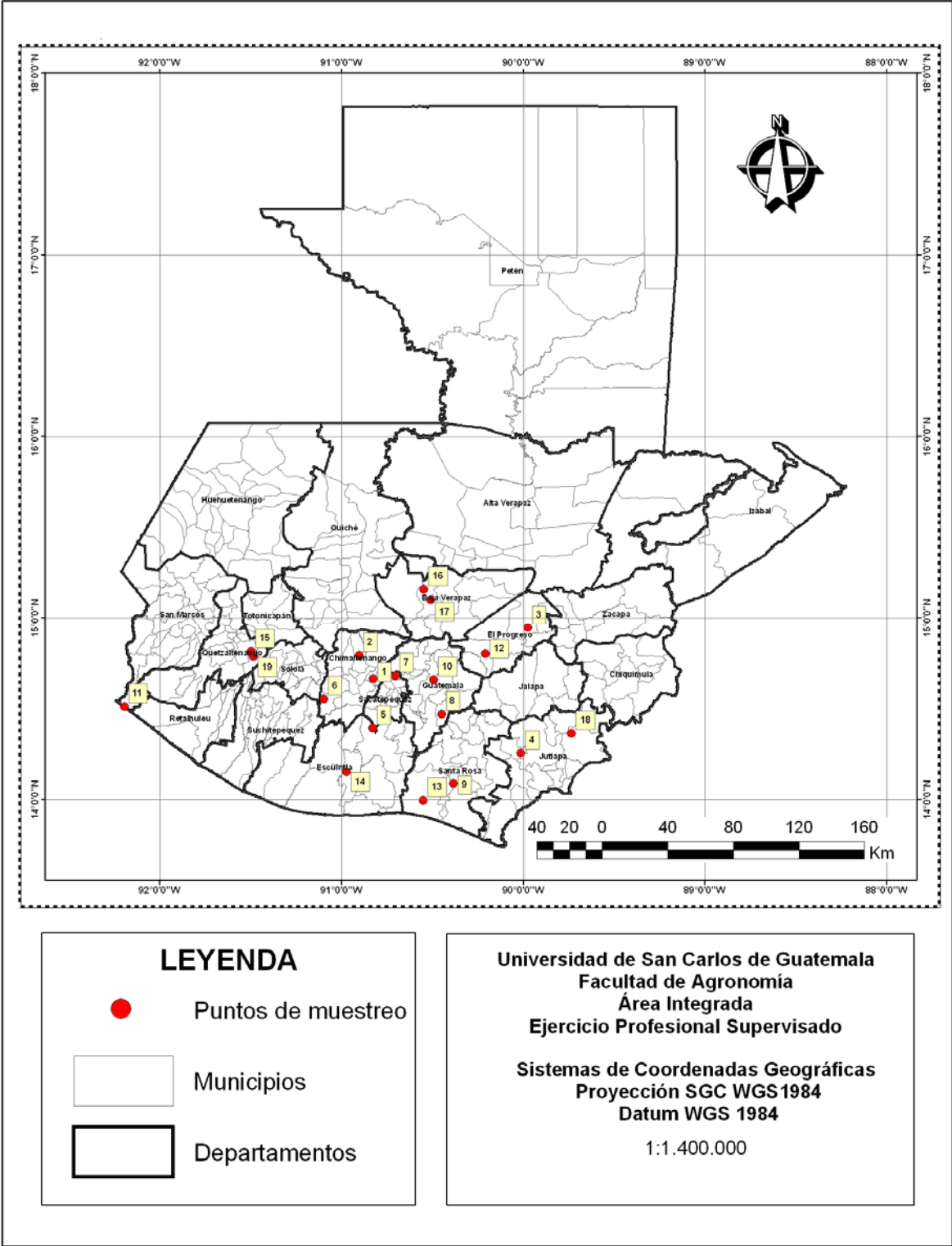
### **2.2.2.3 Descripción del área experimental**

La investigación tuvo lugar en los invernaderos del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), Ciudad universitaria zona 12, Guatemala. Área ubicada en las coordenadas geográficas 14° 35´ 11” latitud norte y 90° 31´ 58” longitud oeste, a una altura de 1502 msnm, en esta zona se reporta una precipitación pluvial de 1246 mm anuales, una temperatura media de 17.2 °C con Humedad Relativa del 79%. (11).

**Cuadro 3 Procedencia de los puntos de muestreo**

| <b>Suelo</b> | <b>Descripción</b>   | <b>Municipio</b>         | <b>Departamento</b> |
|--------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1            | Ald. Puerto Rico     | Chimaltenango            | Chimaltenango       |
| 2            | Ald. Patzaj          | Sn Juan Comalapa         | Chimaltenango       |
| 3            | San Agustín Acas.    | Sn Agustín Acasaguastlan | El Progreso         |
| 4            | San Fernando Q.      | Quezada                  | Jutiapa             |
| 5            | Parc. Los Ángeles    | Puerto de San José       | Escuintla           |
| 6            | Pochuta              | Pochuta                  | Chimaltenango       |
| 7            | San Pedro Xenacoj    | Santo Domingo Xenacoj    | Sácatpequez         |
| 8            | Fraijanes            | Fraijanes                | Guatemala           |
| 9            | Ald. Llano Grande    | Chiquimulilla            | Santa Rosa          |
| 10           | Ald. El Chato        | Guatemala                | Guatemala           |
| 11           | Ocós                 | Ocos                     | San Marcos          |
| 12           | Ald. Las Tunas       | Sanarate                 | El Progreso         |
| 13           | Ald. El Panal        | Taxisco                  | Santa Rosa          |
| 14           | Parcela B-14-1       | La Democracia            | Escuintla           |
| 15           | Almolonga            | Almolonga                | Quetzaltenango      |
| 16           | Fca. Helechos I      | Rabinal                  | Baja Verapaz        |
| 17           | Fca. Helechos II     | Rabinal                  | Baja Verapaz        |
| 18           | Estanzuela           | Asunción Mita            | Jutiapa             |
| 19           | Santa Maria de Jesús | Zunil                    | Quetzaltenango      |

### UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO



**Figura 2.** Ubicación de puntos de muestreo.  
Fuente: Sistemas de Coordenada Geográficas Proyección SGC WGS 1984.

## **2.3. Objetivos**

### **2.3.1 General**

2.3.1.1. Evaluar tres soluciones extractoras para determinar el contenido de azufre disponible en 19 suelos de Guatemala a nivel de invernadero utilizando el sorgo (*Sorgum bicolor*) como planta indicadora.

### **2.3.2 Específicos**

2.3.2.1 Determinar el nivel crítico para azufre con las soluciones extractoras Mehlich III, agua caliente y fosfato monocálcico utilizando el método de Cate y Nelson.

2.3.2.2 Determinar el Coeficiente de correlación entre las soluciones extractoras sometidas a evaluación.

## **2.4 Hipótesis**

2.4.1 El nivel crítico determinado con el método Cate y Nelson será igual para todas las soluciones extractoras evaluadas.

2.4.2 La solución Mehlich III será la que muestre mejor correlación con las demás soluciones en evaluación.

## 2.5 Metodología

### 2.5.1 Selección de muestras

Las muestras utilizadas provienen de diversos puntos del país, dichos puntos se encuentran ubicados en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos, Baja Verapaz, Guatemala, Escuintla, Santa Rosa, Sacatepéquez, Chimaltenango, El progreso y Jutiapa. Estos puntos fueron seleccionados por poseer valores altos, medios y bajos de azufre utilizando la solución extractora fosfato monocálcico. Toda la información concerniente a dichos puntos se encuentran en el banco de datos del laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Planta "Salvador Castillo". Es importante mencionar que los suelos seleccionados fueron sometidos a una prueba rápida de extracción de azufre, en ésta prueba fueron considerados 40 suelos, de los cuales 19 fue el total tomado para éste estudio.

### 2.5.2 Muestreo

En los puntos de muestreo seleccionados se tomaron 15 submuestras a una profundidad de 0-0.3 m, la cantidad de suelo colectada fue de 50 kg.

### 2.5.3 Preparación de las muestras

Previo a montar la prueba en el campo y realizar los respectivos análisis de laboratorio las muestras se sometieron a la fase de preparación que se describe a continuación:

**Secado** Las muestras fueron secadas al aire y bajo la sombra, para esto se colocaron capas delgadas de suelo sobre un plástico.

**Tamizado** Las muestras secas se tamizaron en un tamiz No. 10 el cual posee un diámetro de malla de 2 mm. con el propósito de eliminar rocas y raíces.

**Homogenizado** Para homogenizar los suelos se utilizó el homogenizador de doble flujo, las muestras fueron pasadas por este 18 veces.

**Almacenamiento** Como parte final de la preparación las muestras se colocaron en bolsas plásticas con su respectiva identificación y se colocaron en un lugar seco para su adecuada preservación.



### 2.5.4 Determinaciones físicas y químicas de las muestras de suelo

Para esto se tomó una fracción representativa de cada suelo previamente preparado, la determinación de las características físicas y químicas de las muestras se realizaron con las metodologías que se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 4. Características físicas y químicas y las metodologías utilizadas para su determinación**

| Características   | Metodología                                      |
|---|--|
| Textura   | Hidrómetro de Bouyoucus                          |
| pH  | Potenciómetro relación agua suelo 2.5 : 1        |
| Materia Orgánica  | Metodología de Walkley y Black modificado        |
| Determinación de Azufre                                     | Mehlich III, Agua caliente y Fosfato monocálcico |
| Índices disponibles de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B. | Mehlich I  |

Fuente: Laboratorio de análisis de Suelo – Planta "salvador Castillo", Facultad de Agronomía. U.S.A.C.

### 2.5.5 Análisis químico para la determinación de azufre

#### 2.5.5.1 Descripción de las metodologías utilizadas para la determinación de azufre disponible en suelo

##### A. Solución extractora fosfato monocálcico

Preparación de la solución extractora:

Pesar 2.02 g de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  y se disuelven en agua destilada, acidificar con 115 ml de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y se afora a 1 L (8).

##### Procedimiento de extracción:

- Pesar 10 g de suelo y colocarlo en un tubo de polipropileno de 100 ml.
- Añadir 25 ml. de solución extractora.
- Agregar 10 mg de carbón activado.
- Agitar durante 30 minutos a 180 oscilaciones por minuto.
- Filtrar la suspensión con papel filtro Watman 42.

## **B. Solución extractora agua caliente**

### **Procedimiento de extracción:**

- Agregar 20 ml de agua destilada libre de azufre en un tubo de destilación.
- Agregar 10 g de suelo en el tubo.
- Controlar el volumen inicial en el tubo y marcarlo.
- Adicionar 0.5 g de carbón activado.
- Poner a calentar el tubo hasta que llegue a ebullición y dejarlo ebullicir por 5 minutos exactos.
- Dejar enfriar y reponer el agua perdida.
- Filtrar la solución obtenida con papel filtro Watman 40 (7).

## **C. Solución extractora Mehlich III**

### **Procedimiento de Extracción**

- Pesar 5 g de suelo, tamizado a 2 mm.
- Colocarlo en un tubo de polipropileno de 100 ml.
- Agregar 10 mg de carbón activado.
- Adicionar 25 ml de solución extractora.
- Agitar por 5 minutos a 400 r.p.m.
- Filtrar la solución en un papel filtro watman 40 (12).

### **2.5.5.2 Cuantificación de azufre**

Para la cuantificación de azufre se utilizó el espectrofotómetro colorímetro, utilizando la técnica de turbidimetría.

#### **Preparación de solución turbidimétrica:**

- Disolver 5 g de goma arábica en 500 ml de agua caliente.
- Dejar enfriar y adicionar 50 g de cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Adicionar 450 ml de ácido acético.
- Aforar a 1 L con agua destilada.

### **Preparación de muestras para determinar azufre**

- Se toma una alícuota de 10 ml del extracto obtenido con cada procedimiento de extracción.
- se adicionan 10 mililitros de la solución turbidimétrica.
- Realizar la lectura con el espectrofotómetro colorímetro.

Previo a cuantificar el azufre con el equipo mencionado, se debe calibrar la curva de trabajo, para el caso particular del azufre se trabajó con los puntos 2, 6, 10, 20, 30, 40 ppm, estos puntos se prepararon tomando como base una solución estándar de 100 ppm. Para preparar esta solución estándar se pesaron 0.5435 g de  $K_2SO_4$  seco a  $105^\circ C$  y se disolvieron en 500 ml de agua destilada y luego se le adicionaron 10 ml de ácido acético y se aforó a un litro.

Para la preparación de los puntos de la curva se tomaron 1, 3, 5, 10, 15, 20 ml de la solución estándar de 100 ppm de S y se colocaron en balones aforados de 50 ml, se les adicionaron 10 ml de solución turbidimétrica y se aforó con agua destilada, es importante mencionar que cuando se trabajó con la solución de Fosfato monocálcico se utilizó ésta misma para aforar los puntos de la curva, esto es necesario para mantener la concentración matricial puesto que ésta solución trabaja con una concentración de 500 ppm de fósforo.

El espectrofotómetro colorímetro debe calibrarse a una longitud de onda de 670 nanómetros para el caso en particular del azufre (8).

## **2.5.6 Metodología experimental**

### **2.5.6.1 Fase de invernadero**

Fue necesario montar un ensayo a nivel de invernadero (prueba biológica) para obtener los valores de biomasa utilizados en la determinación de los rendimientos relativos y correlacionar estos valores con los índices de azufre extraídos con las diferentes soluciones sometidas a evaluación.

### **2.5.6.2 Diseño experimental**

Se utilizó el diseño completamente al azar con 2 tratamientos y 3 repeticiones, éste se utilizó únicamente para obtener la media aritmética de los valores de rendimiento relativo; para dicho ensayo se utilizó sorgo como planta indicadora.

### **2.5.6.3 Tratamientos evaluados**

Testigo = N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, B.

Completo = N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, B + S.

### **2.5.6.4 Unidad experimental**

Cada unidad experimental se conformó por una maceta de plástico con capacidad para 1 kg de suelo. El total de unidades experimentales fue de 114.

### **2.5.7 Variable evaluada**

#### **2.5.7.1 Materia seca expresada en rendimiento relativo (RR)**

Este valor se obtuvo con los valores de materia seca obtenidos a los 30 días después de la siembra, utilizando la siguiente fórmula:

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

### **2.5.8 Manejo agronómico**

#### **2.5.8.1 Aplicación de elementos al suelo**

Los elementos aplicados y la cantidad que se suministró de éstos se realizaron en base a los análisis de caracterización practicados a cada suelo. En esta etapa también se realizó la aplicación de azufre evaluado. La fuente de azufre utilizada, fue el ácido sulfúrico grado reactivo.

#### **2.5.8.2 Siembra**

Se colocaron 10 semillas de sorgo en cada maceta y previo a la siembra se llevó el suelo a un porcentaje de humedad aproximado a la capacidad de campo. Las semillas se enterraron a 0.03 m para garantizar su adecuada germinación.

### 2.5.8.3 Riego

La aplicación de riego se realizó en dos etapas: en los primeros 12 días se aplicaron 100 ml de agua / maceta a intervalos de dos días. A partir del día 13 se aplicaron 100 ml de agua a diario, debido al incremento del área foliar de las plantas.

### 2.5.8.4 Raleo

Esta actividad se realizó a los 5 días después de la germinación, se seleccionaron 5 plantas por maceta, buscando uniformidad en tamaño y desarrollo.

### 2.5.8.5 Aplicación de nitrógeno

La cantidad de nitrógeno aplicada fue de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  ésta cantidad se distribuyó en dos aplicaciones, la primera antes de la siembra y la segunda a los 15 días después de la germinación, aplicando 50% en cada evento.

### 2.5.8.6 Cosecha

Las plantas se cosecharon a los 30 días después de la siembra, éstas fueron cortadas con una tijera de jardín, a una altura 0.05 m del suelo, cada muestra fue colocada por individual en bolsas de papel Kraft debidamente identificadas.

### 2.5.8.7 Cuantificación de materia seca

Después de cosechadas las muestras se colocaron en un horno de convección graduado a  $65^{\circ}\text{C}$ , aquí permanecieron por 48 horas hasta que alcanzaron un peso constante. Estando completamente secas las muestras se pesaron en una balanza analítica, y de esta manera se cuantifica la materia seca.

## 2.5.9 Análisis de la información

### 2.5.9.1 Estudio de correlación

Se realizó un análisis de correlación entre los valores de rendimiento relativo y la cantidad de azufre extraído con cada solución extractora. Para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sqrt{(\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}) (\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n})}}$$

Donde: X es la variable independiente = Cantidad de azufre extraído.

Y es la variable dependiente = Rendimiento Relativo.

n = numero de suelos incluidos en la evaluación.

#### **2.5.9.2 Determinación del nivel crítico**

Para la determinación del nivel crítico para azufre se utilizó la metodología establecida por Cate y Nelson, en la cual es necesario plotear los datos de extracción de azufre en ppm, en el eje de coordenadas de X y el valor de rendimiento relativo en el eje de coordenadas de Y .

El procedimiento desarrollado fue el siguiente: los valores fueron ploteados en el eje de coordenadas de la manera como se mencionó anteriormente, seguidamente se tomó una hoja transparente dividida en cuadrantes conformados por líneas horizontales y verticales. Ésta hoja se sobrepone en los puntos ploteados, buscando dejar la mayor cantidad de puntos en los cuadrantes positivos (el inferior izquierdo y el superior derecho), y la menor cantidad en los demás cuadrantes. Al tener este esquema la línea horizontal coincidirá con el valor de rendimiento relativo bajo el cual, se estima que las respuestas serán altas o medias. El punto en el que la línea vertical corta el eje de las abscisas, se considera que el valor crítico de concentración del nutrimento en el suelo (15).

## 2.6 Resultados

Los suelos evaluados fueron caracterizados física y químicamente; los resultados obtenidos se presentan a continuación:

### 2.6.1 Características físicas y químicas de los suelos en estudio

En el cuadro 5, se dan a conocer los resultados obtenidos en la caracterización físico-química realizada a los suelos evaluados, en el laboratorio "Salvador Castillo" de la Facultad de Agronomía.

**Cuadro 5. Características Químicas de los suelos estudiados**

| Suelo | pH  | mg Kg <sup>-1</sup> |      | Cmol+ kg <sup>-1</sup> |      | mg Kg <sup>-1</sup> |      |      |       | % M.O | Clase Textural          |
|-------|-----|---------------------|------|------------------------|------|---------------------|------|------|-------|-------|-------------------------|
|       |     | P                   | K    | Ca                     | Mg   | Cu                  | Fe   | Zn   | Mn    |       |                         |
| 1     | 6,8 | 30                  | 525  | 10,6                   | 2,52 | 1,5                 | 6,5  | 14,5 | 34    | 2,69  | Franco arenoso          |
| 2     | 5,8 | 1,5                 | 215  | 6,86                   | 4,11 | 1                   | 2,5  | 55   | 120   | 2,11  | Franco Arcilloso        |
| 3     | 7,4 | 2,44                | 80   | 5,3                    | 13,7 | 1                   | 0,5  | 12   | 35,5  | 1,68  | Franco Arcillo- Arenoso |
| 4     | 5,6 | 2,63                | 97,5 | 10,3                   | 5,04 | 1,5                 | 1    | 11   | 30    | 2,08  | Arcilloso               |
| 5     | 7,1 | 67,6                | 330  | 12,5                   | 5,76 | 1                   | 4,5  | 10   | 26    | 2,18  | Franco Arenoso          |
| 6     | 6,5 | 10,7                | 378  | 8,73                   | 1,9  | 0,5                 | 3,5  | 10   | 9,5   | 5,46  | Franco Arenoso          |
| 7     | 5,9 | 12,1                | 245  | 9,04                   | 2,06 | 2                   | 3,5  | 35   | 37,5  | 2,21  | Franco Arenoso          |
| 8     | 5,6 | 7,61                | 435  | 6,86                   | 2,05 | 1,5                 | 3,5  | 49,5 | 61    | 2,21  | Franco Arcilloso        |
| 9     | 6,2 | 0                   | 323  | 11,5                   | 2,26 | 1                   | 8    | 6    | 21,5  | 2,96  | Franco Arcilloso        |
| 10    | 7   | 65,8                | 87,5 | 16,8                   | 2,42 | 1                   | 7,5  | 66,5 | 63    | 1,88  | Franco Arenoso          |
| 11    | 8,7 | 34,1                | 355  | 8,73                   | 5,81 | 0,5                 | 3,5  | 8    | 38    | 1,13  | Franco                  |
| 12    | 7,4 | 163                 | 268  | 19                     | 5,7  | 0,5                 | 4,5  | 3,5  | 35,5  | 1,27  | Franco Arenoso          |
| 13    | 8,8 | 187                 | 3975 | 18,7                   | 4,37 | 0,5                 | 4    | 2    | 21    | 1,79  | Franco Arcilloso        |
| 14    | 6,6 | 7,23                | 290  | 16,5                   | 2,72 | 0,5                 | 5    | 5    | 9     | 5,46  | Franco                  |
| 15    | 5,9 | 165                 | 140  | 24,6                   | 3,28 | 0,6                 | 47,6 | 33   | 54,2  | 7,06  | Arenoso -Franco         |
| 16    | 6,6 | 135                 | 180  | 12,2                   | 4,27 | 3                   | 9    | 25,5 | 72,5  | 2,48  | Franco Arcilloso        |
| 17    | 5,9 | 144                 | 253  | 14,7                   | 2,15 | 4                   | 16,5 | 48,5 | 62,00 | 2,46  | Franco Arcillo Arenoso  |
| 18    | 6,3 | 141                 | 295  | 3,43                   | 3,34 | 1,5                 | 7    | 17   | 25    | 2,01  | Franco Arcillo Arenoso  |
| 19    | 6   | 64                  | 188  | 3,43                   | 1,18 | 1                   | 3    | 11,5 | 6     | 0,93  | Franco Arenoso          |

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo-Agua-Planta Salvador Castillo

Los suelos seleccionados se pueden dividir en dos grupos con respecto a sus valores de pH, suelos ácidos, con valores de pH de 5.4 a 6.8 y suelos básicos con pH de 7.0 a 8.8 los valores de materia orgánica encontrados van desde valores bajos (0.93 %) a altos (7.06 %), el 30% de los suelos seleccionados están por debajo de 12 ppm de fósforo, que corresponde al nivel crítico para éste elemento. Solamente 3 de los suelos evaluados presentaron valores inferiores al nivel crítico establecido para potasio (120 ppm), los otros

suelos no presentaron problemas de deficiencia de éste elemento. Tomando como referencia un valor de 6 meq/100g como nivel crítico para calcio se puede observar que tres suelos están por debajo de éste valor de los cuales los valores mas bajos de calcio corresponden a dos suelos ácidos y para magnesio solo se observa un suelo por debajo del nivel crítico. Al analizar los micro elementos encontramos que el cobre es el que está deficiente en la mayoría de los suelos; el hierro se encontró deficiente en menos del 50% de los suelos y con los elementos manganeso y zinc se encontraron pocas deficiencias, de las clases texturales dominaron las distintas combinaciones de texturas francas y arcillosas.

### 2.6.2 Azufre extraído con las soluciones extractoras

En el cuadro 6. se presentan los valores de azufre extraído con las tres soluciones evaluadas: fosfato monocálcico, Mehlich III y agua caliente y los valores de rendimiento relativo obtenidos para cada uno de los suelos en evaluación.

**Cuadro 6. Cantidades de azufre extraído con las soluciones estudiadas y valores de Rendimiento Relativo obtenido para los suelos evaluados.**

| Suelo | fosfato monocálcico<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | Mehlich III<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | agua caliente<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | RR ( % ) |
|-------|---|---------------------------------------|---|----------|
| 1     | 7.05  | 6.22                                  | 20,24                                   | 94,1     |
| 2     | 6.83  | 7.30                                  | 17,68                                   | 107      |
| 3     | 10.97   | 4.29                                  | 31,04                                   | 167      |
| 4     | 5.71  | 6.75                                  | 13,14                                   | 124      |
| 5     | 11.98   | 6.44                                  | 29,74                                   | 84,2     |
| 6     | 4.37  | 12.01                                 | 24,99                                   | 83,7     |
| 7     | 22.73   | 18.02                                 | 62,71                                   | 86,3     |
| 8     | 7.50  | 15.87                                 | 31,42                                   | 70,2     |
| 9     | 15.79   | 22.10                                 | 43,13                                   | 89,4     |
| 10    | 36.39   | 6.53                                  | 81,66                                   | 103      |
| 11    | 135.7   | 126.81                                | 409,00                                  | 106      |
| 12    | 76.81   | 43.86                                 | 39,54                                   | 92,9     |
| 13    | 360.53  | 218.64                                | 274,96                                  | 80,5     |
| 14    | 53.52   | 42.48                                 | 40,40                                   | 125      |
| 15    | 123.5   | 66.30                                 | 113,74                                  | 103      |
| 16    | 73.34   | 40.98                                 | 55,67                                   | 114      |
| 17    | 203.33  | 223.69                                | 115,72                                  | 117      |
| 18    | 92.37   | 66.09                                 | 128,63                                  | 108      |
| 19    | 7.17  | 7.72                                  | 30,83                                   | 86,6     |

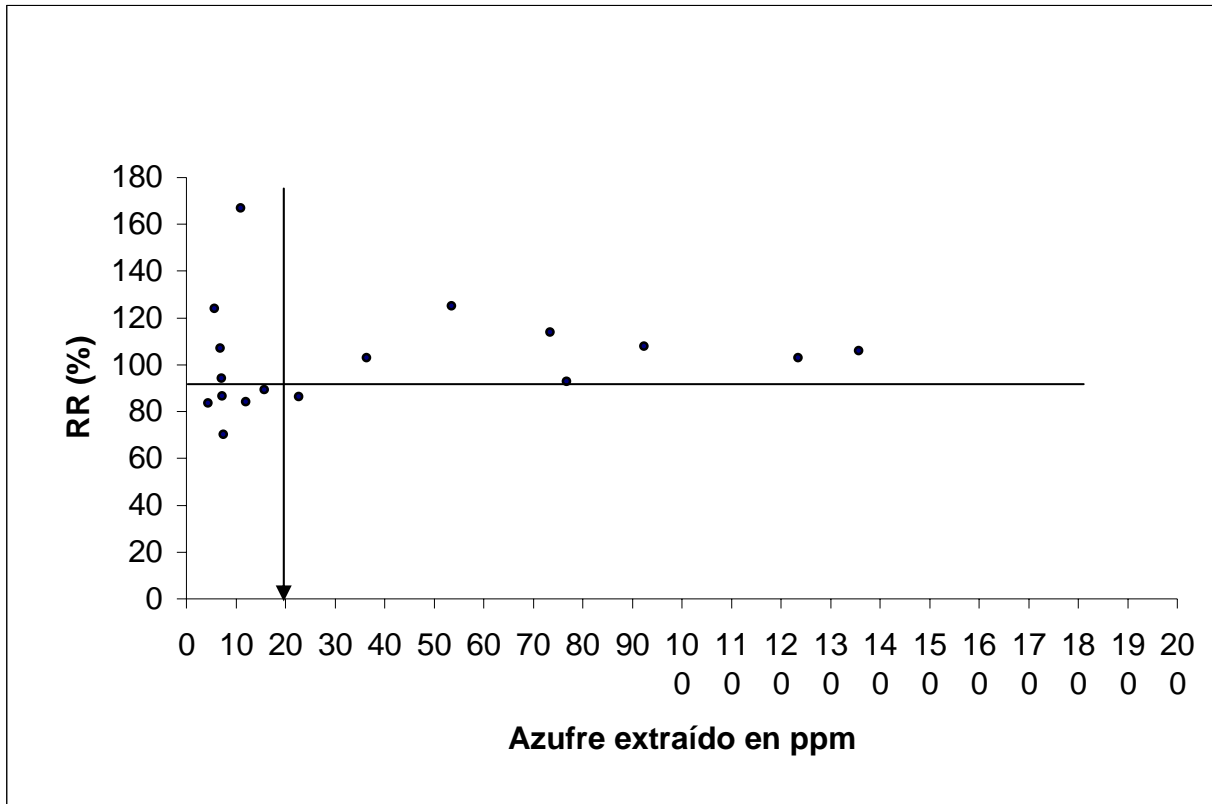
Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo-Agua-Planta Salvador Castillo



Para éste grupo de suelos evaluados, la solución Mehlich III presentó los valores más bajos de extracción de 4.29 a 223.7 ppm, seguida de la solución fosfato monocálcico extrajo valores de azufre en el rango de 5.71 a 360.5 ppm, con valores de extracción de 13.14 a 409 ppm es evidente que el agua caliente fue la solución que extrajo los mayores valores de azufre.

Valores de Rendimiento Relativo (RR) arriba de 100% indican que la aplicación del elemento en evaluación (en este caso azufre) causa un efecto contrario, en la producción de materia seca, generalmente éste caso se da cuando los valores de extracción son altos y el aplicar más del elemento evaluado provoca dicho comportamiento, sin embargo los suelos 2, 3 y 4 reportan bajos valores de extracción de azufre con las tres soluciones extractoras, la explicación que se puede dar en el caso de estos tres suelos es que al observar los niveles de fósforo que poseen son muy bajos y a pesar de haber buscado suplementar la deficiencia con una aplicación de 50 ppm a cada suelo, ésta aplicación no logró complementar la deficiencia como se esperaba pues éstos suelos reportan valores de materia seca muy por debajo de la media obtenida en la evaluación.

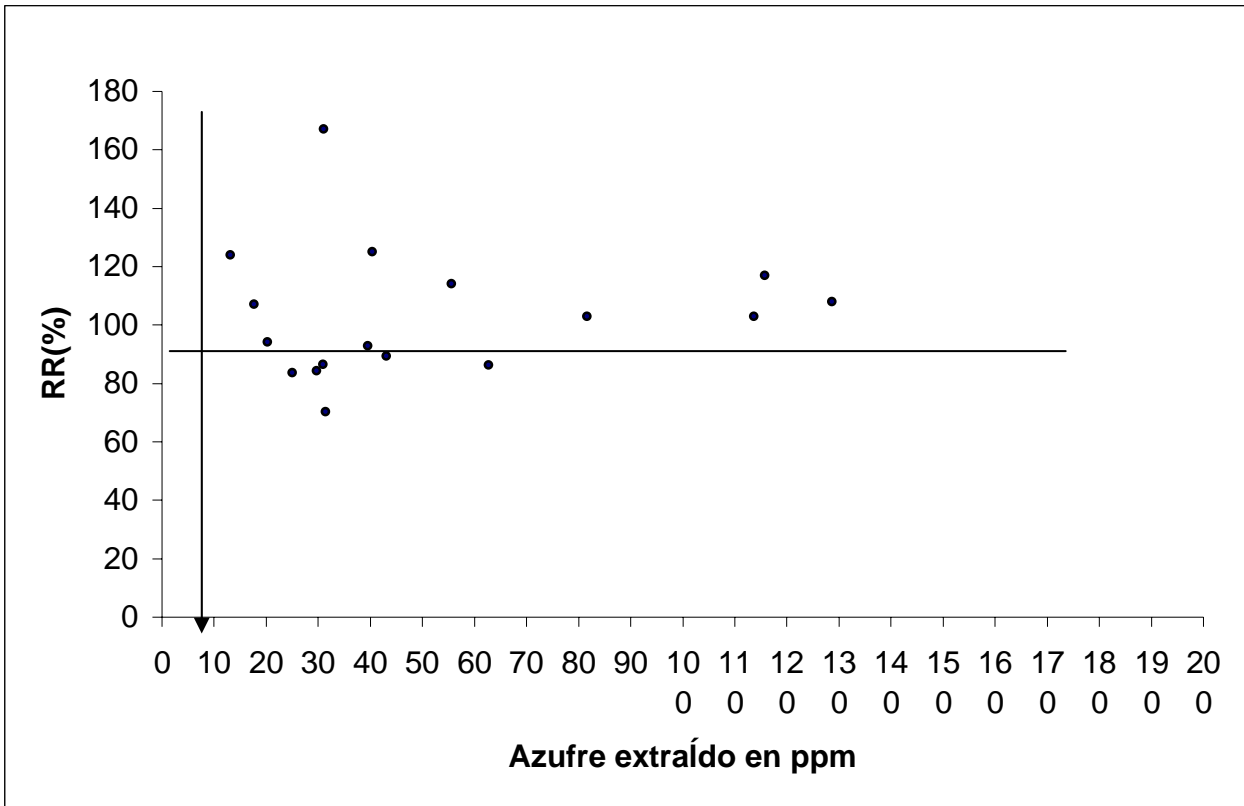
### 2.6.3 Nivel crítico determinado por el método de fosfato monocálcico



**Figura 3** Nivel Crítico para azufre con el método fosfato monocálcico.

La figura 3 muestra el nivel crítico determinado con la solución fosfato monocálcico el cual corresponde a un valor por debajo de 20 ppm, por la distribución general de los datos no se puntualiza en un determinado valor, sin embargo éste valor está muy cercano al obtenido por Díaz-Romeu y Hunter 1978, que corresponde a 12 ppm, éste valor se encuentra dentro del rango de niveles críticos determinados en otros lugares como Nueva Zelanda y varios estados de Estados Unidos quienes reportan valores en el rango de 3 a 20 ppm, dentro de los cuales en el estado de Wisconsin se reporta un valor de 14 ppm, así mismo Cabalceta (4) reporta 10 ppm como nivel crítico, para suelos de Costa Rica.

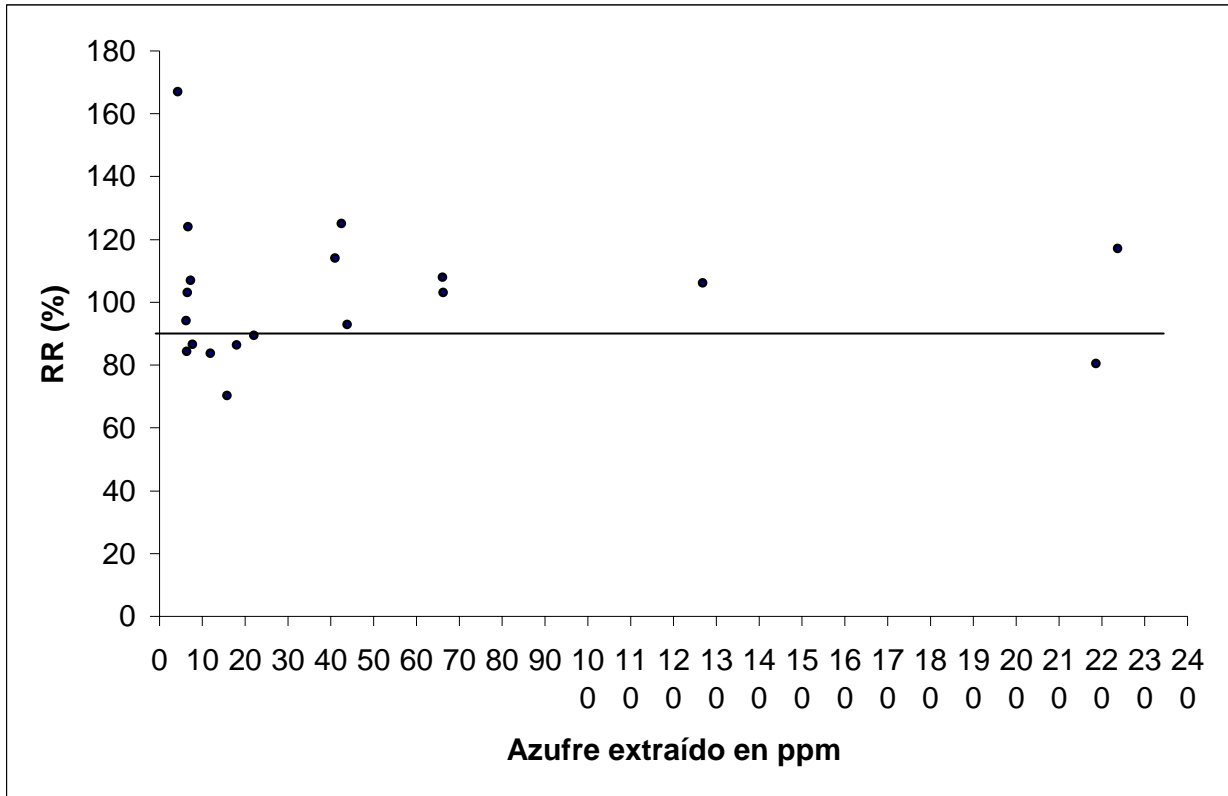
#### 2.6.4 Nivel crítico determinado por el método de agua caliente



**Figura 4** Nivel Crítico para azufre con el método agua caliente.

La figura 4 nos muestra el valor crítico determinado con la solución agua caliente el cual está por debajo de 10 ppm, es interesante observar que el valor de éste es el más bajo obtenido en la evaluación a pesar de que con esta solución se obtuvieron los valores más altos de extracción, el nivel crítico obtenido concuerda por el reportado por Takkar 1988 quien reporta un valor de 12.5 ppm utilizando maíz como planta indicadora (4).

### 2.6.5. Nivel crítico determinado por el método Mehlich III

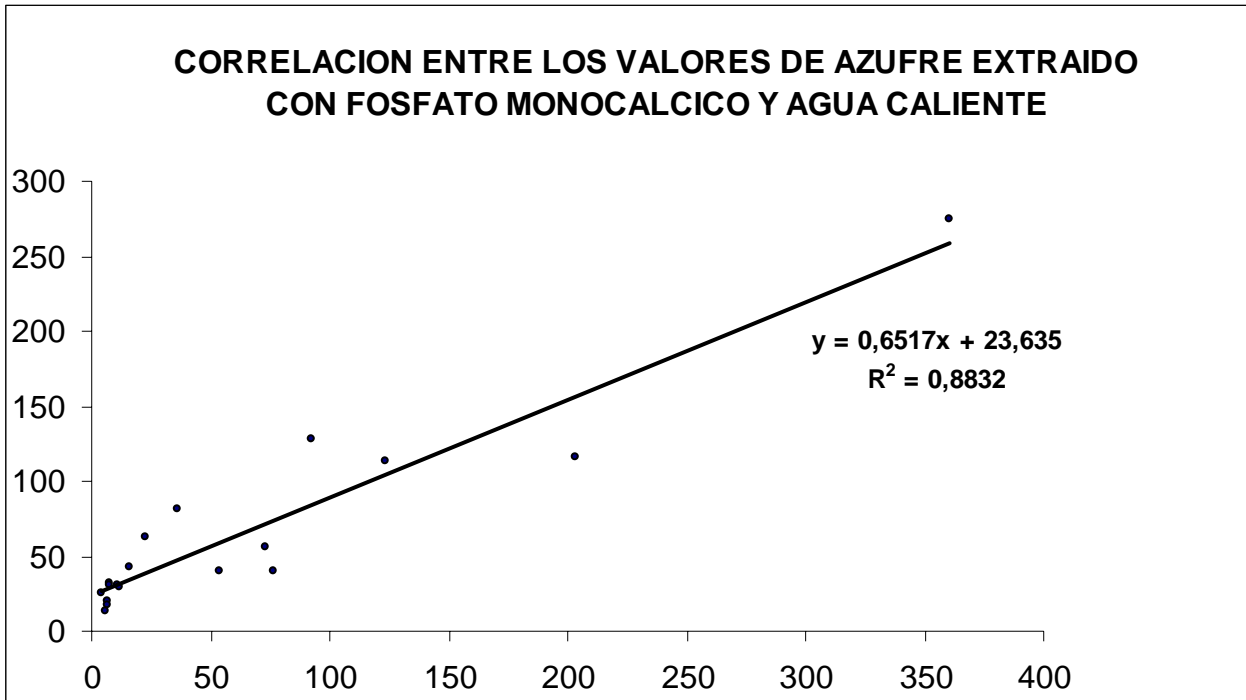


**Figura 5** Nivel Crítico para azufre con el método Mehlich III.

En la figura 5 se observa la distribución de los puntos obtenidos, ésta distribución se considera poco consistente para utilizarla y determinar un primer nivel crítico con los suelos evaluados debido a que altos valores de extracción hay altos valores de rendimiento relativo lo que a primera vista indica que no hay correlación, por lo tanto, no se determinó un nivel crítico de azufre con la solución extractora Mehlich III.

### 2.6.6 Análisis de correlación entre soluciones evaluadas

Se realizó el análisis de correlación entre las soluciones fosfato monocálcico y agua caliente con el objetivo de observar la congruencia que existe entre las cantidades de azufre extraído entre ambas soluciones. Se descartó realizar el análisis de las soluciones fosfato monocálcico y agua caliente con Melhich III ya que con la última no se logró determinar un primer nivel crítico.



**Figura 6** Correlación entre los valores de azufre extraídos por las soluciones fosfato monocálcico y agua caliente.

La figura 6 muestra el comportamiento de las cantidades de azufre extraídos con las soluciones fosfato monocálcico y agua caliente, a si mismo se muestra la ecuación de correlación, en éste caso el valor del coeficiente de correlación tuvo un valor de 0.8832 el cual no indica que hay buena correlación entre ambas soluciones pues está arriba de 0.7 que indica que la correlación mostrada es buena, con éste resultado se muestra la aceptable afinidad entre éstas soluciones, con lo que se pueden obtener valores de extracción de azufre con fosfato monocálcico al sustituir los valores de extracción de azufre con agua caliente en la ecuación obtenida.

## 2.7 Conclusiones

7.1 Para los suelos evaluados se determinó un primer nivel crítico por debajo de 20 ppm con la solución fosfato monocálcico y menor de 10 ppm con la solución agua caliente. por la inconsistencia presentada por los datos obtenidos con la solución Mehlich III no se determinó un primer nivel crítico. Por lo que no se rechaza la hipótesis planteada.

7.2 El estudio de correlación muestra que existe una buena correlación entre las soluciones fosfato monocálcico y agua caliente pues el valor del coeficiente  $R^2$  obtenido fue de 0.8832 permitiendo esto sustituir valores entre estas soluciones en caso de ser necesario.

7.3 Para el grupo de suelos evaluados, la solución Mehlich III presentó los valores más bajos de extracción que van de 4.29 a 223.7 ppm, seguida de la solución fosfato monocálcico que extrajo azufre en el rango de 5.71 a 360.5 ppm y con valores de 13.14 a 409 es evidente el agua caliente fue la solución que extrajo los mayores valores de azufre.

7.4 A pesar de que con la solución agua caliente se obtuvieron los valores más altos de extracción de azufre, con esta se encontró el nivel crítico mas bajo de la evaluación.

## 2.8 Recomendaciones

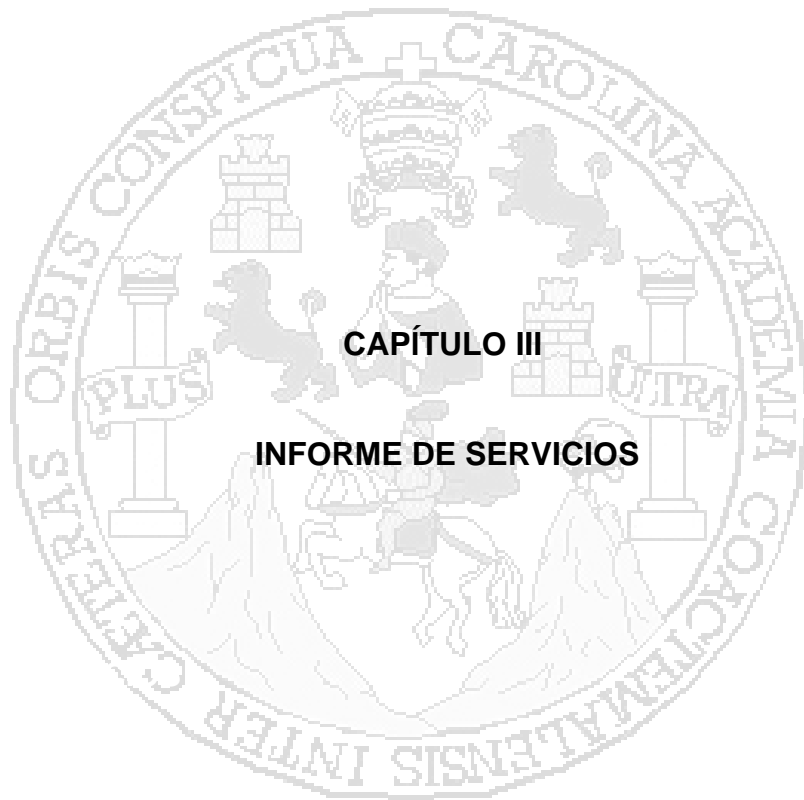
- 8.1 Se recomienda continuar con la calibración de metodologías para la extracción de azufre en suelo a nivel de invernadero con el fin de seleccionar la solución que pueda ser implementada en los análisis de rutina de los diferentes laboratorios de análisis a nivel nacional
- 8.2 Implementar el uso de diferentes cultivos en las evaluaciones de azufre a nivel de invernadero con el fin de seleccionar uno específico para este elemento.
- 8.3 Ampliar los tiempos de calentamiento, al utilizar la solución agua caliente con el fin de tener un rango más amplio que permita generar mayor información al trabajar con esta solución.

## 2.9 Bibliografía

1. Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
2. Bornemisza, E. 1990. Problemas del azufre en suelos y cultivos de Mesoamérica. San José. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 45 p.
3. Cabalceta, G; Bornemisza, E. 1995. Correlación de soluciones extractoras de azufre en suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 19(1):39-45.
4. Cabalceta, G; Cordero, A. 1994. Niveles críticos de azufre en ultisoles, inceptisoles, vertisoles y andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(2):162-174.
5. Cajuste, LL. 1986. El fósforo aprovechable en los suelos. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados de Chapingo, Centro de Edafología. 20 p.
6. Cate, RB; Nelson, LA. 1965. Modelos discontinuos para una rápida correlación interpretación y utilización de los datos de análisis y la respuesta a los fertilizantes. Trad. Isabel Mendoza. Carolina del Norte, US, Carolina del Norte, Universidad Estatal. p. 123.
7. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (1, 1980, CO). Memorias: suelos ecuatoriales. *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo* 12(1):36.
8. Fassbender, HW. 1975. Química de suelos, con énfasis a suelos de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA. p. 308-319.
9. Guerrero, A. 1999. Métodos para el análisis químico de azufre en suelo. Tesis MSc. Texcoco, México, Universidad de Chapingo. 120 p.
10. Herrarte Orantes, JA. 1987. Correlación de tres soluciones extractoras de fósforo y determinación del nivel crítico, bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Centro Universitario de Occidente. 31 p.
11. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidróloga, GT). 2006. Boletín informativo sobre estaciones metereológicas. Guatemala. s.p.
12. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, US. 1967. Annual reports. North Carolina, US, North Carolina State University. 86 p.
13. Ramos Santos, NA. 2003. Evaluación del fósforo extraído con dos soluciones extractoras en 19 suelos del altiplano occidental de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad Agronomía. 39 p.



14. Ranero, C. 1974. Estudio de correlación de un método analítico para la determinación de azufre y la respuesta a la aplicación de ese elemento en 25 suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 38 p.
15. Sagastume, G. 1995. Evaluación de metodologías para extracción de azufre en suelos a diferentes pH y contenido de materia orgánica. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 50 p.
16. Sierra, R. 1989. Determinación del nivel crítico de azufre y boro empleando dos soluciones extractoras para cada elemento en 25 suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas. 56 p.
17. Suelos y el azufre en la atmósfera (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 22 feb 2006. Disponible en <http://produccion.com.ar>
18. Tisdale, SL; Nelson, WL. 1987. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Trad. Jorge Balasch. México, México, Editorial Hispano Americana. 760 p.



**CAPÍTULO III**

**INFORME DE SERVICIOS**

### 3.1 Presentación

El laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo”, es un laboratorio de servicio para la comunidad agrícola de Guatemala, ya que éste ofrece una diversa gama de análisis químicos y físicos en suelos y análisis químicos de plantas y agua. Algunos de los análisis químicos son pH, Materia Orgánica, Nitrógeno total, Elementos disponibles entre otros. De los análisis físicos se pueden mencionar: análisis granulométrico, densidad aparente, densidad real y muchos más.

Como complemento al trabajo de graduación se presenta el informe de los servicios realizados durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), que se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el período de Febrero a Noviembre del año 2006. Donde se prestaron los siguientes servicios: apoyo de las actividades realizadas diariamente en el laboratorio tales como recepción y preparación de muestras de suelo, agua y planta, participación directa en las diferentes determinaciones de características físicas (densidad aparente y análisis granulométrico) y químicas ( pH. M.O. y Conductividad Electrica) de suelo, así como la implementación de una metodología para la extracción de azufre en suelo y la implementación de la determinación de azufre en suelo y planta. Para poder desarrollar adecuadamente todas las actividades dentro del laboratorio fue indispensable la ayuda de los laboratoristas que tiene a su cargo las diversas actividades en el mismo.

## **1.1 SERVICIO No 1 APOYO A LAS ACTIVIDADES DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO, AGUA Y PLANTA “SALVADOR CASTILLO”**

### **3.2.1. Objetivos:**

- 3.2.1.1. Apoyar actividades tales como recepción y preparación de muestras de suelo, agua y planta para sus respectivos análisis en el laboratorio “Salvador Castillo”.
- 3.2.1.2. Contribuir a la realización de los análisis de carácter químico como lo son la determinación de la materia orgánica en el suelo, la determinación de la conductividad eléctrica y la determinación electromecánica del pH.
- 3.2.1.3. Colaborar con la realización de los distintos análisis físicos desarrollados en el laboratorio; tales como el análisis granulométrico, determinación de la densidad aparente del suelo, entre otros.

### 3.2.2 Metodología

Para llevar a cabo los distintos análisis químicos y físicos en el laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Planta “Salvador Castillo” es necesario seguir las rutinas para cada análisis. La rutina, inicia con la recepción de las muestras y termina en el análisis como tal.

**a) Recepción de la muestra** Las muestras se reciben tal como el encargado de la finca o unidad productora las envía al laboratorio, son ingresadas al denominado Libro de Ingresos, en el cual se anotan los diferentes datos de interés para el laboratorio con respecto a la procedencia de la muestra, así como la identificación de la misma (2).

**b) Preparación de la muestra** El proceso de preparación de la muestra es el mismo tanto para los análisis físicos como para los análisis químicos (2).

**c) Secado** Consiste en colocar las muestras sobre papel prensa, en mesas dentro del laboratorio en un lugar ventilado y a la sombra. El horno no es utilizado para secar las muestras ya que al someter la muestra a una alta temperatura, ésta puede sufrir modificaciones químicas. Es importante mencionar que en el papel en el cual se coloca la muestra se escriben las especificaciones de identificación de la muestra para mantener el control de cada una de las muestras ingresadas (2).

**d) Reducción del tamaño de los agregados** Ésta se realiza en los casos que es necesario, o sea, cuando las muestras vienen en agregados muy grandes, es necesario reducirlas para que las partículas puedan pasar por el tamiz de 2 mm y obtener una muestra homogénea, dicha práctica, se realiza golpeando los agregados con un mazo sobre una superficie sólida y plana cubierta con periódico (2).

**e) Tamizado** Esta actividad, es realizada utilizando un tamiz de acero inoxidable ( para no alterar las condiciones químicas del suelo), el cual posee un diámetro de malla de 2 mm, diámetro de partículas utilizado para la mayoría de análisis en el laboratorio (2).

**f) Almacenamiento e Identificación** Las muestras tamizadas a 2 mm, son almacenadas en bolsas de plástico, las cuales están debidamente identificadas con la información de la muestra, de ésta manera se lleva el control de los distintos análisis, antes de ingresarlos al banco principal de datos con que cuenta el laboratorio. Las muestras tamizadas e identificadas se colocan en un lugar fresco y limpio, alejadas de los lugares donde puedan ser contaminadas, esto para garantizar la veracidad de los resultados (2).

### 3.2.2.1 Determinación de Materia Orgánica (M.O.) en el suelo

En el laboratorio “Salvador Castillo” se determina el porcentaje de M. O. en el suelo por medio del método: Walkley – Black (2).

#### Reactivos utilizados:

1. Bicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N.
2. Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) grado industrial
3. Ácido fosfórico concentrado al 96% grado reactivo.
4. Difenilamina sulfónica, al 16%.
5. Sulfato Ferroso ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 1N.

#### Procedimiento seguido:

- Se tamiza el suelo en un tamiz de 0.5 mm (60 mesh).
- Con balanza analítica se pesa de 0.1 a 0.5 g si son suelos orgánicos, y de 0.5 a 2.0 g. si son suelos minerales.
- Se coloca el suelo en un earlenmeyer de 500 ml.
- Se prepara el testigo con todos los reactivos y pasos, excepto el suelo.
- A cada earlenmeyer se le agrega exactamente 10 ml. de la solución de  $K_2Cr_2O_7$  1N, usando una pipeta volumétrica. Se agita cuidadosamente el earlenmeyer para dispersar el suelo en la solución, en forma vigorosa por lo menos durante un minuto, para lograr una oxidación completa de la muestra.

- Se adicionan 20 ml de ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  concentrado (grado industrial) haciendo uso de una probeta inmediatamente después agitar el earlenmeyer. Este paso se hace en la campana de extracción de gases.
- Se deja reposar los earlenmeyer durante 30 minutos.
- Se agregan 200 ml. de agua, no necesariamente purificada. 10 ml. de  $H_3PO_4$  y de 5 a 8 gotas del indicador difenilamina sulfónica. Después de esto, la solución toma un color azul oscuro.
- Se titula con  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  agregando el reactivo gota a gota con micro bureta. El punto final de la titulación será indicado por un cambio en el color azul oscuro a verde brillante. Si el gasto de sulfato ferroso es mayor de 8ml hay que repetir la determinación usando más suelo; y si el gasto es menor de 2 ml la cantidad de suelo a usarse tendrá que ser menor (2).
- Se determina el porcentaje de carbono orgánico (c.o) con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ c. o.} = \frac{\text{ml } FeSO_4 \cdot 7H_2O \text{ Testigo} - \text{ml } FeSO_4 \cdot 7H_2O \text{ muestra} * N \text{ } FeSO_4 * 0.39}{\text{Peso del Suelo (base seca)}}$$

- Para determinar el porcentaje de M.O se emplea la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ de C.O.} * 1.724$$

### 3.2.2.2. Determinación electromecánica de pH

La determinación de pH se realiza de una forma electromecánica, utilizando el medidor de pH denominado Potenciómetro (2).

#### Reactivos utilizados

Agua Destilada.

Soluciones buffer de pH 4- 7-10.

**Procedimiento de laboratorio:**

- Calibración del Potenciómetro: Para esto, es necesario utilizar soluciones reguladas a pH de 4, 7 y 10, las cuales funcionan como patrón, se debe calibrar a una temperatura de 25 °C.
- Al estar calibrado el potenciómetro, se toma un volumen de 10 g de suelo tamizado a 2 mm con en un medidor de volumen.
- Se agregan 25 ml de agua destilada, y se agita la suspensión con una varilla de vidrio en intervalos regulares durante una hora. Se agita enérgicamente la suspensión y se mide el pH en el primer minuto después de haber introducido el electrodo en la solución (2).
- Se registran los resultados en el banco de datos .

**3.2.2.3. Determinación de la conductividad eléctrica (2)****Materiales y reactivos**

- Conductímetro.
- Agua destilada.
- Suelo.
- Agitador.

**Metodología**

- Se toman 10 gr. de suelo y se colocan en un beacker de 100 ml.
- Se adicionan 50 ml de agua destilada
- Se deja agitando por 5 minutos, y luego se lee la conductividad eléctrica por medio de un conductímetro utilizando la escala microsiemens ( $\mu\text{S}$ )/cm.
- Para determinar la conductividad eléctrica del suelo, la lectura se multiplica por 5, porque la dilución hecha es de 1:5

**3.2.2.4 . Análisis granulométrico de suelo**

Para el análisis granulométrico de suelo, se utiliza el método del hidrómetro de Bouyucus (2).



**Equipo**

- Balanza monoplano.
- Beakers de 250 ml.
- Barilla de vidrio.
- Pizeta.
- Agitadores eléctricos (con sus copas metálicas).
- Cilindros de sedimentación.
- Tapón de hule.
- Hidrómetros y termómetros.

**Reactivos**

- Agua.
- Calgón ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 1 N.

**Procedimiento**

- Se Pesan 50 g de suelo secado al aire, si el suelo es de textura fina (arcilloso) ó 100 gr. si éste es de textura gruesa (arenoso); la muestra debe estar tamizada a 2 mm.
- La muestra se coloca en un beacker de 250 ml. Se agrega agua destilada hasta la mitad y se adicionan 10 ml de calgón.
- Se agita la mezcla con una varilla de vidrio y se deja en reposo, por lo menos, durante 16 horas. Este tiempo de humedecimiento del suelo con el agente dispersante, sirve para eliminar los problemas de floculación que pudieran presentarse por la presencia de materia orgánica en el suelo.
- Con la ayuda de una pizeta, se traslada la muestra remojada al vaso de agitación y se llena hasta 2/3 con agua destilada y se agita por 10 minutos.
- Se traslada la suspensión a un cilindro de sedimentación, agregando agua a temperatura ambiente hasta un poco más de la mitad, se introduce cuidadosamente el hidrómetro y se llena hasta la marca inferior del cilindro.
- Se remueve el hidrómetro y se coloca un tapón de hule en la boca del cilindro.
- Se agita la suspensión, volteando el cilindro hacia abajo y luego hacia arriba durante

un minuto (de 20 a 30 movimientos durante ese minuto). Se trata de distribuir uniformemente las partículas del suelo en el líquido, logrando así una suspensión homogénea y evitar que posteriormente (durante el asentamiento), se formen corrientes circulatorias que afecten la velocidad de sedimentación de las partículas.

- Inmediatamente, después de la última vuelta del cilindro hacia arriba, se debe colocar en una superficie firme y tomar el tiempo. Al haber mucho burbujeo o espuma en la superficie se debe agregar de 1 a 3 gotas de alcohol isoamílico, inmediatamente después de la agitación.
- A los 20 segundos, se introduce cuidadosamente el hidrómetro, se libera en la suspensión y a los 40 segundos exactos se toma la primera lectura.
- Inmediatamente, se debe sacar el hidrómetro y lavarlo introduciéndolo en un cilindro con agua.
- Cuidadosamente se introduce el termómetro en la suspensión, se observa y anota la temperatura.
- A las dos horas exactas, se debe tomar nuevamente la segunda lectura del hidrómetro tal como se realizó la primera vez (2).

### **3.2.2.5. Determinación de la densidad aparente**

Esta característica física del suelo, se determina en el laboratorio básicamente con el método de la probeta y consiste en lo siguiente :

- Se toma el peso de una probeta seca y limpia.
- Se agregan 40 g de suelo seco y tamizado a 2 mm.
- Se tapa la probeta con un tapón de hule, o la palma de la mano y se compacta el suelo golpeando el fondo de la misma sobre un material suave (hule, papel, etc.) unas 10 veces desde una altura aproximada de 5cm (con esto, se simula la compactación en el campo).
- Se determina el volumen que ocupa.
- Utilizando la relación de la densidad que es  $m/v$ , se determina el valor de la misma (2).

### **3.2.3 Resultados**

Durante el desarrollo del EPS se cumplió con los objetivos planteados, al participar activamente en la recepción de muestras en laboratorio las cuales quedaron registradas en el libro de ingreso de estas, el total de muestras recibidas asciende a 2300 . Además se realizaron 580 determinaciones electromecánicas de pH, 275 determinaciones de conductividad eléctrica, 650 análisis de materia orgánica. 625 determinaciones de densidad aparente y 375 análisis granulométricos

### **3.2.4 Evaluación**

El desarrollar éste servicio en el laboratorio de Análisis de Suelo Planta y Agua de la Facultad de Agronomía, permitió adquirir destrezas especializadas relacionadas al trabajo de laboratorio con lo que se pudo ampliar de adecuadamente lo aprendido en la teoría sobre las características físicas y químicas del suelo. Esto, ayuda a entender de mejor manera la diversidad de procesos que en éste se desarrollan; y por ende, poder trabajar mejor a nivel de campo. Lo mencionado anteriormente es muestra de que se logró cubrir los objetivos planteados al inicio al participar activamente en las actividades del laboratorio, es importante mencionar que todos los análisis realizados fueron evaluados y aprobados por el Ing. Agr. Aníbal Sacbajá, actual encargado del laboratorio.

### **3.3 SERVICIO No 2 IMPLEMENTACIÓN DE UNA RUTINA DE TRABAJO PARA LA EXTRACCIÓN DE AZUFRE DISPONIBLE EN SUELO.**

#### **3.3.1. Objetivos**

- 3.3.1.1 Implementar una rutina de trabajo para la extracción de azufre disponible en suelo para su uso en el Laboratorio “Salvador Castillo”.
- 3.3.1.2 Realizar extracciones de azufre disponible en suelo después de la implementación de la rutina utilizada para la extracción.

### 3.3.2 Metodología

Debido a que en el laboratorio “Salvador Castillo” no estaba bien definida una metodología de rutina para la extracción de azufre disponible en suelo se procedió a definir una para iniciar con la extracción de este elemento en el laboratorio, la seleccionada fue la metodología que incluye a la solución extractora fosfato monocálcico (1).

#### 3.3.2.1 Procedimiento de extracción de azufre:

- Pesar 10 g. de suelo y colocarlo en un tubo de polipropileno de 100 ml.
- Añadir 25 ml. de solución extractora.
- Agregar 10 mg. de carbón activado.
- Agitar durante 30 minutos a 180 oscilaciones por minuto.
- Filtrar la suspensión con papel filtro Watman 42 (1).

#### 3.3.2.2 Cuantificación de azufre

Para la cuantificación de azufre se utilizó el espectrofotómetro colorímetro, utilizando la técnica de turbidimetría (1).

Preparación de solución turbidimétrica:

- Disolver 5 g. de goma arábica en 500 ml de agua caliente.
- Dejar enfriar y adicionar 50 g de Cloruro de Bario ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Adicionar 450 ml. de Ácido acético.
- Aforar a 1 L. con agua destilada

#### Preparación de muestras para determinar azufre

- Se toma una alícuota de 10 ml. del extracto obtenido con cada procedimiento de extracción.
- Se adicionan 10 mililitros de la solución turbidimétrica.
- Realizar la lectura con el espectrofotómetro colorímetro.

Previo a cuantificar el azufre con el equipo mencionado, se debe calibrar la curva de trabajo, para el caso particular del azufre se trabajó con los puntos 2, 6, 10, 20, 30, 40 ppm, éstos puntos se prepararon tomando como base una solución estándar de 100

ppm. Para preparar ésta solución estándar se pesaron 0.5435 g de  $K_2SO_4$  seco a  $105^\circ C$  y se disolvieron en 500 ml. de agua destilada, se le adicionaron 10 ml. de ácido acético y se aforó a un litro.

Para la preparación de los puntos de la curva se tomaron 1, 3, 5, 10, 15, 20 ml de la solución estándar de 100 ppm de S y se colocaron en balones aforados de 50 ml, se les adicionaron 10 ml de solución turbidimétrica y se aforó con agua destilada, es importante mencionar que cuando se trabajó con la solución de Fosfato monocálcico se utilizó ésta misma para aforar los puntos de la curva, esto es necesario para mantener la concentración matricial puesto que ésta solución trabaja con una concentración de 500 ppm de fósforo (1).

### 3.2.3. Resultados

**Cuadro 7.** Cantidades de azufre extraído en 38 suelos utilizando la metodología de extracción de azufre con fosfato monocálcico.

| Suelo No. | fosfato monocálcico (mg kg <sup>-1</sup> ) | Suelo No. | fosfato monocálcico (mg kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------|--|-----------|--|
| 1         | 7.05                                       | 20        | 20,24                                      |
| 2         | 6.83                                       | 21        | 17,68                                      |
| 3         | 10.97                                      | 22        | 31,04                                      |
| 4         | 5.71                                       | 23        | 13,140                                     |
| 5         | 11.98                                      | 24        | 29,74                                      |
| 6         | 4.37                                       | 25        | 24,99                                      |
| 7         | 22.73                                      | 26        | 62,71                                      |
| 8         | 7.5  | 27        | 31,42                                      |
| 9         | 15.79                                      | 28        | 43,13                                      |
| 10        | 36.39                                      | 29        | 81,66                                      |
| 11        | 135.7                                      | 30        | 409,0                                      |
| 12        | 76.81                                      | 31        | 39,54                                      |
| 13        | 360.53                                     | 32        | 274,96                                     |
| 14        | 53.52                                      | 33        | 40,40                                      |
| 15        | 123.5                                      | 34        | 113,74                                     |
| 16        | 73.34                                      | 35        | 55,67                                      |
| 17        | 203.33                                     | 36        | 115,72                                     |
| 18        | 92.37                                      | 37        | 128,63                                     |
| 19        | 7.17                                       | 38        | 30,89                                      |

El cuadro 7 muestra valores de azufre extraídos en muestras de suelos de diferentes procedencias, se logra apreciar un rango de extracción de 4.37 a 439 mg kg<sup>-1</sup>. en éste cuadro se coloca una parte de los resultados ya que se realizó la extracción de azufre a un total de 215 muestras

### 3.2.4. Evaluación

Al lograr Implementar esta rutina de trabajo se cumple con los objetivos planteados, es necesario perfeccionarla con el paso del tiempo y esto permitirá que pueda incluirse dentro de los análisis del laboratorio, la determinación de azufre en suelo. Cabe mencionar que dicha rutina es sencilla, y la preparación de la solución extractora utilizada en la misma es fácil de realizar, lo que brinda una ventaja en la rutina de trabajo.

### 3.2.5. Bibliografía

1. Guerrero, A. 1999. Métodos para el análisis químico de azufre en suelo. Tesis MSc. Texcoco, México, Universidad de Chapingo. 120 p.
2. Sacbajá Galindo, AO. 2008. Información general del laboratorio de análisis de suelo, agua y planta "Salvador Castillo" (entrevista). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Laboratorio de Análisis de Suelo, Planta, Agua y Ambiente.