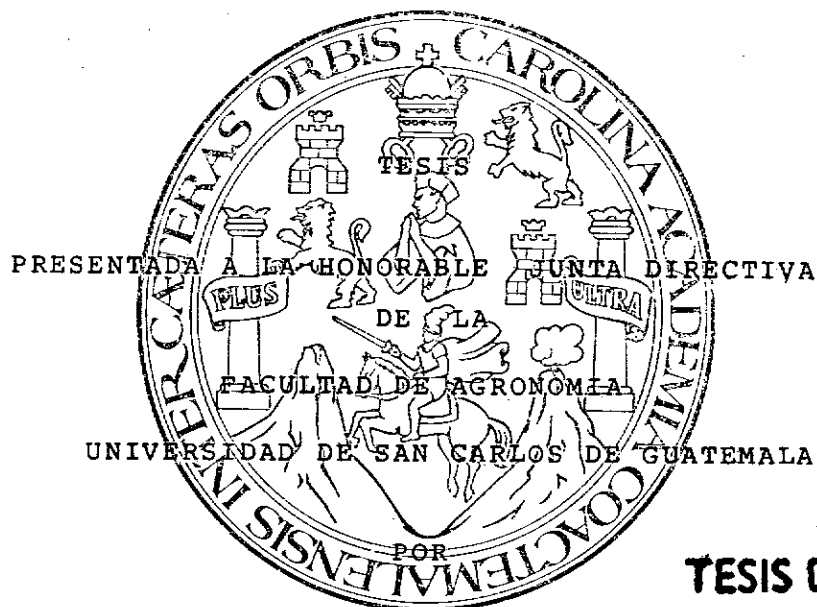


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

EVALUACION DE ENMIENDAS DE SUELOS SODICOS DEL
AREA DE AMAPALA (ASUNCION MITA, JUTIAPA)
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO



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

**TESIS DE REFERENCIA
NO**

ANA LUISA EGURROLA GIRON

SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL-USAC.

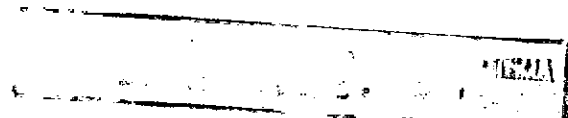
EN EL ACTO DE CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, enero 1988



DL
01
+ (1049)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

| | | |
|---------------|---|-----------------------------|
| DECANO | : | Ing. Agr. Aníbal Martínez |
| VOCAL PRIMERO | : | Ing. Agr. Gustavo A. Méndez |
| VOCAL SEGUNDO | : | Ing. Agr. Jorge Sandoval |
| VOCAL TERCERO | : | Ing. Agr. Mario Melgar |
| VOCAL CUARTO | : | Br. Marco Antonio Hidalgo |
| VOCAL QUINTO | : | T.U. Carlos E. Méndez |
| SECRETARIO | : | Ing. Agr. Rolando Lara A. |



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

| |
|------------|
| Referencia |
| Asunto |

10-de noviembre de 1987

Ingeniero Agrónomo
Aníbal Martínez
Decano Fac. Agronomía

Señor Decano:

Atentamente le informo que he finalizado la asesoría del trabajo de tesis de la estudiante Ana Luisa Egurrola Girón, titulado "EVALUACION DE ENMIENDAS DE SUELOS SODICOS DEL AREA DE AMAPALA (Asunción Mita, Jutiapa) BAJO - CONDICIONES DE INVERNADERO".

El presente trabajo considero llena los requisitos que establece la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como también es una contribución muy valiosa al desarrollo de técnicas y metodologías para la incorporación de áreas improductivas a la agricultura del país, razón por la que le solicito se sirva darle el trámite correspondiente a donde corresponda para su aprobación como Tesis de Grado.

Cordialmente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Víctor Aragón
ASESOR

Guatemala,

Honorable Junta Directiva
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos

Honorables Señores:

En cumplimiento con lo establecido en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado: "EVALUACION DE ENMIENDAS DE SUELOS SODICOS DEL AREA DE AMAPALA (ASUNCION MITA, JUTIAPA) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO".

Presentándolo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, para su aprobación.

Atentamente,



Ana Luisa Egurrola Girón

TESIS QUE DEDICO

A :

Guatemala

A :

La Universidad de San Carlos de Guatemala

A :

La Facultad de Agronomía

A :

Todos los agricultores de Guatemala

A :

Todas las entidades agrícolas de Guatemala

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES:

Francisco Egurrola Pedrero
Luz M. Girón de Egurrola

A MIS HERMANOS:

Francisco, Luz, Eduardo, Ricardo y
Mario

A MI NOVIO:

Jorge Fernández Alejos

A MIS FAMILIARES EN GENERAL

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE PROMOCION

AGRADECIMIENTO

AL:

Ing. Agr. Víctor Aragón, por la asesoría del presente trabajo, y su valiosa colaboración.

AL:

Señor Salvador Menéndez

A :

Dirección de Riegos y Avenamiento, en especial al Personal del Departamento y Laboratorio de Suelos

A :

La Facultad de Agronomía

AL:

Centro de Estadística y Cálculo de la Facultad de Agronomía

AL:

Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

AL:

Señor Jorge Fernández

A :

Todas las personas y entidades que de una u otra manera colaboraron en la realización de la presente investigación.

INDICE DE CONTENIDO

Pag.

INDICE DE CUADROS

INDICE DE GRAFICAS

INDICE DE MAPAS

RESUMEN

ABSTRACT

| | | |
|------|--|----|
| I. | INTRODUCCION | 1 |
| II. | HIPOTESIS | 2 |
| III. | OBJETIVOS | 3 |
| IV. | REVISION DE LITERATURA | |
| | 4.1. Características generales de los suelos con problema de <u>en</u> salitramiento | 4 |
| | 4.2. Características físicas y químicas de los suelos sódicos | 4 |
| | 4.3. Efecto de la concentración de sales solubles del suelo sobre los cultivos | 6 |
| | 4.4. Tolerancia relativa de los <u>cul</u> tivos al sodio | 6 |
| | 4.5. Recuperación de los suelos con problema de sodio | 8 |
| | 4.6. Características de la planta <u>u</u> tilizada como indicadora | 10 |
| | 4.7. Generalidades del área de <u>estu</u> dio | 11 |

| | Pag. | |
|-------|--|----|
| V. | MATERIALES Y METODOS | |
| | 5.1. Trabajo de gabinete | 17 |
| | 5.2. Reconocimiento de campo | 17 |
| | 5.3. Análisis de laboratorio | 18 |
| | 5.4. Desarrollo del ensayo en el invernadero | 19 |
| | 5.4.1. Localización | 19 |
| | 5.4.2. Diseño del experimento | 20 |
| | 5.4.3. Preparación del suelo | 22 |
| | 5.4.4. Siembra y desarrollo del cultivo | 23 |
| | 5.4.5. Evaluación de las manifestaciones del cultivo | 23 |
| | 5.4.6. Evaluación del suelo | 23 |
| VI. | RESULTADOS Y DISCUSION | |
| | 6.1. Respecto a las características del área de estudio | 24 |
| | 6.2. Respecto a los resultados de los análisis de laboratorio efectuados sobre las muestras provenientes del mapeo inicial | 26 |
| | 6.2.1. Aguas del área | 26 |
| | 6.2.2. Muestras de suelo del área | 32 |
| | 6.3. Resultados del ensayo de invernadero | 34 |
| | 6.3.1. Respuesta física y química a las en- miendas efectuadas | 36 |
| | 6.3.2. Respuesta a la planta indicadora a los distintos niveles de enmienda | 44 |
| VII. | CONCLUSIONES | 50 |
| VIII. | RECOMENDACIONES | |
| IX. | BIBLIOGRAFIA | 55 |
| X. | ANEXO | 57 |

INDICE DE CUADROS

| CUADRO | | Pag. |
|--------|---|------|
| 1 | Tolerancia relativa de algunos cultivos comunes a las sales. | 8 |
| 2 | Método de análisis de suelos | 18 |
| 3 | Identificación de los tratamientos | 35 |
| 4 | Análisis de varianza del porcentaje de germinación del cultivo de frijol con testigo | 45 |
| 5 | Análisis de varianza de la altura de planta (cm) en la época de floración del cultivo con testigo | 46 |
| 6 | Análisis de varianza del largo de la hoja (cm) en la época de floración sin testigo | 46 |
| 7 | Análisis de varianza del ancho de la hoja (cm) en la época de floración sin testigo | 47 |
| 8 | Equivalencia de las dosis de enmienda utilizada en toneladas/hectárea. | 58 |
| 9 | Análisis químico de las aguas muestreadas | 59 |
| 10 | Análisis porcentual de las aguas de Amapala para su evaluación hidroquímica por el método Piper | 60 |
| 11 | Características físicas de los suelos del área de estudio | 61 |
| 12 | Características químicas de los suelos del área de estudio | 62 |
| 13 | Análisis químico de las pastas saturadas del área de estudio | 63 |
| 14 | Análisis químico de las muestras con enmienda | 64 |

INDICE DE GRAFICAS

| GRAFICA | | Pag. |
|---------|---|------|
| 1 | Clasificación y nomenclatura de la calidad del agua de Amapala, según su carácter químico; <u>diagrama de Piper</u> | 28 |
| 2 | Diagrama de análisis químico de aguas en Amapala; Diagrama de Schoeller y Berkalof | 29 |
| 3 | Curva de tensión de humedad respecto al porcentaje de humedad | 37 |
| 4 | Variación del pH con respecto a la dosis de enmiendas | 39 |
| 5 | Variación de la conductividad eléctrica con respecto a las dosis de enmiendas | 39 |
| 6 | Variación del porcentaje de sodio intercambiable con respecto a la dosis de enmiendas | 41 |
| 7 | Relación de la conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable con respecto a las enmiendas | 42 |
| 8 | Relación del pH respecto al porcentaje de sodio intercambiable | 43 |
| 9 | Manifestaciones cualitativas de la planta <u>indicadora</u> | 49 |

INDICE DE MAPAS

| MAPA | | Pag. |
|------|--|------|
| 1 | Localización del municipio de Asunción Mita en el departamento de Jutiapa | 12 |
| 2 | Características geográficas y ubicación del área de estudio | 14 |
| 3 | Ubicación de calicatas y distribución tentativa de la sodicidad del área en estudio | 25 |
| 4 | Hidroquímico, distribución esquemática de los diagramas de Shoeller y Berkalof, comparando la concentración de las sales de la solución del suelo en las cuatro calicatas estudiadas | 30 |

RESUMEN

Debido a la amenaza por las características desfavorable de estos suelos, para la adaptabilidad en el uso agrícola, se planteó el siguiente estudio, con el propósito fundamental de evaluar los diferentes niveles de enmiendas química-hidrotécnicas, utilizadas en la recuperación de estos suelos con respecto a los efectos que causan estos en un cultivo sensible.

El presente trabajo se realizó en el invernadero de la Facultad de Agronomía en la Universidad de San Carlos, utilizando suelos con alto contenido de sodio del área de Amapala en Asunción Mita, Jutiapa.

La recuperación de estos suelos se basa principalmente en el mejoramiento en la composición física y química de estos suelos y los efectos sobre las diferentes etapas de desarrollo de un cultivo sensible, en este caso en la planta de frijol.

Los resultados obtenidos se analizaron desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, habiendo establecido que el tratamiento de Sulfato de Amonio en una dosis de 16 meq/100 gr de suelo en el mayor volumen de lavado de suelo, mejoró las características físicas y químicas de este, así como incrementó relativamente el desarrollo del cultivo sensible. Sin embargo, se estableció que el tratamiento con yeso en el mayor volumen de lavado presentó también una buena recuperación del suelo.

EMENDATIONS IN THE EVALUATIONS OF SODIC SOIL OF AMAPALA AREA (ASUNCION MITA, JUTIAPA) UNDER GREENHOUSE CONDITIONS.

Ana Luisa Egurrola Girón

"ABSTRACT"

The purpose of the following investigation is the evaluation of different levels of the chemistry-hydraulics emendations, which were used in the recovery of the effects that they caused in a sensible cultivation.

This investigation was performed in the "Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala" -Greenhouse-. The soils used had a high concentration of sodium from the Amapala area, in Asunción Mita, Jutiapa. The soil was previously analyzed, sifted, homogenized and placed in a proportional way in different altitudes, in plastic flowerpots. The design of the experiment consisted in leaving flowerpots as witness. The evaluation emendations were the following: washed soil in two different volumes of water and good drainage, sulphuric acid solution application, Ammonium Sulphate and Hydrate of calcium sulphate (gypsum), in four different doses. A sodium beans plant was used as indicator to make the evaluations of the effects over the different developing stages.

The results obtained were analyzed by the qualitative and quantitative point of view. It was established that the treatment with the ammonium sulphate dose of 16 meq/100gr. of soil in the higher volume of soil washed, improved the physics and chemistry characteristics. It was established that the treatment with gypsum in the higher washing volume also presented a good recovery. These procedures were the most effective. With the application of these soils emendations, the recovery was obtained, improving the characteristics of the same; an increase and developpe of the sensible cultivation was also obtained. Only the application of high sulphuric acid concentration gave as a result undesirable characteristics in the soil, inciting a harmful effect in the plant.

I. INTRODUCCION

En Guatemala se presentan áreas que han perdido su productividad, debido al problema de acumulación de sales solubles y exceso de sodio intercambiable; se estima que el uno por ciento de las áreas agrícolas presentan este problema formado por procesos naturales o inducidos. Siendo esto una amenaza por las características inherentes de estos suelos para la adaptabilidad en el uso agrícola.

Por lo cual se hace necesario establecer programas tendientes tanto para la prevención y control de este factor limitante, así como la búsqueda y selección de cultivos tolerantes a las sales; utilizando pruebas en invernadero para ayudar a confirmar las conclusiones obtenidas, basadas en análisis físicos y químicos para la rehabilitación de estos suelos.

Por tales razones debe implementarse una investigación que evalúe los tipos de enmienda con respecto a los efectos que causan estos suelos en una planta sensible a la acumulación de sales y sodio.

Esta investigación se desarrolló en varias fases; invernadero, laboratorio y en gabinete para poder evaluar los diferentes tipos y niveles de enmienda, utilizando el cultivo del frijol como planta sensible a las sales.

II. HIPOTESIS

1. Al menos un producto químico sustituirá al sodio intercambiable del suelo hasta un nivel satisfactorio.
2. Una de las dosis aplicadas de cada producto químico evaluado será la más eficiente en la disminución del porcentaje de sodio intercambiable y del pH.
3. El mayor volumen de lavado será el más efectivo sobre la solubilización de los mejoradores del suelo y las sales a desplazar del complejo de intercambio.
4. La aplicación de enmiendas al suelo permitirá un mejor desarrollo de la planta utilizada como indicador biológico, (frijol común).

III. OBJETIVOS

1. Determinar qué producto químico reemplaza al sodio absorbido en las partículas de la fracción coloidal cuyo fin es proveer características y propiedades físicas deseables para los cultivos.
2. Determinar qué cantidad de producto químico evaluado presenta la mejor eficiencia en la sustitución del sodio intercambiable del suelo así como un pH neutro.
3. Determinar el volumen de lavado del suelo que es necesario para alcanzar un grado de salinidad y sodicidad adecuado.
4. Evaluar bajo condiciones de invernadero los efectos de las enmiendas sobre las diferentes etapas de desarrollo del indicador biológico (frijol común Phaseolus vulgaris L. var. Tamazulapa).

IV. REVISION DE LITERATURA

IV.1. Características generales de los suelos con problema de ensalitramiento

Se han establecido ciertos límites arbitrarios para evaluar el efecto de las sales solubles y sodio sobre los cultivos. En el laboratorio de salinidad de Riverside, ha establecido tres grupos para los suelos que presentan problemas de salinidad y/o sodio intercambiable. Estos grupos son: suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino-sódicos. Son considerados suelos salinos aquellos cuya conductividad eléctrica del extracto de saturación, es mayor de 4mmhos/cm a 25°C y tiene un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15. El pH de estos suelos es generalmente menor de 8.5. (9)

Los suelos sódicos son aquellos que tienen una conductividad eléctrica del extracto de saturación menor de 4mmhos/cm a 25°C, pero tienen un porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15. El pH varía de 8.5 a 10. (9)

Son considerados, dentro de esta clasificación, como suelos salino-sódicos, aquellos que tienen sales que producen una conductividad eléctrica del extracto de saturación mayor de 4 mmhos/cm a 25°C y un porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15. Su pH rara vez es mayor de 8.5. (9)

IV.2. Propiedades físicas y químicas de los suelos sódicos

a. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de un suelo sódico, son el

reflejo de un exceso de sodio adsorbido en el complejo coloidal del suelo. Los efectos no son independientes sino interrelacionados. (3)

Los suelos saturados con sodio tienden a permanecer dispersos, y los agregados no se reconstruyen por medio de procesos naturales, ya que la agregación esta relacionada con la floculación, y el comportamiento de la doble capa difusa. Los suelos sódicos están defloculados debido a la fuerte hidratación del ión sodio que dispersa a los coloides del suelo, y a esto se le suma el efecto del H_2CO_3 sobre los silicatos hidratados, que en conjunto reducen el tamaño y el diámetro de los poros, reduciéndose la velocidad de infiltración y permeabilidad del suelo al aire y agua. Otras características son una alta plasticidad cuando húmedos, una elevada dureza y compactación al secarse, formando grandes terrones cuando son barbechados. (3)

b. Propiedades químicas

Las propiedades químicas de un suelo sódico se manifiestan con la desalinización del suelo salino. Como los electrolitos son removidos por lavado, los coloides del suelo se peptizan y en este caso se saturan con sodio. Los efectos del Na_2CO_3 se hacen prominentes, aumentando la alcalinidad o pH que toma valores mayores de 8.5 y PSI normalmente mayor de 15 por ciento. (3)

Los aniones más comunes en los suelos sódicos son: cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonatos. Respecto a los cationes solubles, estos suelos poseen pocas cantidades de calcio y magnesio (3).

IV.3. Efecto de la concentración de sales solubles del suelo sobre los cultivos

Las sales solubles producen efectos dañinos en las plantas, al aumentar el contenido de sal de la solución de suelo y el grado de saturación de los materiales intercambiables del suelo con sodio intercambiable. (4)

Las investigaciones sobre la determinación de la tolerancia de las plantas cultivadas a las sales, son de gran importancia para entender los mecanismos de acción y el efecto de las sales sobre las plantas en sus diferentes etapas de desarrollo, como son la germinación, el desarrollo vegetativo y la fructificación; información que puede ser utilizada para obtener variedades tolerantes a las sales y para seleccionar los cultivos que mejor pueden adaptarse a unas condiciones de salinidad dadas. (1)

IV.4. Tolerancia relativa de los cultivos al sodio

La tolerancia de los cultivos a las sales, es la capacidad que tienen de desarrollarse bajo condiciones de salinidad, sin que efectúe su división celular y la plasticidad de las paredes celulares a un grado tal que sus rendimientos sean antieconómicos. (13)

El sodio puede producir efectos directos e indirectos sobre los cultivos. Los efectos directos están ligados únicamente con el sodio soluble, el cual al rebasar ciertas concentraciones es tóxico para las plantas; pero la presencia de so

dio en la solución del suelo, está íntimamente ligada con la presencia de sodio intercambiable, ya que existe un equilibrio dinámico entre los iones solubles y los intercambiables, que pueden cambiar cuando se cambia la concentración en la solución del suelo. (1)

Los efectos indirectos del sodio sobre las plantas se presentan cuando éste se encuentra en los suelos en forma intercambiable, en porcentajes asociados con el deterioro de las características físicas del suelo. (1)

Los efectos indirectos del sodio sobre las plantas, se deben a que cuando en un suelo dado se rebasa un cierto porcentaje de sodio intercambiable, el suelo se vuelve impermeable al aire y al agua, se incrementa el pH de su solución a niveles tales que tienen problemas de nutrición para las plantas, ya que muchos elementos se precipitan, tales como el Ca y el Mg. Otros elementos pasan a formas químicas menos asimilables y estas condiciones son limitantes para el desarrollo de las plantas, pero debe quedar claro que el sodio intercambiable no produce ningún efecto directo sobre ellas. (1)

El rendimiento relativo de los cultivos en suelos salinos comparados con el rendimiento correspondiente a un suelo no salino bajo condiciones similares, se puede observar en el cuadro 1.

CUADRO 1. Tolerancia relativa de algunos cultivos comunes a las sales

| Muy tolerante' | Med. tolerante | Poco tolerante |
|---|---|-------------------------------------|
| $CE_e \times 10^3 = 16$ | $CE_e \times 10^3 = 10$ | $CE_e \times 10^3 = 4$ |
| Remolacha, espárrago, espinaca, algodón | Centeno, trigo, avena, arroz, sorgo, maíz, - girasol, higuerrillo | Alubias, rábano, apio, frijol verde |
| $CE_e \times 10^3 = 10$ | $CE_e \times 10^3 = 6$ | |

TOLERANCIA RELATIVA DE LOS FRUTALES A LAS SALES

| | | |
|----------------|---------------------------------------|---|
| Palma datilera | Granada, vid, higuera, melón, granada | Almendro, fresa, naranjo, toronja limonero, aguacate. |
|----------------|---------------------------------------|---|

TOLERANCIA RELATIVA DE PLANTAS FORRAJERAS A LAS SALES

| | | |
|--------------------------------|--|--------------------------|
| $CE_e \times 10^3 = 18$ | $CE_e \times 10^3 = 12$ | $CE_e \times 10^3 = 4$ |
| Zacate Bermuda, Zacate Rhodes, | Zacate Inglés, zacate Dallis, zacate Sudan, Festuca. | Trébol blanco, Pimpinela |
| $CE_e \times 10^3$ | $CE_e \times 10^3 = 4$ | $CE_e \times 10^3 = 2$ |

FUENTE: Richards. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos.

IV.5. Recuperación de los suelos con problema de sodio

Los problemas principales a resolver son dos:

- Exceso de sodio intercambiable
- Condiciones físicas del suelo desfavorables

La combinación de todos los métodos es la alternativa para recuperar y/o rehabilitar estos suelos. Las medidas que normalmente se toman son:

- a. Medidas químicas hidrotécnicas como son: la aplicación de mejoradores, lavado, drenaje y control de la calidad de agua.
- b. Medidas Mecánicas: tales como el barbecho profundo y subsoleo.
- c. Medidas biológicas: incorporación de abonos verdes y materia orgánica. (2)

Medidas post-recuperativas

Una vez concluida la primera fase de recuperación o recuperación inicial debe prevenirse y/o controlarse una salinización y/o sodificación secundaria para lo cual se recomienda la siguiente metodología general:

Mejorar los métodos de riego y manejo del suelo, haciéndolos más eficientes.

Continuar la operación del drenaje y lavado como medida preventiva de un ensalitramiento secundario.

Observaciones periódicas del nivel freático en cuanto a su profundidad y mineralización.

Hacer rotaciones de cultivos, desde los más tolerantes, hasta los sensibles al ensalitramiento.

Plantar árboles en caminos y canales como una ayuda secundaria. (2)

IV.6. Características de la planta utilizada como indicadora

Para el presente ensayo se utilizó el cultivo del frijol por ser una planta sensible.

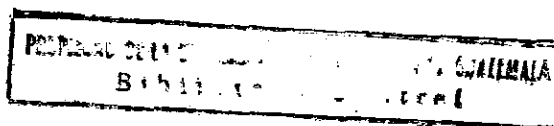
A. Taxonomía

Pertenece a la familia Leguminosae, nombre científico Phaseolus vulgaris L. variedad ICTA Tamazulapa; nombre común: frijol.

B. Características generales

ICTA Tamazulapa es una variedad de frijol negro derivada de las selecciones efectuadas en la progenie de cruce - ICA PIJAO x Turrialba - 1, que han mostrado resistencia moderada al Mosaico Dorado, Mosaico común, y a la Roya, también es tolerante al ataque del picudo de la vaina y a los insectos del género Empoasca, vectores de enfermedades viróticas.
(5)

Es una variedad moderadamente precoz, 68 días de madurez fisiológica, hábito de crecimiento indeterminado arbustivo, con guía corta y larga, en zonas bajas. Es la variedad más indicada para la siembra en la región del sur-oriente, donde asimila sin mayor problema el ataque de la roya. Las flores son de color púrpura y las vainas de color morado cuando maduras y de café rojizo a la cosecha. El número de vainas por planta es de 16.5 con 5.7 semillas por vaina, en promedio. (5)



C. Requerimientos del cultivo

Adaptación: es la más indicada para la región sur-oriente del país y aunque se vea afectada por la roya no se manifiesta en disminución del rendimiento. Esta variedad de frijol se adapta de 0 a 1,000 msnm. (5)

Suelo: se adapta en diferentes condiciones de suelos siempre que estos no sean demasiado pesados. Prefiere los suelos francos, fértiles, profundos y bien drenados, pH del suelo 6 a 7. (5)

IV.7. Generalidades del área de estudio

De acuerdo a estudios preliminares realizados por la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA) en el valle de Asunción Mita se detectaron áreas con problema de ensalitramiento y sodicidad en las localidades de Placetas y Amapala - respectivamente. En el presente estudio se consideró únicamente el área de Amapala ya que el área de Placetas fue estudiada anteriormente.

IV.7.1. Características geográficas

La zona se encuentra localizada dentro del valle aluvial de Asunción Mita, en el departamento de Jutiapa. Sus coordenadas geográficas son 89°45' longitud oeste del meridiano Greenwich y a 14°20' latitud norte. A una altura de 450m. sobre el nivel del mar. (5) (mapa 1).

El área de Amapala comprende 280 hectáreas. Está limitada al norte por el camino que va a los Llanitos y con la que-

LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE
ASUNCION MITA EN EL DEPARTA-
MENTO DE JUTIAPA

N

MEXICO

ESCALA
1:2400,000 aprox.

HONDURAS

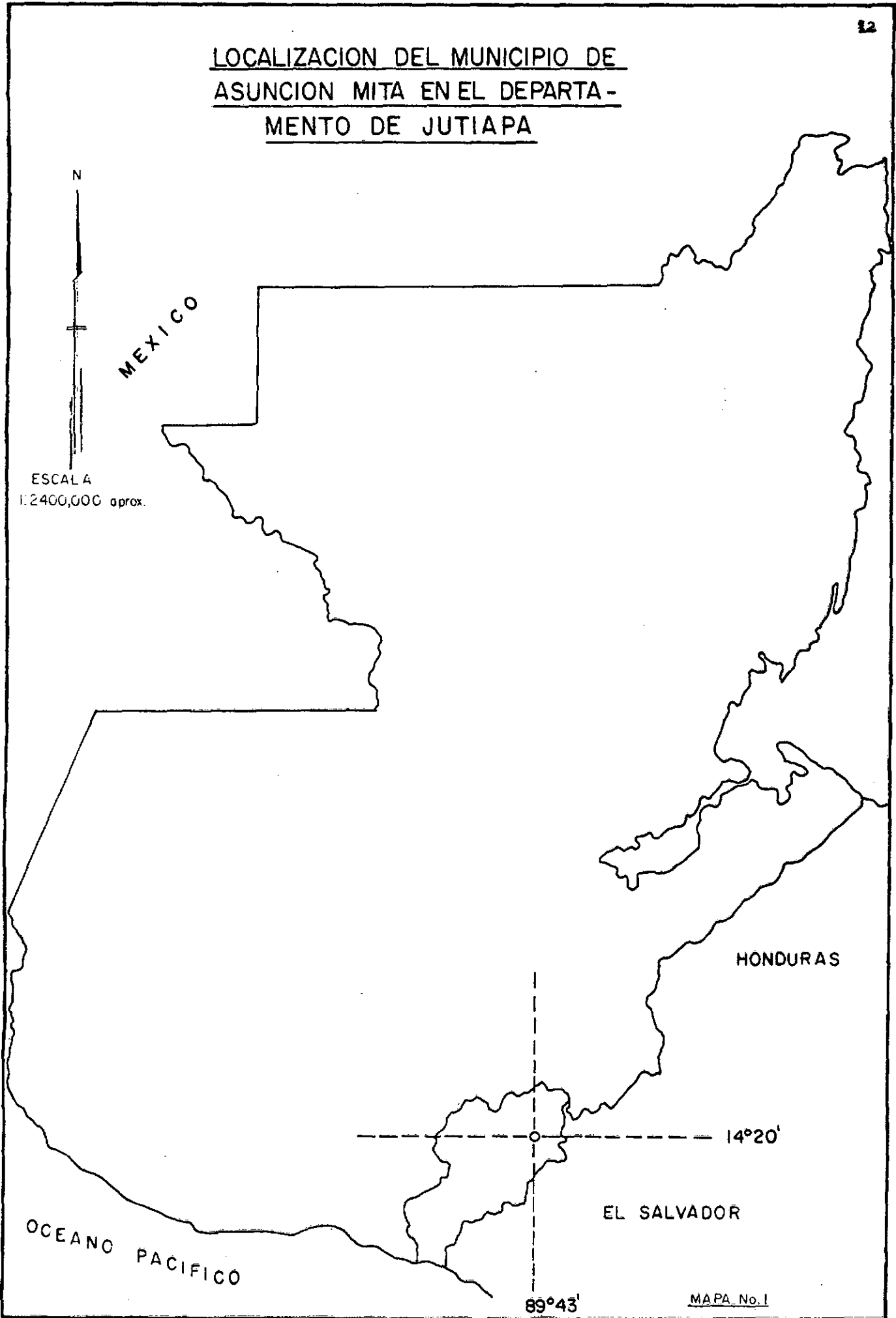
EL SALVADOR

OCEANO PACIFICO

14°20'

89°43'

MAPA No. 1



brada Aguacaliente; al este por la angosta faja del río Mongoy y la finca Los Cerritos; al sur también por una faja angosta de las series Ostúa y Piura, del río Mongoy y la finca Los Cerritos y Siempreviva, El Chotal; al oeste por las fincas Las Conchas, Bolivia, Cerro La Ahorcada y el Jibillal.

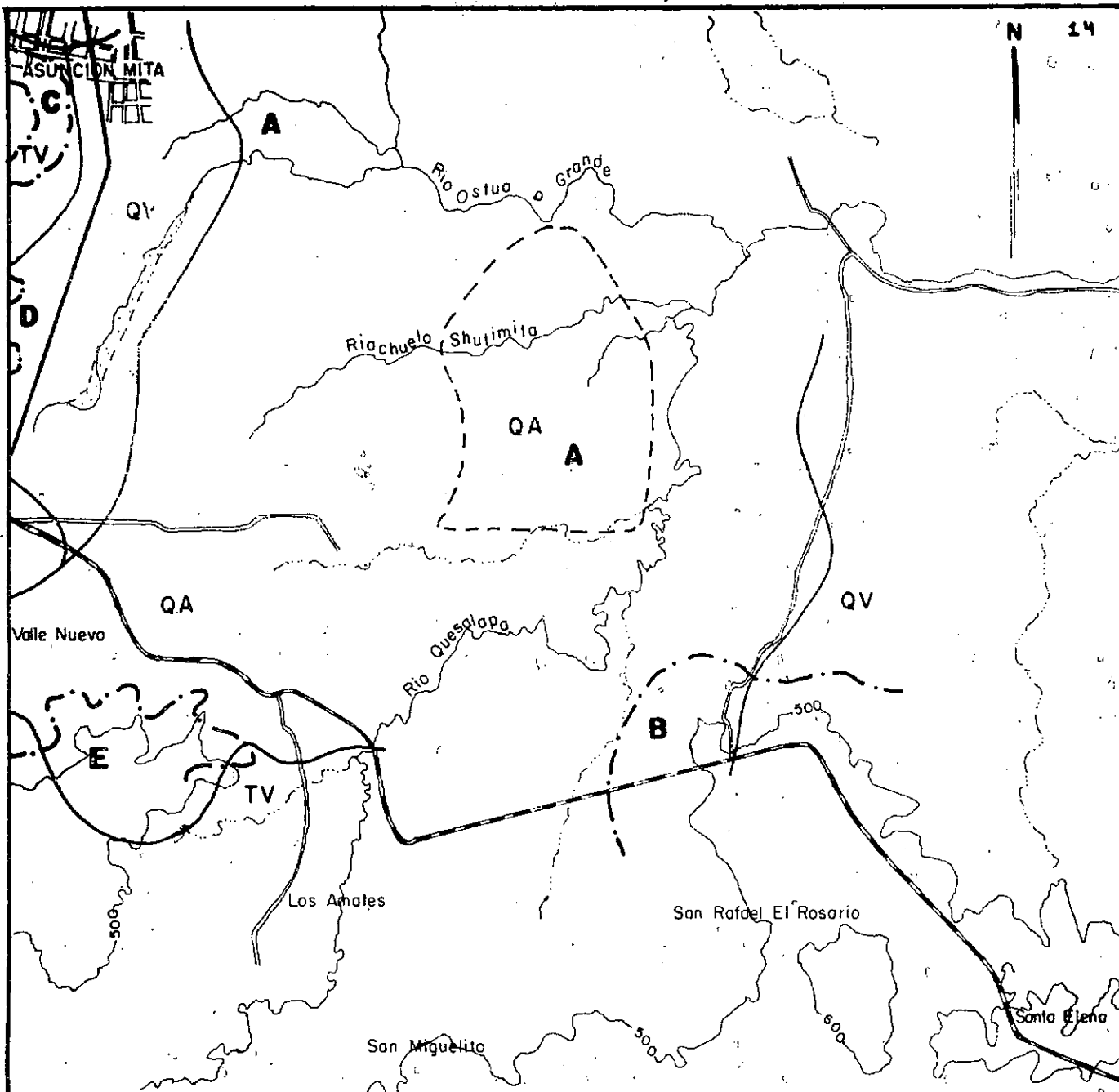
(3)

4.7.2. Geología del área

Amapala está situada sobre las formaciones de sedimentos aluviales, cuyo origen está regulado por las diferentes formaciones geológicas que el río Ostúa corta, erosiona y transporta a través de su recorrido en las partes altas de la cuenca. (mapa 2).

Los materiales depositados en este valle también tienen dimensiones variables debido a las diferentes intensidades de flujo que el río ha presentado durante el período de su formación, dichos materiales pueden ser del tamaño de arcillas, arenas y grandes clastos. Los mismos clastos son de origen volcánico principalmente.

Es de hacer notar que en el valle existen manifestaciones de origen geotermal ya que se ha observado la presencia de emergencia de aguas termominerales con temperaturas mayores de 50°C y las mismas acarrear grandes cantidades de sales a la superficie.



**CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS Y UBICACION
DEL AREA DE ESTUDIO**

| <u>REFERENCIAS</u> | <u>CLASE</u> | <u>% de pendiente</u> |
|--|--------------|-----------------------|
| Carretera | A | 0 - 4 |
| Rio | B | 4 - 8 |
| Contacto geológico | C | 8 - 16 |
| Limite del área | D | 16 - 32 |
| QA Aluviones cuaternarios | E | 32 |
| QV Cuaternario rocas volcánicas | | |
| TV Terciario rocas volcánicas sin dividir | | |

FUENTE: I.G.M.

MAPA No.2

4.7.3. Morfología del área

El área ubicada en la serie de suelos Amapala, presenta en general un relieve prácticamente plano con un microrelieve donde existen algunas depresiones, donde se acentúa principalmente el problema de acumulación de sales y sodio. En general la zona del valle de Asunción Mita presenta algunos cerros de mediana altura, distribuidos irregularmente en todo el valle.

4.7.4. Climatología del área

El valle tiene un clima cálido seco, según el balance hídrico (3) para un período de 13 años de registro de la estación tipo "A" Asunción Mita, localizada a una latitud de $14^{\circ}20'04''$ y una longitud de $89^{\circ}42'10''$, a una elevación de 478 msnm. Se determinó que existen las siguientes condiciones medias de: Precipitación de 1,327.8 mm/año, una temperatura media de $26^{\circ}03^{\circ}\text{C}$ dando valores de evapotranspiración potencial de 1,507.02 y evapotranspiración potencial real de 872.55 mm/año lo que da un déficit de humedad de 639.1 mm/año debido a la escorrentía superficial. (8)

4.7.5. Hidrología del área

Amapala se encuentra ubicada entre las corrientes de los ríos Tamazulapa, Grande de Mita u Ostúa y Quesalapa. (12) Esta zona padece de inundaciones periódicas y esporádicas debido a las crecientes que causan los ríos antes mencionados.

4.7.6. Características del suelo

Según el estudio de Herrarte Monzón, Amapala se puede ubicar dentro de la clasificación de "Suelos Salino Sódicos" ya que posee a una profundidad de suelo mayor de 12 cms. una conductividad eléctrica de 16.40 milimhos/cm de pasta saturada; un porcentaje de Sodio intercambiable de 13.10; un pH de 8.10 y son suelos pesados. (10)

4.7.7. Vegetación del área

Está localizada entre las sabanas subtropical o bosque seco según Holdridge. Actualmente está cubierta de Cynodon influencis (pasto estrella africana), Hiparrhenia rufa (Jaragúa) y en menor porcentaje de leguminosas, portulacaceas, malvaceas y ciperaceas.

Las áreas que se aprovechan para la siembra de arroz, han sido abandonadas a pastizales de especies resistentes a la salinidad y en algunos lugares todavía siembran maíz. (3)

V. MATERIALES Y METODOS

Para cumplir con los objetivos establecidos en el presente trabajo se mantuvo una secuencia de actividades en gabinete, campo y laboratorio en forma alterna y repetida así como en invernadero y laboratorio distribuyendo las actividades en la siguiente forma:

V.1. Trabajo de gabinete

De acuerdo a la recopilación de información sobre el problema que se manifiesta en el área de Amapala y a través de la observación de fotografías aéreas, mapas cartográficos, agrológicos, geológicos y uso potencial de la tierra; se delimitó el área de Amapala y zonas aledañas al lugar que de alguna u otra forma inciden en el problema mencionado.

Se investigó en los archivos del laboratorio de suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA) los resultados de los análisis físicos y químicos del área de estudio.

V.2. Reconocimiento de campo

Delimitada el área con problema se efectuó un reconocimiento de campo, donde se observaron manifestaciones de un desarrollo deficiente de las plantas (pasto estrella y algunas plantas típicas de la zona).

Para el muestreo de suelos se hicieron cuatro calicatas para observación de los perfiles característicos, ubicándose cada calicata en un mapa detallado.

Se tomó muestra de agua de las diferentes fuentes, para determinar si el agua de estas, aportan sales al suelo.

Posteriormente, se efectuó la recolección de suelos para el ensayo de invernadero, de la calicata seleccionada por su mayor grado de sodicidad determinado en los análisis preliminares.

V.3. Análisis de laboratorio

Para la determinación de las propiedades de los suelos se hace necesario los siguientes análisis:

CUADRO 2. Métodos de análisis de suelos

| Determinación | Método | |
|-------------------------|---|------------------|
| | ANÁLISIS FÍSICOS | Referencia |
| % de humedad a 1/3 atm. | Ollas de presión | Richard y Weaver |
| % de humedad a 15 atm. | Placas de presión. | Richard |
| Densidad aparente | Relación entre la masa del suelo <u>se</u> cado al horno y su vol. aparente | |
| Densidad real | Rel. entre la masa del suelo <u>seca</u> do al horno y su vol. sólido | |
| Textura | Hidrómetro de Bouyoucus | |
| Color | Comparación con <u>ta</u> blas de Munsell | |

/..

/.. Cuadro 2

| Determinación | Método ANALISIS QUIMICOS | Referencia |
|--|--|-----------------------|
| Reacción pH | Potenciómetro, rel. 1:1 | National Research |
| Conductividad eléctrica | Puente Whetstone | Concil Internacional |
| Materia orgánica | Combustión húmeda método Walkey y Black modificado | Walkey |
| Capacidad total de Intercambio Catiónico | Semi-micro Kjeldahl | Peach y Colaboradores |
| Na ⁺ y K ⁺ | Flamometría | Reitemeier |
| Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺ | Titulación EDTA | Cheng y Bray |
| Bicarbonatos y carbonatos | Por Titulación con Ac. Sulf. | Reitemeier |
| Cloruros | Titulación con Nitrato de plata | Reitemeier |
| Sulfatos | Gravimétrico, precipitación con cloruro de bario | Bower y Huss |

V.4. Desarrollo del ensayo en el invernadero

Para determinar la respuesta del suelo a las distintas enmiendas químicas e hidrotécnicas se proyectó o programó una evaluación biológica, para lo cual se desarrolló de la siguiente manera:

V.4.1. Localización

El lugar fue ubicado en la parte sur del invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

V.4.2. Diseño del experimento

A. La unidad experimental fueron macetas cuadradas de plástico con capacidad para 4 lt. cada una; suelo sódico del área de Amapala; y semilla de frijol ICTA Tamasulapa como planta indicadora.

B. Diseño experimental: El diseño utilizado en el experimento fue un Completo Azar, con arreglo combinatorio 3x4x2 y 3 repeticiones.

Los factores a evaluar fueron:

Compuestos: Sulfato de Amonio ((NH₄)₂SO₄), Yeso (CaSO₄. 2H₂O), Acido sulfúrico (H₂SO₄).

Dosis: Enmienda: 2, 4, 8, 16 meq/100gr. de suelo

Volúmenes de lavado: 7.8 y 15.6 lt./maceta

Se dejó un testigo relativo, haciendo un total de 75 macetas.

C. Modelo estadístico del diseño: (9)

C.1. Arreglo general con testigo:

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

donde:

U = Efecto de la media general

T_i = Efecto i-esimo tratamiento i=1,2,3...25

E_{ij} = Error experimental, asociado a la ij unidad experimental

C.2. Modelo estadístico combinatorio sin testigo

$$Y_{ijkl} = U + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + E_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijkl} = variable respuesta

U = Efecto de la media general

A_i = Efecto de la i -ésima compuesto

B_j = Efecto de la j -ésima dosis

C_k = Efecto de la K -ésima vol. de lavado

AB_{ij} = Efecto de la interacción de los AB

AC_{ik} = Efecto de la interacción de los AC

BC_{jk} = Efecto de la interacción de los BC

ABC_{ijk} = Efecto de la interacción de los ABC

E_{ijkl} = Error experimental asociado a la $ijkl$ -ésima unidad experimental.

D. Variables respuestas evaluadas

- 1) % de germinación
- 2) Altura de la planta
- 3) Largo de la hoja
- 4) Ancho de la hoja
- 5) Reacción del suelo pH
- 6) Conductividad eléctrica
- 7) Análisis de cationes solubles
- 8) Análisis de cationes intercambiables y PSI.

E. Análisis de datos

Los datos se procesaron mediante los análisis de varianza modelos C.1 y C.2 y se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 5% de significancia, para las variables respuestas de: % de germinación, altura de las plantas, largo y ancho de la hoja.

Se elaboraron gráficas con curvas que compara los resultados de los análisis químicos del suelo, como lo son: las variaciones de pH, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable con respecto al tipo de enmienda.

V.4.3. Preparación del suelo

Con el propósito de mantener ciertas condiciones semejantes a las de campo se utilizaron macetas con suficiente suelo para el desarrollo de la planta hasta cierta etapa y se distribuyeron en la mesa del invernadero de acuerdo al diseño experimental, siguiendo los procedimientos siguientes:

Tomando en cuenta los resultados de los análisis físicos y químicos de todos los perfiles; se escogieron, tamizaron y homogenizaron los perfiles A y B correspondientes al suelo de la calicata No. 4. Con este suelo se llenaron las macetas en forma proporcional a la altura del perfil de cada horizonte, alcanzando un peso de suelo de 1,470 gr por cada maceta.

V.4.4. Siembra y desarrollo del cultivo

Como planta indicadora de la salinidad y sodicidad se escogió el frijol (Phaseolus vulgaris L.) por ser una planta muy sensible y ser un cultivo que se da bajo las condiciones de la región.

Se sembraron seis semillas por maceta y luego a los diez días se efectuó el raleo dejando tres plantas por maceta. Se aplicó fertilizante (urea) debido a la necesidad que presentó el cultivo; por la deficiencia de nitrógeno en el suelo. Se dejaron crecer hasta la época de la floración y así poder medir las características que se tomaron como variables de respuesta.

V.4.5. Evaluación de las manifestaciones del cultivo

Se midió el porcentaje de germinación a los diez días después de la siembra; se midió la altura de la planta y el largo y ancho de las hojas en la época de floración.

V.4.6. Evaluación del suelo

Se mezcló el suelo de las tres repeticiones para obtener una muestra compuesta de cada tratamiento; se tamizó, homogenizó y se efectuó los análisis físicos y químicos sobre las mismas. La razón de este proceso se debió a la gran cantidad de muestras que debían someterse al análisis de la pasta saturada que resulta demasiado caro, largo y engorroso.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

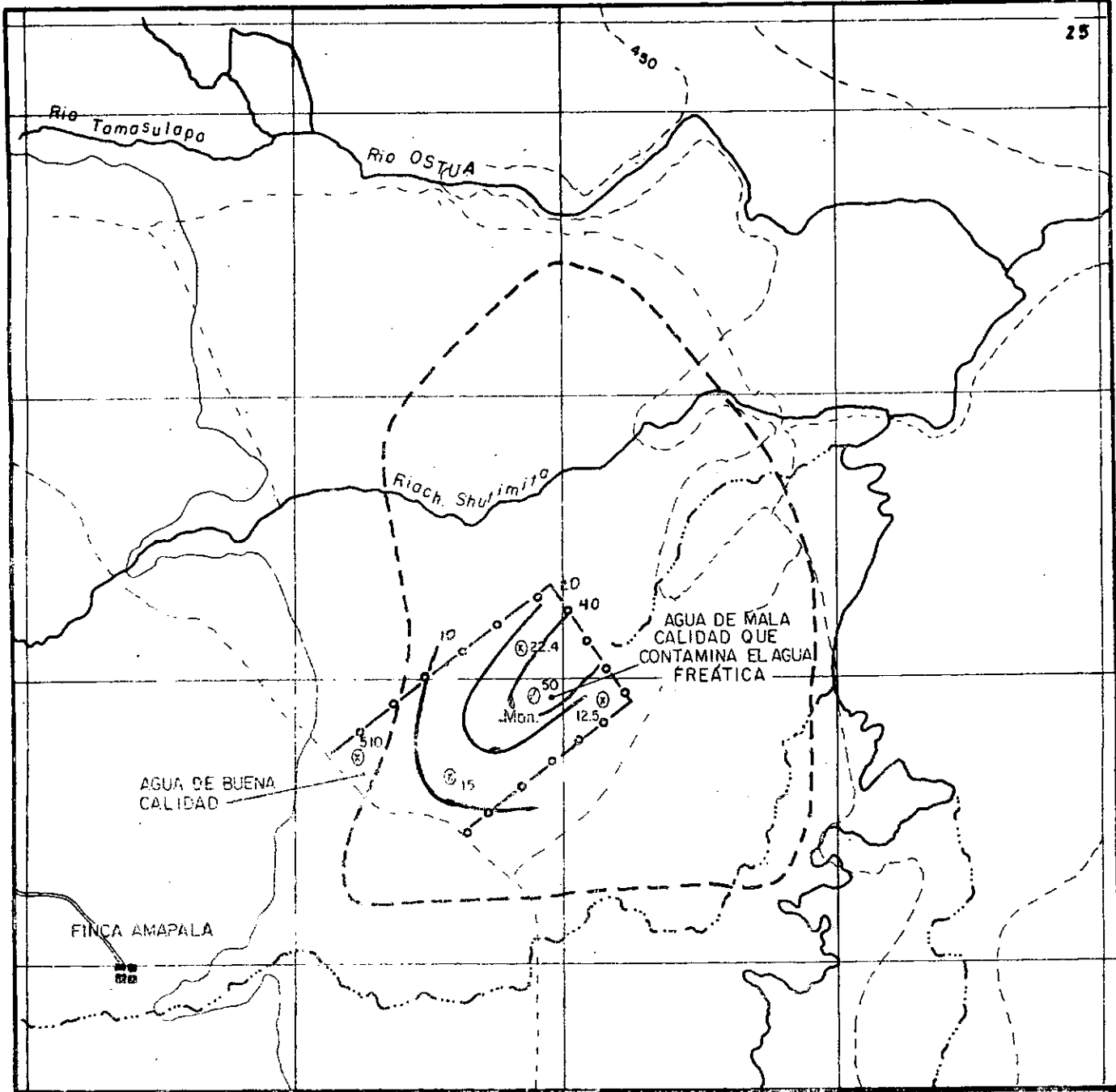
Para una mejor interpretación de los resultados se procedió a analizar por separado las características del área de estudio. Los resultados de los análisis de laboratorio efectuados sobre las muestras de suelo y agua obtenidas durante el mapeo inicial y luego los resultados obtenidos del ensayo en invernadero.

6.1. Respecto a las características del área de estudio

Como se mencionó anteriormente, con las observaciones hechas en el campo se pudo determinar que para el mejoramiento de estos terrenos es necesario efectuar el drenaje superficial e interno de estos suelos, debe estudiarse detalladamente las características de los niveles y dirección del flujo del agua subterránea de toda la zona que influye sobre el área problema, estos estudios deben hacerse en el espacio físico (horizontal y vertical), así como observar su comportamiento a través del tiempo.

De acuerdo a la intensidad y distribución de la sodicidad en el área de estudio se presenta un mapa tentativo donde se puede ver las isolíneas de sodio (mapa 3).

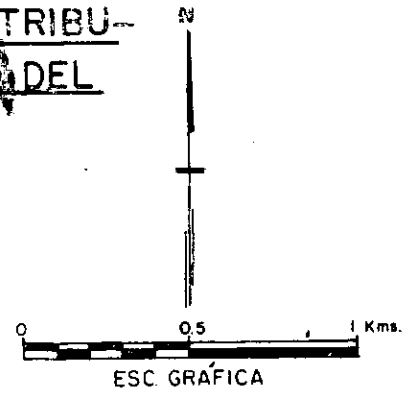
Con las observaciones y determinación preliminar de algunos parámetros de la calidad química del agua en el campo se ve claramente que el mayor problema de la concentración y en especial la del sodio se debe principalmente a la emergencia de aguas termoninerales donde su efecto se acentúa más debido a las características físicas de los suelos, los cuales son



UBICACION DE CALICATAS Y DISTRIBUCION TENTATIVA DE LA SODICIDAD DEL AREA EN ESTUDIO.

REFERENCIA

- ⊗ CALICATAS
- ⊙ MANANTIAL
- ISOLINEAS



muy pesados y con estratos inferiores formados por materiales finos compactados y consolidados que no permiten un drenaje a decuado.

La combinación de la mala calidad de agua del manantial que se esparce en los suelos alrededor de la zona de emergencia, así como en el interior del suelo, saturando los horizontes profundos con mal drenaje y la evaporación del agua capilar da como resultado el proceso de la acumulación de sales de sodio.

La distribución de este problema en el área de estudio, no es regular ya que como se observa en el mapa 3, existe una zona con un mayor grado de salinidad asociado directamente a la emergencia de agua termomineral.

Más adelante se analiza más detalladamente los efectos de ensalitramiento en cada calicata.

6.2. Respecto a los resultados de los análisis de laboratorio efectuados sobre las muestras provenientes del mapeo inicial

De los resultados de análisis, efectuados en el laboratorio de DIRYA, sobre las muestras de agua y suelos recolectados durante el mapeo de campo se obtuvo lo siguiente:

6.2.1. Aguas del área

De estos resultados se pudo determinar que existen varios tipos de agua que intervienen en el problema e intensidad de la sodicidad de los suelos:

-La primera es el agua termomineral que emerge en un manantial dentro del área de estudio y algunas intrusiones que existen en el subsuelo que no emergen a la superficie, estas aguas tienen la máxima concentración de las aguas de la zona y son principalmente tipo cloruro-sulfato-sódicas (ver cuadros 9 y 10, y gráfica 1), que se mezclan con aguas de lluvia y aguas de riego.

En el diagrama de Schoeller y Berkalof, gráfica 2, se comparó el agua del manantial con el agua encontrada en el fondo de las calicatas excavadas y en un pozo vecino al área. La comparación química de las aguas de las calicatas 2, 3 y 4 son similares a las del manantial lo que indica que existe una influencia directa del agua del manantial en el agua que se encuentra a poca profundidad de la superficie del terreno (no mayor de 2 metros), con concentraciones de sodio que van desde 12 meq/l. hasta 22.4 meq/l siendo la concentración del manantial 41 meq/l. El agua de la calicata No. 1 su concentración es más baja donde el catión sodio alcanza los valores más bajos junto con los aniones cloruro y sulfato, la razón de este fenómeno es que la calicata No. 1 se encuentra muy cerca del canal de riego, el cual no es revestido y la infiltración del agua del mismo diluye las sales y ha transportado las sales de sodio en forma de cloruros y sulfatos hacia horizontes inferiores.

- Las aguas de la solución del suelo; como puede verse en los diagramas de Schoeller y Berkalof (mapa 3) tienen una composición química semejante a la del agua del manantial, con un efecto de dilución y puede verse que los aniones: cloruros y sulfatos tienen valores bastante más bajos debido posiblemente

DIAGRAMA DE PIPER

CLASIFICACIÓN Y NOMENCLATURA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN AMAPALA SEGÚN SU CARACTER QUÍMICO

RESUMEN DE DIAGRAMA DE PIPER

Nomenclatura 1-3-5

Descripción:

La alcalinidad del medio (el suelo) excede a la alcalinidad del agua circulante, predominan ácidos débiles. La dureza del carbonato (alcalinidad secundaria) excede el 50% de la dureza total. Lo que indica que la calidad del agua está dominada por la alcalinidad del medio y los ácidos débiles.

NOMENCLATURA: 2-4-7

DESCRIPCIÓN:

La alcalinidad del agua excede la alcalinidad del medio donde circula, indica que el agua proviene de una zona alcalina, la alcalinidad carbonatada (alcalinidad primaria) excede el 50% aquí se encuentran las aguas que siempre son suaves en proporción al contenido de sólidos disueltos, los ácidos débiles exceden los ácidos fuertes.

NOMENCLATURA: 2-8-3

DESCRIPCIÓN:

La alcalinidad del agua excede la alcalinidad del medio donde circula, indica que el agua proviene de una zona alcalina. Predominan los ácidos fuertes, ningún catión o anión par excede el 50% (no predomina ningún catión o anión par). La alcalinidad de los no carbonatos (salinidad primaria), excede el 50% de la alcalinidad total.

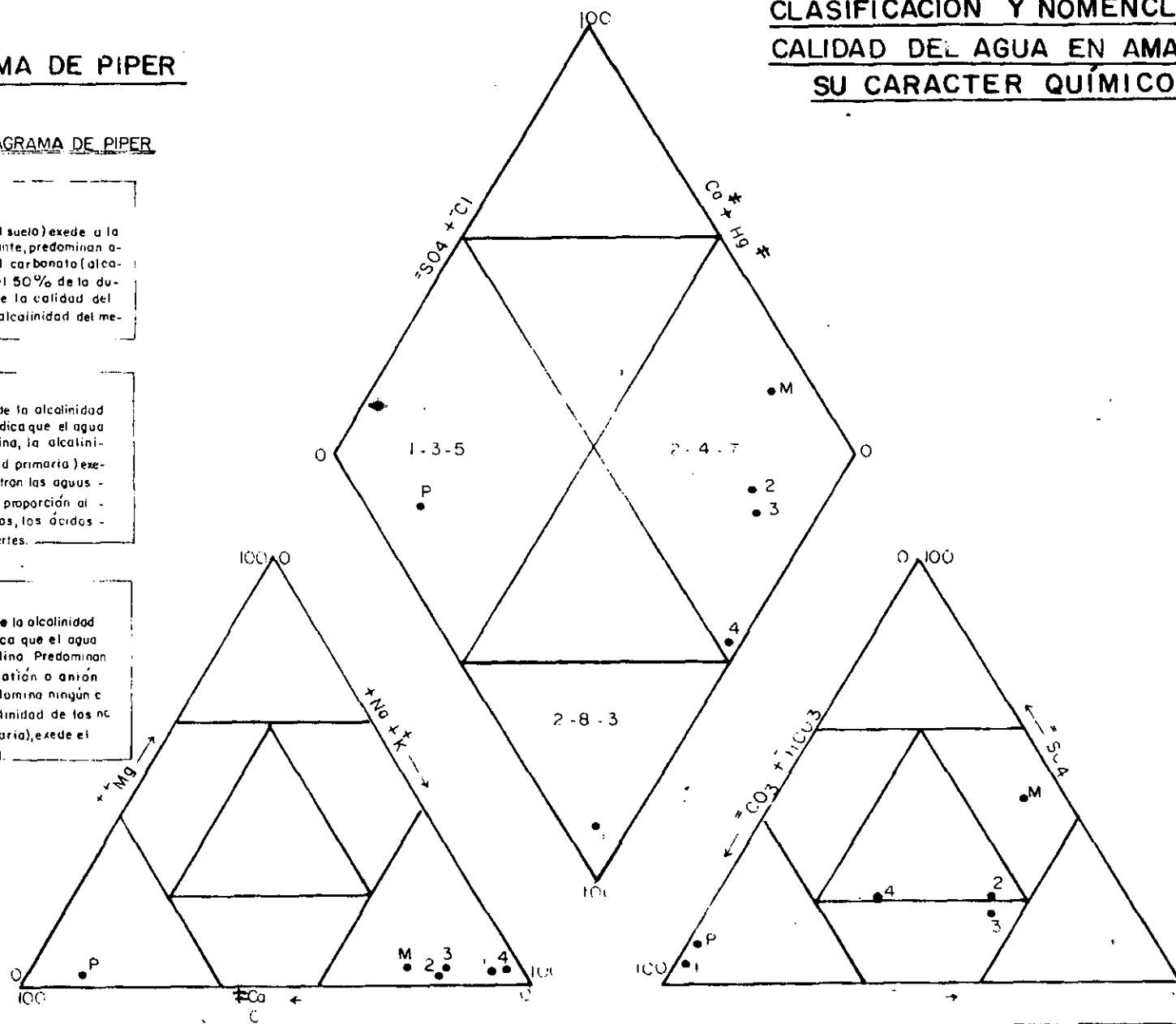
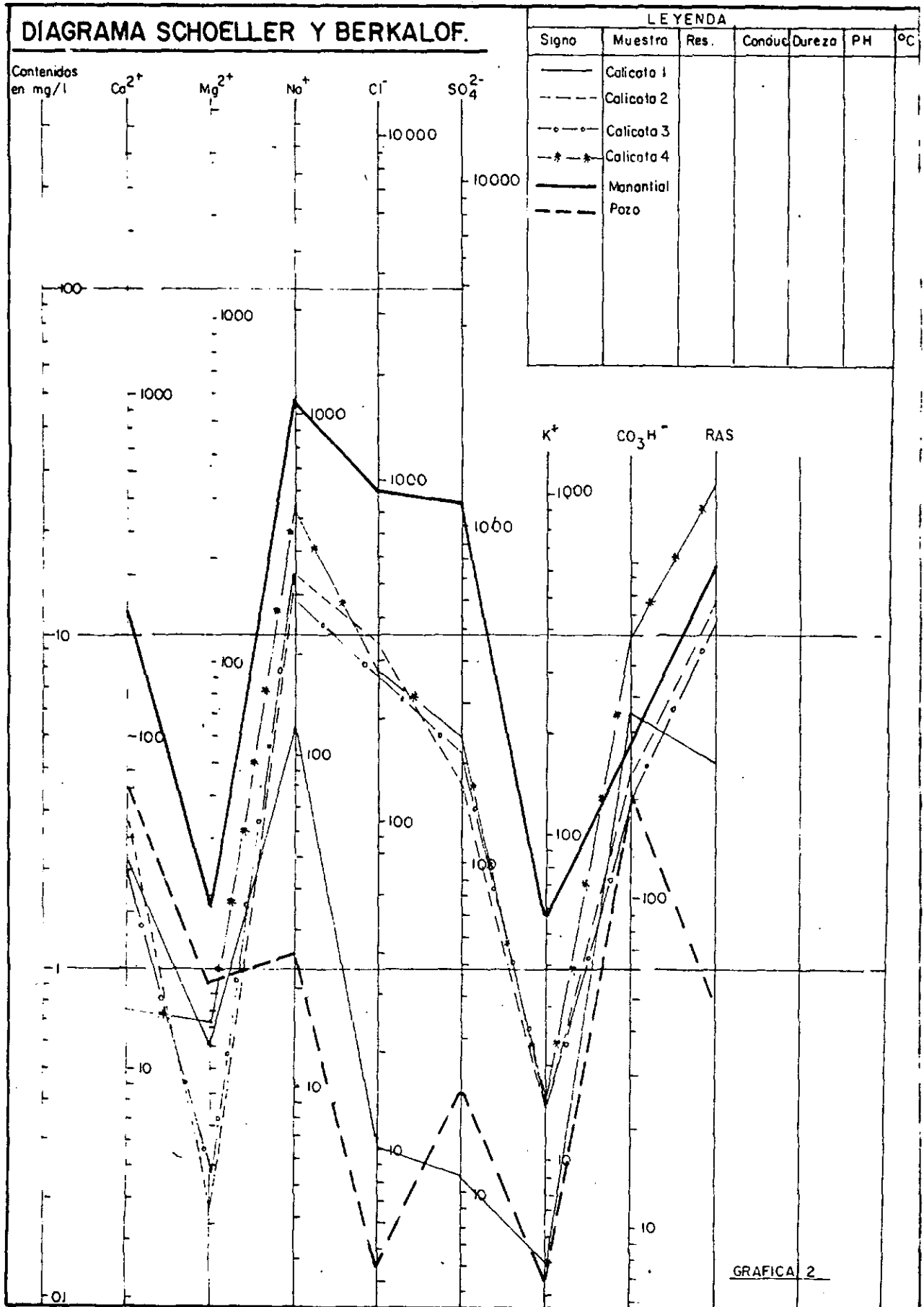
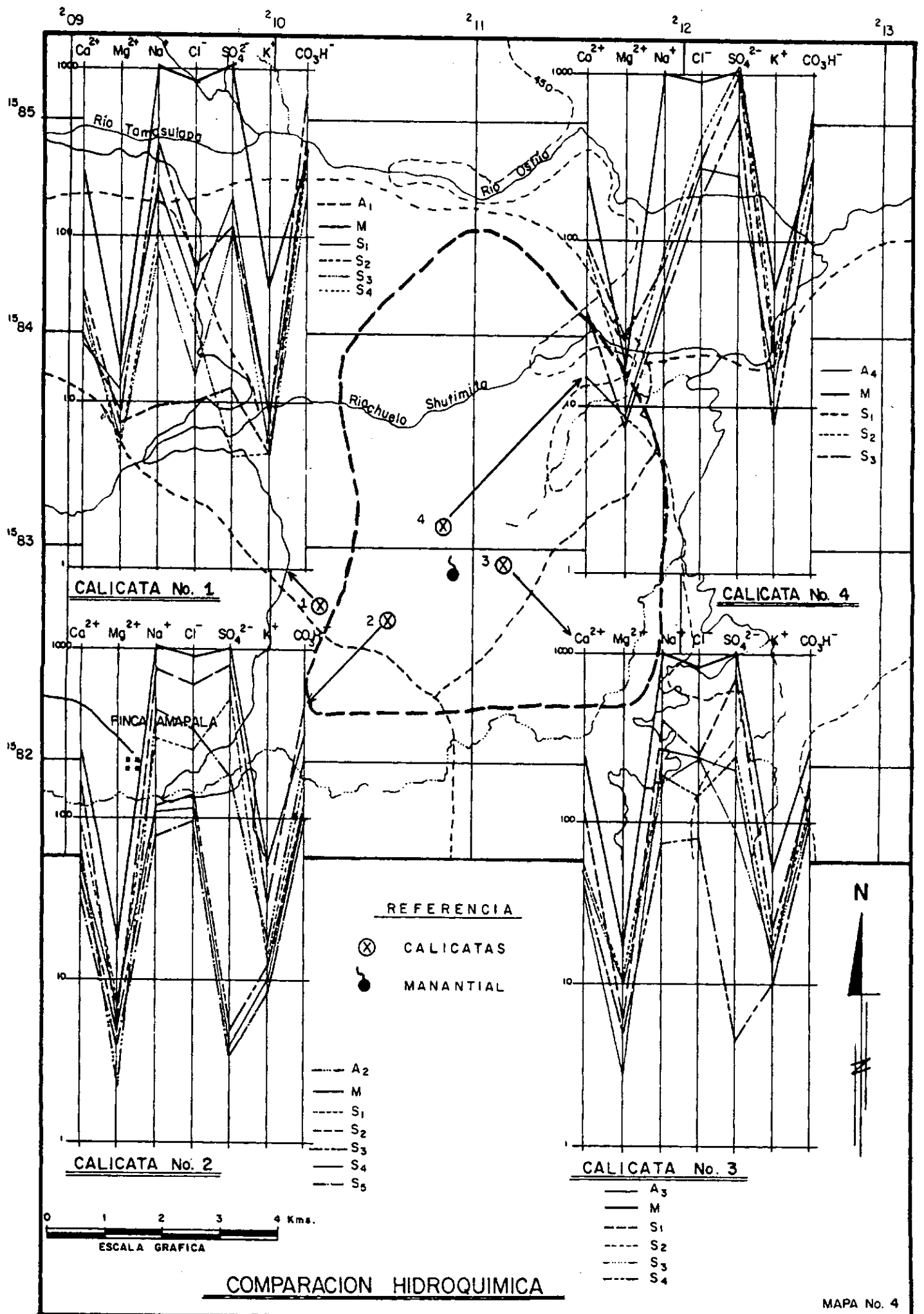


DIAGRAMA DE ANALISIS QUIMICO DE LAS AGUAS DE AMAPALA





a que han sido lavados por su solubilidad y a la vez existe un enriquecimiento del anión bicarbonato proveniente de la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Según se puede ver existe un proceso del ascenso capilar de sales muy marcado, que origina sodificación del suelo ya que la concentración del sodio en el agua freática es más baja que la de los horizontes superiores del suelo.

Este caso es un ejemplo típico del proceso de solonización donde la precipitación anual es menor que la evapotranspiración de todo el año, existe además en la zona problema una distribución irregular de la lluvia en el tiempo, que provoca un déficit de humedad de aproximadamente 639 mm/año, que con niveles freáticos poco profundos inducen el ascenso capilar del agua hacia la superficie, causando el arrastre y transporte de sales hacia arriba. El efecto de dilución de sales del agua de riego que alimenta el nivel freático a través de una infiltración rápida, ya que en algunos casos cuando caen las primeras lluvias o los primeros riegos, el suelo se encuentra seco y agrietado dando lugar a una infiltración a través de los macroporos principalmente o por el sistema de riego utilizado donde la inundación puede dar una carga hidráulica que induce una mayor velocidad en la infiltración.

- El agua del pozo vecino, según el método de Piper (gráfica 1) observamos que está dominada por la alcalinidad del medio y por los ácidos débiles. Estas aguas tienen un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos y una baja concentración de sodio. Teniendo una clasificación C_2S_1 .

De acuerdo a la intensidad y distribución de la sodicidad y salinidad en el área de estudio el pozo está fuera del radio de influencia del agua termomineral del manantial.

- El agua del Distrito de riego de Asunción Mita, es aprovechable para riego, ya que según los análisis reportados está dentro de la clasificación C_1S_1 , o sea que tiene niveles bajos de sales y sodio; se debe tener un drenaje adecuado porque es necesario que haya un grado moderado de lavado de las plantas y puede haber acumulación de sales y sodio en cantidades perjudiciales sobre todo para cultivos sensibles.

6.2.2. Muestras de suelo del área

De las muestras provenientes de los horizontes de las cuatro calicatas excavadas en el área de estudio se obtuvieron los resultados completos de los análisis físicos y químicos observándose lo siguiente:

6.2.2.1. Características físicas

Como se observa en el cuadro 11, la mayoría de los suelos son de textura franco arcilloso especialmente, lo que conjunto a la presencia de sales condiciona el suelo a presentar las siguientes características.

- Dispersión gradual de los coloides minerales hacia abajo formando un horizonte denso; y los coloides orgánicos hacia la superficie dando una coloración oscura; esta alteración física es debida a la remoción de sales solubles y el poder de hidratación del ión sodio.

- Son suelos pesados con una estructura que va desde prismas medianos fuertemente desarrollados hasta columnar; producidas por el agrietamiento de los coloides minerales al secarse.

- Son de consistencia de dura a muy dura en seco, y de alta plasticidad cuando húmedos.

Estas manifestaciones en conjunto reducen el tamaño y diámetro de los poros, reduciendo la permeabilidad y velocidad de infiltración al aire y el agua en el suelo.

- La alta retención de humedad por estos suelos se debe a las fuerzas de cohesión y adhesión, pero en este caso, existe un incremento del esfuerzo de tensión debido a la concentración de sales combinados con una textura pesada (como lo son estos suelos arcillosos). Siendo el máximo valor de humedad retenido de 80% a 1/3 de atmosfera; en un horizonte arcilloso el cual también contenía una de las mayores concentraciones de sales; caso que es un ejemplo típico del efecto de la concentración de sales sobre la retención de humedad.

6.2.2.2. Características químicas

Estos suelos según análisis realizados en el DIRYA (cuadros 12 y 13) presentan los siguientes valores:

- El pH es de neutro a fuertemente alcalino ya que al desplazarse los cationes de calcio y magnesio el efecto del sodio como Na_2CO_3 se hace prominente y aumenta el grado de hidrolisis del sodio intercambiable.

- La conductividad eléctrica de la pasta saturada es menor de

4 mmhos/cm. en las calicatas 1, 2 y 3. Como se puede ver en los horizontes más bajos ha habido remoción de las sales en el perfil iniciándose con los clóruros y sulfatos y aumentando la presencia de bicarbonatos.

- La presencia de calcio y magnesio disminuye y su relación no guarda equilibrio adecuado para los cultivos.
- El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en estas muestras de suelo tienen valores altos, siendo los horizontes superficiales donde se encuentra la mayor concentración de sodio, por lo que el complejo de intercambio está saturado con sodio.

Por sus características físicas y químicas los podemos ubicar dentro de la clasificación de "suelos sódicos no salinos".

La taxonomía de estos suelos según la 7ma. aproximación del Departamento de Suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos son:

| | |
|-------------|------------|
| Orden: | Aridisoles |
| Suborden: | Argids |
| Gran Grupo: | Natrargids |

6.3. Resultados del ensayo en el invernadero

Con el conocimiento de las propiedades físicas y químicas de estos suelos sódicos se procedió a la recuperación mediante métodos hidrotécnicos (lavado de suelo) complementado con mejoradores químicos, con el fin de solubilizar los mejoradores y eliminar las sales de sodio desplazadas del complejo de intercambio.

La forma de identificación de las enmiendas fue la siguiente: (cuadro 3)

CUADRO 3. Identificación de los tratamientos

A = Producto químico: 1 = Sulfato de amonio
 2 = Sulfato de calcio .Hidratado.
 3 = Acido sulfúrico

B = Dosis del producto: 1 = 2 meq./100 gr
 2 = 4 meq./100 gr
 3 = 8 meq./100 gr
 4 = 16 meq./100 gr

C = Volumen de lavado: 1 = 15.8 lt.
 2 = 7.6 lt.

| | | | | | | | |
|---|--|----|--|----|--|----|---------|
| 1 | A ₁ B ₁ C ₁ | 9 | A ₂ B ₁ C ₁ | 17 | A ₃ B ₁ C ₁ | 25 | TESTIGO |
| 2 | A ₁ B ₁ C ₂ | 10 | A ₂ B ₁ C ₂ | 18 | A ₃ B ₁ C ₂ | | |
| 3 | A ₁ B ₂ C ₁ | 11 | A ₂ B ₂ C ₁ | 19 | A ₃ B ₂ C ₁ | | |
| 4 | A ₁ B ₂ C ₂ | 12 | A ₂ B ₂ C ₂ | 20 | A ₃ B ₂ C ₂ | | |
| 5 | A ₁ B ₃ C ₁ | 13 | A ₂ B ₃ C ₁ | 21 | A ₃ B ₃ C ₁ | | |
| 6 | A ₁ B ₃ C ₂ | 14 | A ₂ B ₃ C ₂ | 22 | A ₃ B ₃ C ₂ | | |
| 7 | A ₁ B ₄ C ₁ | 15 | A ₂ B ₄ C ₁ | 23 | A ₃ B ₄ C ₁ | | |
| 8 | A ₁ B ₄ C ₂ | 16 | A ₂ B ₄ C ₂ | 24 | A ₃ B ₄ C ₂ | | |

6.3.1. Respuesta física y química a las enmiendas efectuadas

La medición de las diferentes enmiendas fueron evaluadas a través de la medición de los siguientes análisis - físicos y químicos (ver cuadro 14) en las muestras tratadas y los testigos.

Para poder hacer un análisis cualitativo de los resultados de los análisis físicos y químicos de los suelos enmendados se procedió a graficar los datos obtenidos para cada enmienda, nivel y parámetro de la siguiente forma:

- Respuesta de la humedad a los diferentes niveles de enmienda.

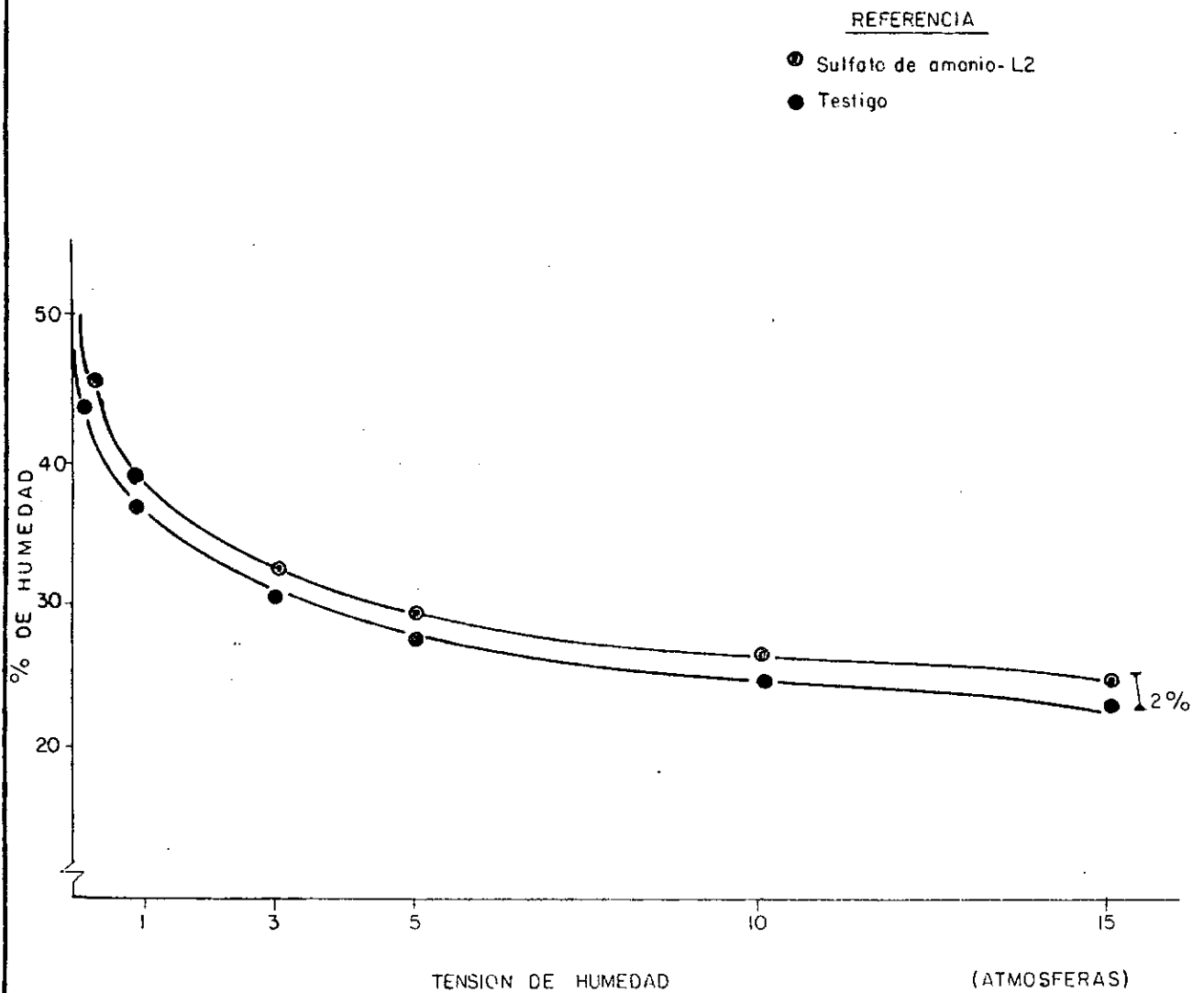
Por ser un suelo sódico no salino, la concentración de las sales no afecta sensiblemente la retención de la humedad, como puede apreciarse en la gráfica 3, en la cual se hace comparación de curvas entre el testigo y la enmienda que más diferencia presentó. La diferencia de humedad a la misma tensión no alcanza valores mayores de un 2% aún cuando el suelo ha estado sometido a un intenso lavado.

- Respuesta del pH a los diferentes niveles de enmienda

Como se puede observar en la gráfica 4, el yeso logra reducir el pH en los dos volúmenes de lavado en forma bastante aceptable, y con la dosis de 4 meq/100 gr es el nivel más efectivo.

La respuesta del sulfato de amonio con el mayor volumen

CURVA DE TENSION DE HUMEDAD RESPECTO
AL PORCENTAJE DE HUMEDAD



de lavado y en la dosis de 4 y 8 meq/100 gr logra mantener también un pH aceptable, lo mismo que con el menor volumen de lavado las dosis de 2 y 4 meq/100 gr.

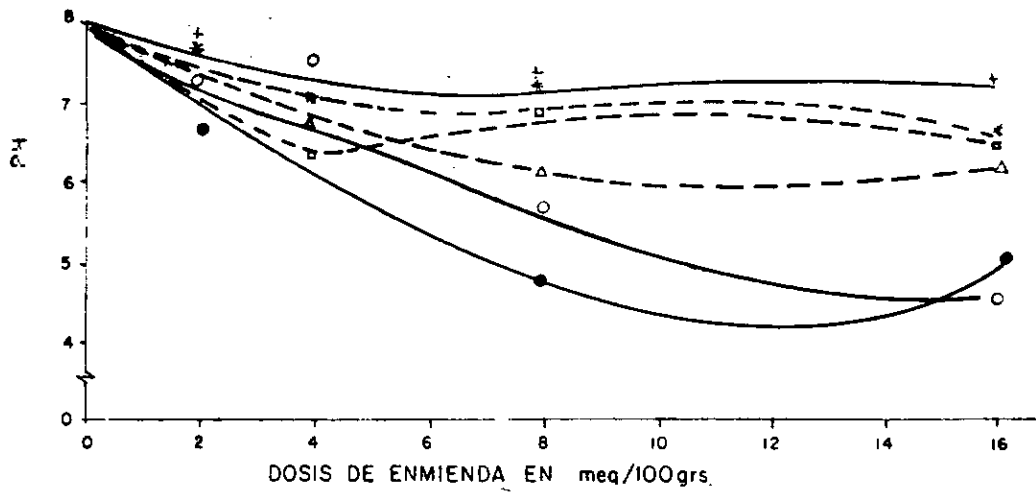
El ácido sulfúrico baja el pH, hasta valores muy bajos. - Aunque en el mayor volumen de lavado con 2 y 4 meq/100 gr de dosis de enmienda produce un pH aceptable.

- Variación de la conductividad eléctrica (C.E.) en los diferentes niveles de enmienda.

Con la aplicación del mayor volumen de agua, se obtuvo una disminución de la concentración de sales hasta valores de 1.2 milimhos/cm. al aplicarse los productos químicos en dosis menores de 4 meq/100 gr disminuye ligeramente la CE, pero al utilizar dosis mayores de 4 meq/L se presentó un incremento muy sensible en la concentración de sales, especialmente con el tratamiento de ácido sulfúrico y yeso, este fenómeno puede ser debido a la disolución de los compuestos insolubles que se encuentran en el suelo, pero por su carácter de insolubles no se detectaron antes.

Los valores alcanzados por la disolución de estas sales se encuentran alrededor de el límite de salinidad, característica que puede ser favorable para evitar que con los lavados que se apliquen posteriormente no se presente un desbalance entre el calcio y el sodio si la concentración de sales de calcio disminuye mucho puede acentuarse más la presencia de sodio. (gráfica 5).

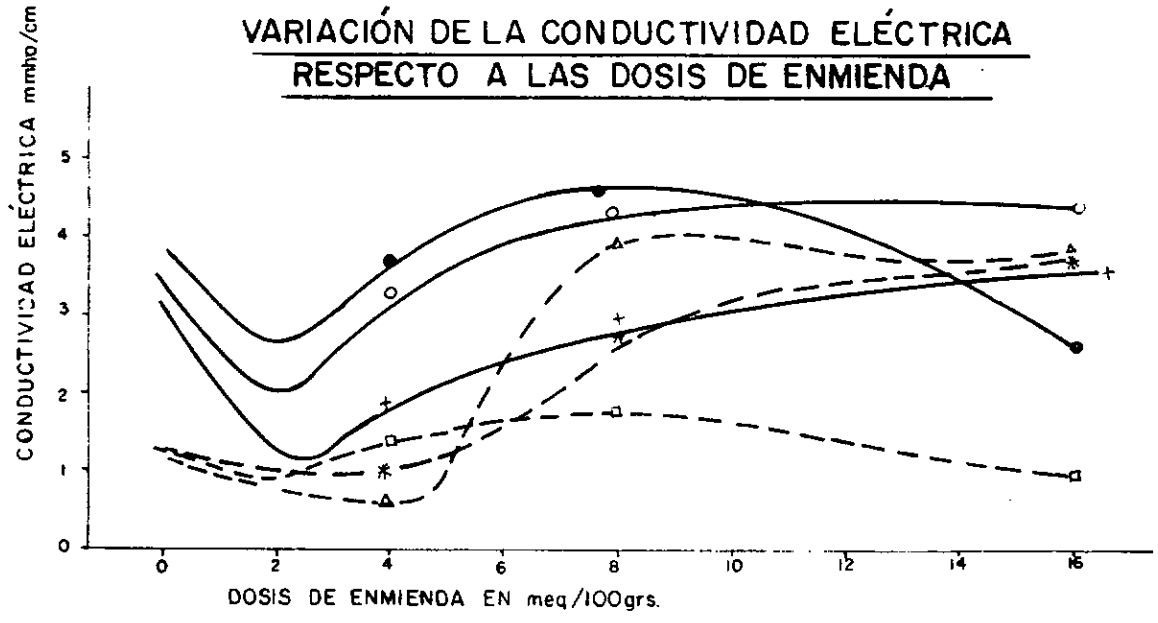
VARIACIÓN DEL PH CON RESPECTO A LAS DOSIS DE ENMIENDA



- L1 - [● — Sulfato de Amonio
- [○ — Acido Sulfúrico
- [+ — Yeso
- - L2 - [□ - - - Sulfato de Amonio
- [△ - - - Acido Sulfúrico
- [* - - - Yeso

GRAFICA No 4

VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA RESPECTO A LAS DOSIS DE ENMIENDA



- L1 - [○ — Sulfato de Amonio
- [○ — Acido Sulfúrico
- [+ — Yeso
- - L2 - [□ - - - Sulfato de Amonio
- [△ - - - Acido Sulfúrico
- [* - - - Yeso

GRAFICA No. 5

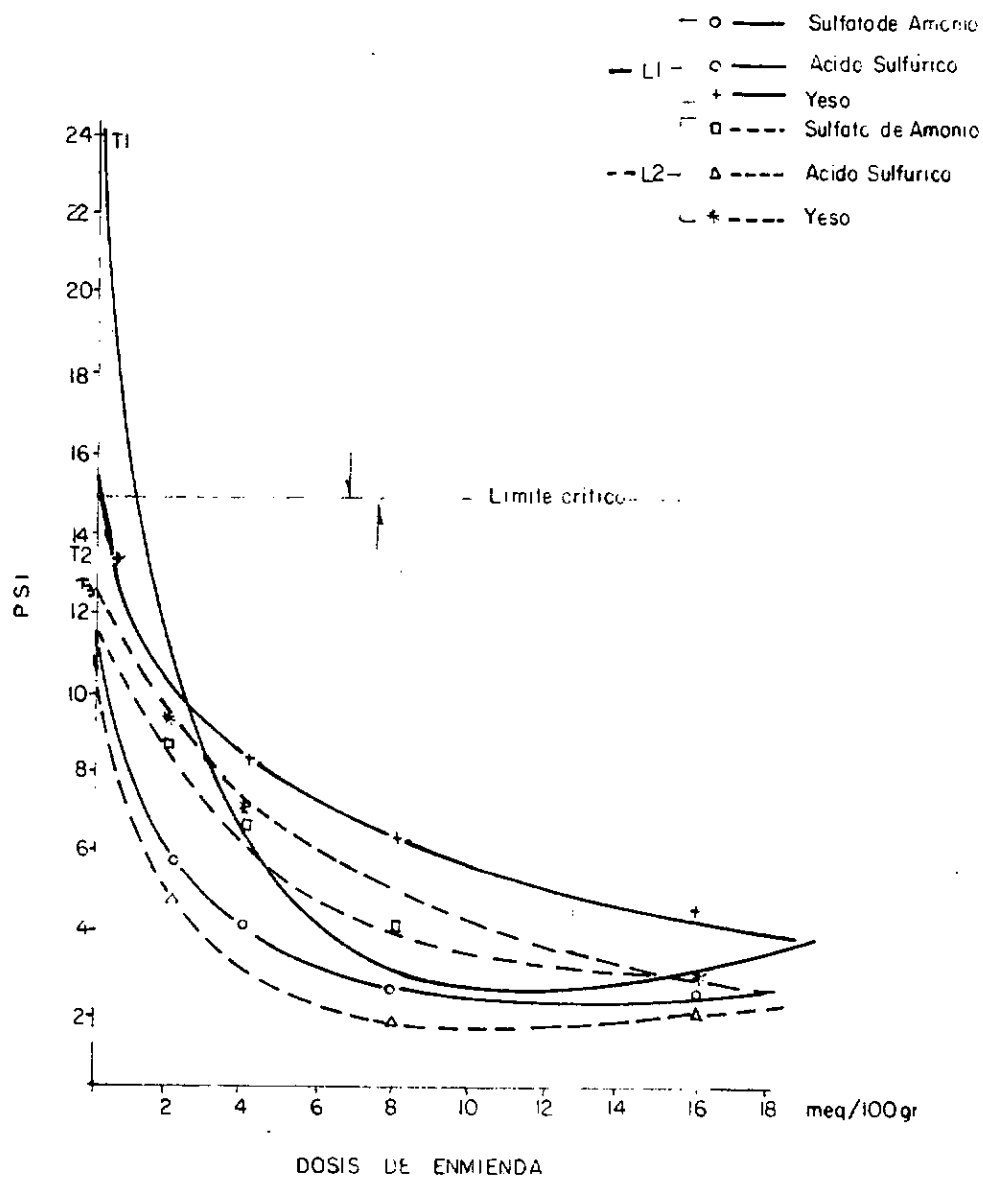
- Respecto al Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI): en la gráfica 6, se puede observar que todas las muestras de suelo presentan niveles mayores del 15% de sodio intercambiable antes de aplicarse las enmiendas.

Todas las enmiendas lograron bajar los valores del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), pero el ácido sulfúrico con el mayor volumen de lavado con una dosis de 8 meq/100 gr presentó la mejor respuesta, obteniendo un valor de 6.8%, o sea que hubo sustitución y lixiviación del ión sodio.

- Relación entre la conductividad eléctrica (C.E.) y el Porcentaje de sodio Intercambiable (PSI): Con las enmiendas se alcanzó bajar el PSI hasta valores entre 4 y 5%. Sin incremento sensible en la salinidad del suelo con las dosis más altas se logró bajar hasta valores de dos por ciento de sodio intercambiable, pero se notó una ligera tendencia a ensalitramiento aún con las enmiendas que no contenían calcio, posiblemente se deba a que sí se desplazó gran cantidad de sodio, por el sulfato (SO_4), este también pudo disolver algunas sales carbonatadas que se encontraban precipitadas y que no participaban en la solución del suelo, (ver gráfica 7). Dicho ensalitramiento podrá evitarse o disminuir con lavados posteriores.

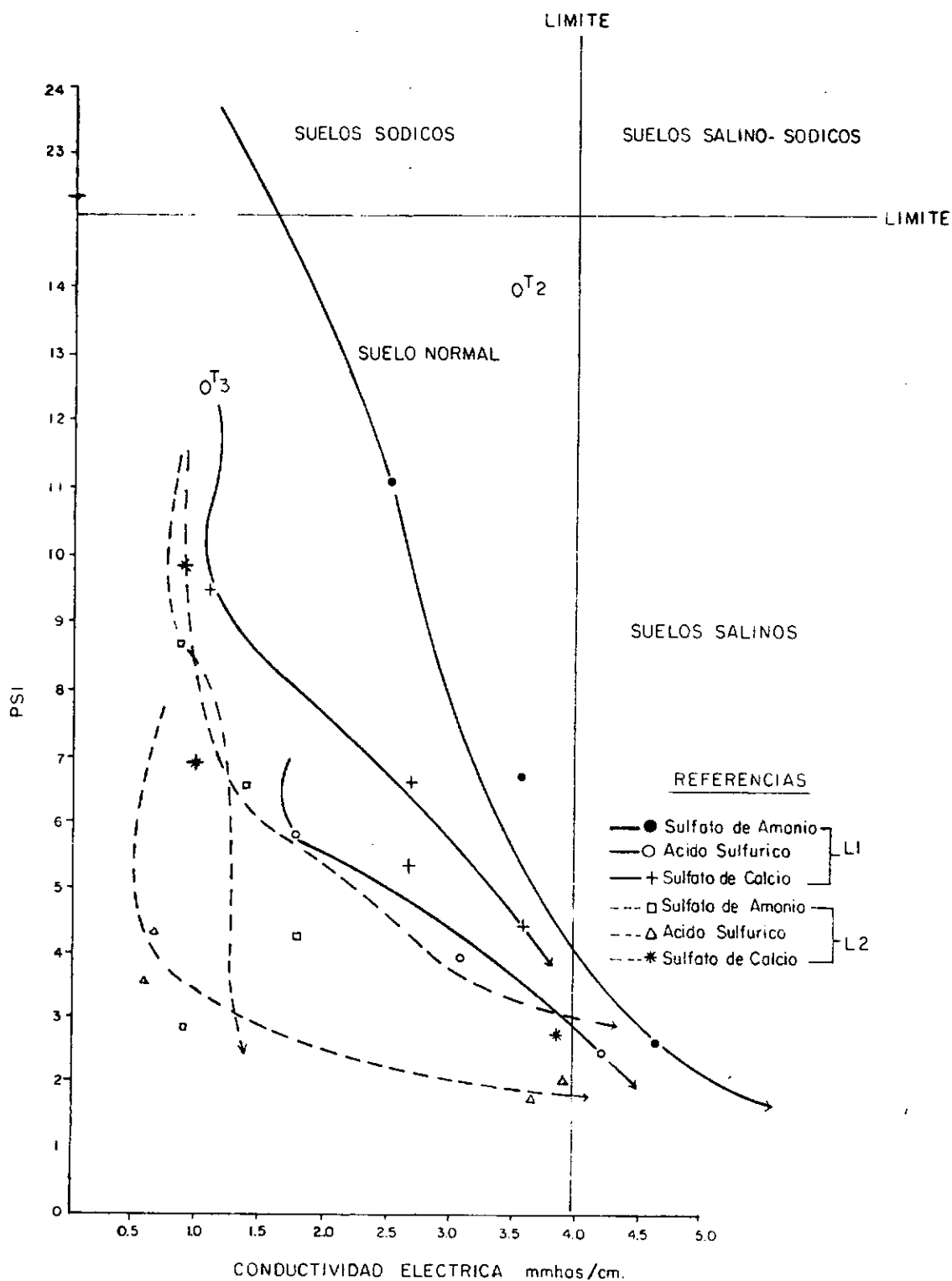
- Relación entre el pH y el Porcentaje de Sodio Intercambiable en las diferentes enmiendas: El comportamiento de estos suelos respecto a las distintas enmiendas y su efecto sobre el PSI y el pH no es en forma lineal. Como se puede apreciar en la gráfica 6, hubo un descenso desde un PSI de 23.8 hasta un PSI de 2 para la mayoría de los distintos

VARIACION DE % INTERCAMBIABLE
CON RESPECTO A LA DOSIS DE ENMIENDA

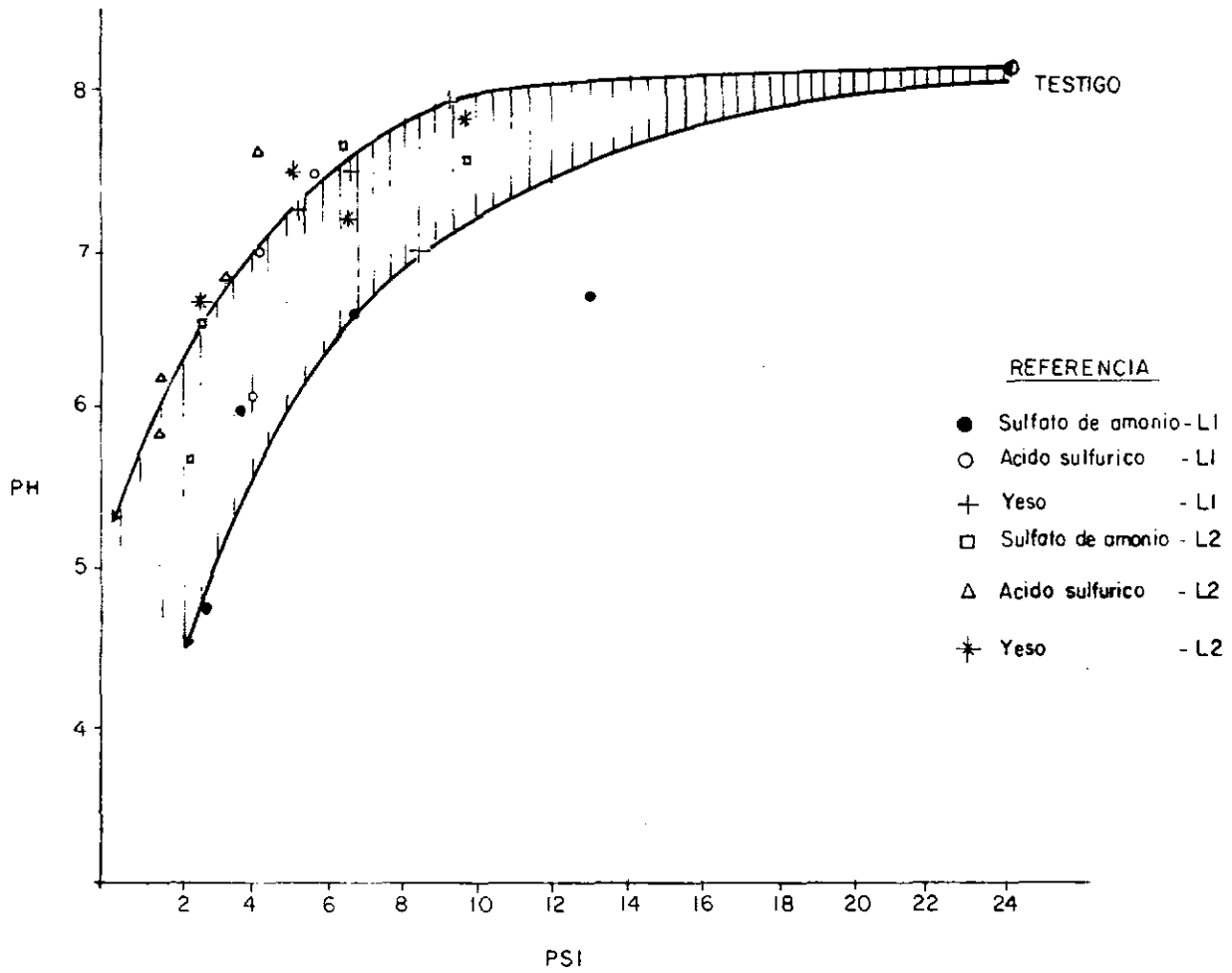


GRAFICA No. 7

RELACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y % DE SODIO INTERCAMBIABLE CON RESPECTO A LA ENMIENDA



RELACION DE pH RESPECTO AL PSI



tratamientos en las dosis más altas, sin embargo, para el pH hubo respuestas entre 6.5 para el yeso y 4.5 para el ácido sulfúrico siempre para las más altas concentraciones.

- Variación de calcio intercambiable respecto a las enmiendas

En el caso de los tratamientos con sulfato de calcio (yeso) la enmienda misma aporta más calcio. El ácido sulfúrico presentó una disminución en los niveles de calcio conforme se aumentó la dosis de enmienda. Esto es debido a que la solución del suelo no aporta calcio al desplazarse el sodio adherido en el coloide.

Con los tratamientos de sulfato de amonio conforme se incrementó la dosis de enmienda se observó una disminución en el contenido de calcio.

6.3.2. Respuesta de la planta indicadora a los distintos niveles de enmienda

Ya que la recuperación de estos suelos implica un mejoramiento de sus condiciones físicas y químicas la respuesta de la planta de acuerdo a su crecimiento con respecto a los niveles de lavado y adición de los mejoradores químicos utilizados.

6.3.2.1. Análisis estadístico de las manifestaciones del desarrollo del cultivo.

Los resultados obtenidos para el ciclo del cultivo se analizaron estadísticamente; observando las variables de: % de germinación, altura de planta, largo y ancho de la hoja; continuando con la misma identificación de las enmiendas.

CUADRO 4. Análisis de varianza del % de germinación del cultivo de frijol con testigo.

| F.V. | GL | CM | F.C. | F Tabulada | |
|--------------|----|--------|--------|------------|------|
| | | | | 5% | 1% |
| Tratamientos | 24 | 988.99 | 1.89** | 1.79 | 2.29 |
| Error | 50 | 522.51 | | | |
| Total | 74 | | | | |

Coeficiente de variación: 24.45%

F.V. = Fuente de variación

GL = Grados de libertad

CM = Cuadrado medio

F.C. = F calculada

** = Significativo

En el cuadro 4 se observa que en el desarrollo del cultivo hubo efecto significativo en el % de germinación; pero al hacerle la prueba de Tukey no hubo variación.

CUADRO 5. Análisis de varianza de la altura de planta (en cm.)
en la época de floración del cultivo con testigo.

| F.V. | GL | CM | F.C. | F Tabulada | |
|-------------|----|-------|---------|------------|------|
| | | | | 5% | 1% |
| Tratamiento | 24 | 10.74 | 1.48 ns | 1.79 | 2.29 |
| Error | 50 | 7.26 | | | |
| Total | 74 | | | | |

Coeficiente de variación: 28.66%

F.V. = Fuente de variación

GL = Grados de libertad

CM = Cuadrado medio

F.C. = F calculada

ns = No significativo

En el cuadro 5 se puede ver que no tuvo ningún efecto - significativo al 5% en la altura de la planta en la época de floración.

CUADRO 6. Análisis de varianza del largo de la hoja (cms) en
la época de floración sin testigo

| F.V. | GL | CM | F.C. | F Tabulada | |
|-------------|----|-------|--------|------------|------|
| | | | | 5% | 1% |
| Tratamiento | 23 | 9.78 | 2.16** | 1.79 | 2.29 |
| A | 2 | 3.08 | 0.68NS | 3.23 | 5.18 |
| B | 3 | 16.06 | 3.56** | 2.84 | 4.31 |
| C | 1 | 0.78 | 0.17NS | 4.08 | 7.31 |
| AB | 6 | 20.95 | 4.64** | 2.34 | 3.29 |
| AC | 2 | 9.53 | 2.11NS | 3.23 | 5.18 |
| BC | 3 | 3.74 | 0.83NS | 2.84 | 4.31 |
| ABC | 6 | 2.30 | 0.51NS | 2.34 | 3.29 |
| Error | 48 | 4.52 | | | |
| Total | 71 | | | | |

Coeficiente de variación: 34.77%

NS = No significativo

** = Significativo

En el cuadro 6 se observa en el largo de hoja que sí hay significancia entre los productos químicos y la dosis.

De acuerdo con la prueba de Tukey al 5% sin testigo; en la comparación de medias entre el producto químico y la dosis el ácido sulfúrico aplicado con 16 meq/100 gr. obtuvo menor - largo de hoja con respecto a los demás.

CUADRO 7. Análisis de varianza del ancho de hoja (cms) en la época de floración sin testigo

| F.V. | GL | CM | F.C. | F tabulada | |
|-------------|----|-------|--------|------------|------|
| | | | | 5% | 1% |
| Tratamiento | 23 | 8.24 | 2.34** | 1.79 | 1.29 |
| A | 2 | 19.15 | 5.43** | 3.23 | 3.18 |
| B | 3 | 6.92 | 1.96NS | 2.84 | 4.31 |
| C | 1 | 3.42 | 0.97NS | 4.08 | 7.31 |
| AB | 6 | 14.23 | 4.03** | 2.34 | 3.29 |
| AC | 2 | 8.47 | 2.40NS | 3.23 | 5.18 |
| BC | 3 | 2.94 | 0.83NS | 4.08 | 7.31 |
| ABC | 6 | 2.67 | 0.76NS | 2.34 | 3.29 |
| Error | 48 | 3.53 | | | |
| Total | 71 | | | | |

Coeficiente de variación: 31.89%

NS = No significancia

** = Significancia

En el cuadro 7 se observa efecto significativo al 5% de probabilidad, en el ancho de hoja de frijol en la época de floración, debido al efecto de la aplicación de producto químico y su dosis.

De acuerdo con la prueba de Tukey al 5% sin testigo, en la comparación de medias de los productos químicos y sus dosis, el ácido sulfúrico con 16 meq/100 gr. obtuvo el menor ancho de hoja con respecto a los demás.

6.3.2.2. Interpretación de las manifestaciones cualitativas de la planta indicadora.

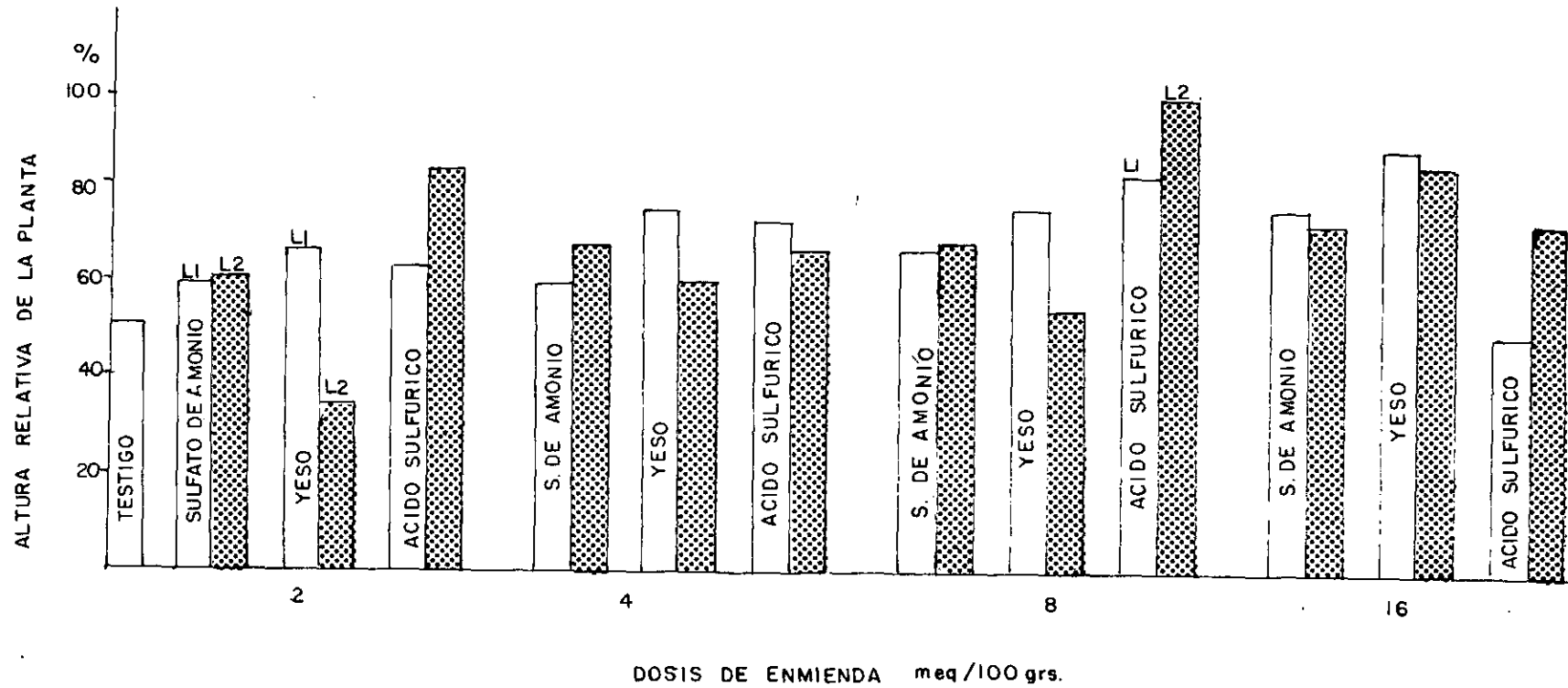
El porcentaje de germinación fue bastante satisfactorio en los tratamientos que tuvieron el lavado 1; pero los que tuvieron el lavado 2, su porcentaje de germinación descendió debido posiblemente al exceso de humedad.

En el cultivo existe una ligera tendencia de crecimiento en todas las respuestas biológicas observadas, de acuerdo al incremento de los niveles de los tratamientos; especialmente en la enmienda de yeso. El ácido sulfúrico también respondió satisfactoriamente pero al aplicarlo en la dosis de 16 meq/100 gr obtuvo un descenso en su desarrollo vegetativo con respecto a los demás.

En general la respuesta de la planta indicadora a las enmiendas se vio afectada en un alto porcentaje por el exceso de humedad que mantuvieron las macetas de los tratamientos con el mayor volumen de lavado, como puede observarse en la gráfica 9 donde la mitad de los tratamientos con volumen de lavado menor experimentó una mejor respuesta.

En la misma gráfica puede verse que existe una tendencia positiva respecto al incremento de las enmiendas, especialmente con la enmienda química de yeso.

MANIFESTACIONES DEL DESARROLLO DEL CULTIVO RESPECTO A LA ENMIENDA



GRAFICA No 9

VIII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados y a la discusión presentada en el capítulo anterior, podemos concluir:

1. Respecto a las características del área

- La mala distribución de un régimen deficiente de lluvia y temperaturas promedio elevadas favorecen el proceso de evaporación del agua capilar, la cual proviene del agua freática de mala calidad que durante el proceso de ascenso hacia la superficie se enriquece más de sales las que finalmente deposita en horizontes próximos a la superficie y sobre la misma superficie.
- El agua freática de las calicatas 2, 3 y 4 son similares al agua del manantial termomineral y según diagrama de Piper la alcalinidad de las aguas excede la alcalinidad del medio donde circula, lo que indica que el agua proviene de una zona alcalina, que para este caso en particular las aguas del manantial influyen directamente en la alta alcalinidad de los suelos.
- La emergencia del agua termomineral del manantial está asociada con anomalías geotérmicas donde el agua subterránea profunda circula a través de rocas alcalinas con altas temperaturas, dichas rocas son posiblemente de vulcanismo terciario.
- Los niveles de fósforo, potasio, calcio y magnesio no son deficientes, con las enmiendas se logra mejorar la disponibilidad del fósforo al regular el pH alcalinos.
- La capacidad de retención de humedad por el suelo es bastante alta alcanzando valores de humedad disponible hasta de 54% debido posiblemente al alto contenido de arcilla y sales.

2. Respecto a los mejoradores del suelo

Los tres mejoradores químicos utilizados, lograron sustituir al sodio intercambiable del suelo hasta niveles satisfactorios.

El ácido sulfúrico tuvo reacciones muy fuertes y acidificó demasiado el suelo.

El yeso presentó desplazamiento del sodio y aportación del calcio por lo que la conductividad eléctrica volvió a su punto de partida cuando se aumentó la dosis.

El sulfato de amonio presentó buenas características, ya que neutralizó el pH, y mantuvo una conductividad eléctrica baja; por lo que es el más efectivo para recuperar estos suelos, desde el punto de vista técnico.

VII.3. Respecto a las dosis de enmienda

- Los óptimos resultados los arrojó la dosis de 16 meq/100 gr de suelo, con sulfato de amonio en el mayor volumen de lavado, ya que disminuyó el porcentaje de sodio intercambiable y neutralizó el pH, así como mantuvo una conductividad eléctrica baja.

- La aplicación de yeso en las dosis de 4 y 8 meq/100 gr. de suelo en el mayor volumen de lavado, logró desplazar las sales y el pH es débilmente alcalino.

VII.4. Respecto al volumen de lavado del suelo

- En el mayor volumen de lavado se obtuvieron los mejores resultados, ya que logró solubilizar los productos químicos para que estos sustituyeran el sodio del complejo de intercambio así como también desplazó las sales existentes.

VII.5. Respecto al desarrollo del cultivo

- La aplicación de estas enmiendas al suelo lograron recuperarlo, mejorando las características del mismo e incrementando el desarrollo del cultivo.

Solo la aplicación de alta concentración de ácido sulfúrico provocó características indeseables en el suelo, por consiguiente un efecto nocivo en la planta.

Entre las otras enmiendas no existió mayor variabilidad y sí un efecto positivo con respecto al suelo sin tratar.

VIII. RECOMENDACIONES

Para el problema que presentan los suelos de Amapala, se puede resolver, combinando medidas hidrotécnicas y químicas.

1. Las enmiendas más recomendables son: la aplicación de yeso al voleo y fertilizaciones con sulfato de amonio, manteniendo siempre un abastecimiento de agua de buena calidad, para solubilizar el mejorador químico y eliminar las sales de sodio desplazadas del complejo de intercambio.
2. Para que el lavado de este suelo sea efectivo, es de suma importancia, construir drenajes artificiales para darle salida a las sales que son lavadas y controlar la profundidad de los niveles freáticos que brotan en los alrededores del lugar; para lo cual se hace necesario un estudio de éste, donde podría considerar los siguientes factores para establecer los mecanismos de enmienda en el campo:
 - Elaborar un mapa topográfico con curvas a nivel a cada metro.
 - Sobre el mapa topográfico ubicar varios pozos o calicatas para observar la variación de los niveles freáticos durante las diferentes épocas del año.
 - Con los datos de los incisos anteriores, establecer un mapa de isolíneas de profundidad del agua subterránea para establecer junto con el mapa de isopiezas o de isolíneas de nivel freático, la orientación y profundidad de las zanjas de drenaje.

- Cada vez que se tomen las lecturas o datos de los niveles del agua debe controlarse la salinidad y el contenido de sodio de cada pozo para poder determinar el grado de influencia que tiene el agua salina del nacimiento, para tomar con precisión las medidas que el caso requiera.

 - Evacuar el agua de nacimiento fuera de la zona afectada; para que el drenaje interno se efectúe, debe localizarse dentro del perfil del suelo un estrato permeable que sirva de colector del agua a drenar, ya que si la zanja únicamente corta un estrato muy pesado poco permeable el drenaje sería lento y deficiente.
3. Luego emplear rotaciones de cultivos tolerantes a la salinidad y/o sodicidad.

IX. BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ACEVES NAVARRO, E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. México, Universidad Autónoma de Chapingo. s.p.
 2. ACEVES NAVARRO, L. 1981. Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación. México, Universidad autónoma de Chapingo. 244 p.
 3. ARAGON CASTILLO, B. B. 1983. Enmiendas de suelos salino sódicos del área de Placetas a nivel de laboratorio y análisis preliminar del problema en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 102 p.
 4. ESTADOS UNIDOS. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salino y sódicos. México. 172 p. (Manual de Agricultura no. 60).
 5. GUATEMALA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLA. 1984. ICTA Quetzal, ICTA Tamazulapa. Guatemala. Desplegable.
 6. ----- . INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1977. Mapa del lago de Guija. 2 ed. Guatemala, Esc. 1:50,000. Color.
 7. ----- . 1981. Fotografías aéreas de la zona del lago de Guija. (fotografía). Guatemala, 3 fotografías. Esc. aprox. 1:33,000. b y n.
 8. ----- . INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. s.f. Tarjetas de control, estación tipo "A" Asunción Mita, período 1970-1982. s.n.t.
 9. NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. 1982. Manual de fertilizantes. Trad. Rodríguez de la Torre, M. México, Limusa. p. 36-37, 41-42.
 10. PERDOMO, R. s.f. Estudio preliminar de Amapala. Guatemala, Ministerio de Agricultura. s.p.
- Sin publicar.

11. REYES CASTAÑEDA, P. 1980. Diseños experimentales aplicados. México, Trillas. 344 p.
12. ROSAS, O.; REYES, C. s.f. Informe de salinidad y drenaje de Amapala. Guatemala, Dirección General de Recursos Renovables. s.p.
13. SOSA, C.E. 1984. Efecto de niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva sobre el desarrollo de sorgo, (Sorghum vulgare L.), frijol (Phaseolus vulgaris L.), y tomate (Lycopersicum esculentum M.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 60 p.

Vo.Bo.

Patru alle

A N E X O S

CUADRO 8. Equivalencia de las dosis de enmiendas utilizadas en toneladas/hectárea

| meq/100 gr de suelo | Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Sulf. de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | Acido sulfú rico H_2SO_4 |
|------------------------|---|---|---|
| 2 | 3.87 | 2.97 | 2.20 |
| 4 | 7.74 | 5.94 | 4.40 |
| 8 | 15.48 | 11.88 | 8.80 |
| 16 | 30.96 | 23.76 | 17.60 |

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS AGUAS MUESTREADAS

| PROCEDENCIA | | CALICATA No. 1 | CALICATA No. 2 | CALICATA No. 3 | CALICATA No. 4 | MANANTIAL | POZO | |
|-------------------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| IDENTIFICACIÓN | | 85-230 | 85-231 | 85-232 | 85-233 | 85-234 | 85-235 | |
| PH | | 7.53 | 7.19 | 7.50 | 8.30 | 8.00 | 8.00 | |
| CEXIO ⁻⁶ a 25 C° | | 786 | 2066 | 1753 | 2417 | 5130 | 529 | |
| SOLIDOS EN SOLUCIÓN P.P.M. | | 524 | 1422 | 1184 | 1586 | 4026 | 498 | |
| SUMA DE CATIONES Meq/litro | | 8.22 | 18.41 | 14.94 | 24.21 | 55.66 | 5.64 | |
| SUMA DE ANIONES Meq/litro | | 8.31 | 17.66 | 16.08 | 24.83 | 54.56 | 5.36 | |
| Miliequivalente por litro | Cationes | Ca ⁺⁺ | 2.37 | 2.80 | 2.15 | 0.75 | 12.15 | 3.55 |
| | | Mg ⁺⁺ | 0.62 | 0.19 | 0.22 | 0.69 | 1.46 | 0.88 |
| | | Na ⁺ | 5.10 | 15.00 | 12.15 | 22.40 | 40.70 | 1.10 |
| | | K ⁺ | 0.13 | 0.42 | 0.42 | 0.37 | 1.35 | 0.11 |
| | Aniones | CO ₃ ⁼ | 1.57 | 0.49 | 1.03 | 2.39 | 0.00 | 1.24 |
| | | HCO ₃ ⁻ | 6.22 | 3.92 | 3.32 | 9.57 | 5.16 | 3.55 |
| | | CL ⁻ | 0.28 | 9.48 | 7.24 | 7.98 | 25.70 | 0.12 |
| | | NO ₃ ⁻ | — | — | — | — | — | — |
| | | SO ₄ ⁼ | 0.24 | 3.77 | 4.49 | 4.89 | 23.70 | 0.45 |
| | | % SODIO SOLUBLE | | 62.04 | 81.48 | 81.32 | 92.52 | 73.12 |
| RAS | | 4.17 | 12.27 | 11.16 | 26.40 | 15.60 | 0.74 | |
| Na ₂ CO ₃ RES | | 4.80 | 1.42 | 11.98 | 10.52 | 0.00 | 0.36 | |
| CLASE | | C ₃ S ₁ | C ₃ S ₃ | C ₃ S ₂ | C ₄ S ₄ | C ₅ S ₄ | C ₂ S ₁ | |

FUENTE:
DIRYA

ANALISIS PORCENTUAL DE LAS AGUAS DE AMAPALA
PARA SU PROCESO POR EL METODO PIPER

| PROCEDENCIA | CALICATA No. 1 | CALICATA No. 2 | CALICATA No. 3 | CALICATA No. 4 | MANANTIAL | N/ POZO |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-----------------------|
| Suma de cationes Meq/litro | 8.22 | 18.41 | 14.94 | 24.21 | 55.66 | 5.64 |
| % Ca ⁺⁺ | 28.83 | 15.21 | 14.39 | 3.10 | 21.83 | 62.94 |
| % Mg ⁺⁺ | 7.54 | 1.03 | 1.47 | 2.85 | 2.62 | 15.60 |
| % Na ⁺ | 62.04 | 81.48 | 81.33 | 92.52 | 73.12 | 19.51 |
| % K ⁺ | 1.04 | 2.28 | 2.81 | 1.53 | 2.43 | 1.91 |
| Suma de Aniones Meq/litro | 8.31 | 17.66 | 16.08 | 24.83 | 54.56 | 5.36 |
| % CO ₃ ⁼ | 18.89 | 2.77 | 6.41 | 9.63 | 0.00 | 23.13 |
| % HCO ₃ ⁻ | 74.85 | 22.20 | 20.65 | 38.54 | 9.46 | 66.23 |
| % Cl ⁻ | 7.37 | 53.68 | 45.02 | 32.14 | 47.10 | 2.24 |
| % SO ₄ ⁼ | 2.89 | 21.35 | 27.92 | 19.69 | 43.44 | 8.40 |

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS
MUESTREADOS EN AMAPALA

| Punto | Prof. | TEXTURA | %Ar | % L | Tension en Atmosfera | | | Materia Orgánica % | D. A. | Color húmedo | | Color seco | |
|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|----------------------|---------|--------|--------------------|--------|--------------|-------|------------|-------|
| | | | | | % A | 1/3 AtM | 15 AtM | | | Clave | Color | Clave | Color |
| 1 | 0-14 | Lim F. Ar. y F. Ar. L. | 33.49 | 46.79 | 19.72 | 58.67 | 26.25 | 6.81 | 0.8546 | 10yR | 2/1 | 10yR | 4/1 |
| | 14-33 | Franco arcilloso | 34.73 | 41.81 | 23.46 | 52.59 | 23.61 | 6.01 | 0.9473 | " | 2/1 | " | 5/1 |
| | 33-49 | Franco arcilloso | 34.60 | 34.17 | 31.23 | 38.93 | 20.99 | 1.69 | 1.4667 | " | 3/2 | " | 6/2 |
| | 49-+ | Franco arcilloso | 30.17 | 44.72 | 25.11 | 44.35 | 19.21 | 2.27 | 1.0374 | " | 3/2 | " | 6/1 |
| 2 | 0-16 | Franco arcilloso | 31.04 | 46.78 | 22.18 | 68.73 | 22.54 | 6.59 | 0.7134 | " | 3/1 | " | 5/1 |
| | 16-27 | Franco arcilloso | 28.59 | 46.58 | 24.83 | 56.07 | 17.17 | 2.36 | 0.8331 | " | 3/2 | " | 5/1 |
| | 27-37 | Franco | 23.52 | 47.67 | 28.81 | 31.54 | 11.21 | 0.51 | 1.2201 | " | 5/3 | " | 7/1 |
| | 37-45 | Franco arcilloso | 36.18 | 37.47 | 26.35 | 40.65 | 23.60 | 0.86 | 1.1023 | " | 3/3 | " | 6/2 |
| | 45-+ | Arcilla limoso | 48.45 | 44.57 | 6.98 | 41.44 | 24.41 | 0.37 | 1.0311 | " | 3/3 | " | 6/1 |
| 3 | 0-28 | Arcilla | 40.66 | 36.64 | 22.70 | 79.20 | 25.34 | 3.84 | 1.6372 | " | 2/1 | " | 5/1 |
| | 28-47 | Franco arcilloso | 33.49 | 35.80 | 30.71 | 80.94 | 29.85 | 0.83 | 1.1007 | " | 5/1 | 7.5yR | 7/0 |
| | 47-58 | Franco limoso | 14.19 | 53.51 | 32.30 | 34.71 | 7.97 | 0.16 | 1.8784 | " | 7/2 | " | 8/0 |
| | 58-+ | Franco arcilloso | 37.40 | 41.36 | 21.24 | 48.56 | 26.59 | 0.73 | 0.9790 | " | 3/2 | 10yR | 5/1 |
| 4 | 0-24 | Franco arcilloso | 38.26 | 38.91 | 22.83 | 59.90 | 37.34 | 6.81 | 0.8635 | " | 2/1 | " | 4/1 |
| | 24-40 | Franco arcilloso-limoso | 38.68 | 48.46 | 12.86 | 44.93 | 25.80 | 2.94 | 0.8162 | " | 3/1 | " | 4/1 |
| | 40-+ | Arcilla | 61.95 | 31.55 | 6.5 | 83.37 | 37.80 | 1.30 | 0.9661 | " | 4/2 | " | 5/2 |
| | | pH se hizo con relación _____ | 1:2.5 | | | | | | | | | | |

FUENTE: Análisis del suelo en DIRYA.

CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AREA DE ESTUDIO
(meq./100 gr. de suelo)

| PUNTO | PROFUN- DIDAD | CAPACIDAD TO- TAL DE INTER- CAMBIO. | Ca. | Mg. | Na. | K | H. | SATURACION EN BASES % | PH | OBSERVACIONES Ca. |
|----------------|------------------|---|-------|------|-------|------|------|--------------------------|------|----------------------|
| P ₁ | 0-14 | 32.33 | 35.48 | 6.85 | 9.23 | 0.72 | 0.00 | 100 | 8.68 | 52.28 |
| | 14-33 | 33.03 | 33.42 | 4.70 | 5.68 | 0.58 | 0.00 | > 100 | 8.41 | 44.38 |
| | 33-49 | 36.97 | 33.71 | 4.74 | 1.69 | 0.54 | 0.00 | > 100 | 7.59 | 40.78 |
| | 49-+ | 30.01 | 24.09 | 2.86 | 2.77 | 0.53 | 0.00 | > 100 | 7.81 | 30.25 |
| P ₂ | 0-16 | 36.77 | 28.85 | 0.99 | 4.57 | 1.00 | 1.36 | 96.30 | 7.58 | 35.41 |
| | 16-27 | 22.41 | 25.05 | 0.59 | 8.47 | 1.00 | 0.00 | > 100 | 6.68 | 35.11 |
| | 27-37 | 15.80 | 9.16 | 0.14 | 5.37 | 0.91 | 0.22 | 98.61 | 7.98 | 15.58 |
| | 37-45 | 14.64 | 10.77 | 0.39 | 2.17 | 0.63 | 0.68 | 95.36 | 7.64 | 13.96 |
| | 45-+ | 37.32 | 27.35 | 1.67 | 4.84 | 1.16 | 2.30 | 93.84 | 7.63 | 35.02 |
| P ₃ | 0-28 | 18.58 | 11.75 | 0.43 | 6.38 | 0.95 | 0.00 | > 100 | 6.82 | 19.51 |
| | 28-47 | 11.65 | 4.77 | 0.90 | 3.35 | 0.75 | 1.88 | 83.86 | 7.64 | 9.77 |
| | 47-58 | 7.65 | 4.09 | 1.40 | 1.68 | 0.53 | 0.00 | > 100 | 8.48 | 7.70 |
| | 58-+ | 31.06 | 21.55 | 2.15 | 4.72 | 1.51 | 1.13 | 96.36 | 8.21 | 29.93 |
| P ₄ | 0-24 | 39.98 | 39.15 | 5.96 | 12.39 | 1.76 | 0.00 | > 100 | 8.28 | 59.26 |
| | 24-40 | 34.56 | 19.33 | 4.66 | 14.15 | 1.18 | 0.00 | > 100 | 8.37 | 39.32 |
| | 40-+ | 43.89 | 22.74 | 5.58 | 26.36 | 1.60 | 0.00 | > 100 | 8.57 | 56.28 |

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA PASTA SATURADA

| PROFUN- DIDAD | C.E mmhos/ cm. | PSI | SUMA DE CATIONES meq/lit | SUMA DE ANIONES meq/lit. | CATIONES meq/litro | | | | ANIONES meq/litro | | | | RAS |
|------------------|----------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|-------|-----------------|---------|
| | | | | | Ca | Mg | Na | K | CO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | |
| 0-14 | 1.709 | 17.29 | 17.50 | 16.92 | 1.34 | 0.72 | 15.25 | 0.19 | 2.062 | 10.83 | 1.80 | 2.33 | 15.028 |
| 14-33 | 0.974 | 9.98 | 10.69 | 10.26 | 1.08 | 0.98 | 8.50 | 0.13 | 0.00 | 5.98 | 1.20 | 3.08 | 8.3753 |
| 33-49 | 0.510 | 3.69 | 5.69 | 5.41 | 1.61 | 0.45 | 3.50 | 0.13 | 0.00 | 2.78 | 0.40 | 2.23 | 3.4486 |
| 49-+ | 0.701 | 4.97 | 7.71 | 5.44 | 2.15 | 0.43 | 5.00 | 0.13 | 0.00 | 4.64 | 0.80 | 0.00 | 4.4023 |
| 0-16 | 2.302 | 10.28 | 18.74 | 21.70 | 4.30 | 0.60 | 13.50 | 0.34 | 0.00 | 3.09 | 7.30 | 11.31 | 8.6248 |
| 16-27 | 5.985 | 20.31 | 46.73 | 44.08 | 8.06 | 0.44 | 37.40 | 0.83 | 0.00 | 8.04 | 18.90 | 17.14 | 18.1416 |
| 27-37 | 0.939 | 5.09 | 8.00 | 5.66 | 2.15 | 0.43 | 5.10 | 0.32 | 0.00 | 2.06 | 3.60 | 0.00 | 4.4903 |
| 37-45 | 0.896 | 4.24 | 8.15 | 5.06 | 2.69 | 0.61 | 4.95 | 0.26 | 0.00 | 1.86 | 3.20 | 0.00 | 3.8536 |
| 45-+ | 0.758 | 3.24 | 6.34 | 4.55 | 2.15 | 0.43 | 3.55 | 0.21 | 0.00 | 1.75 | 2.80 | 0.00 | 3.1258 |
| 0-28 | 2.440 | 9.13 | 20.80 | 20.40 | 5.91 | 0.53 | 13.75 | 0.61 | 0.00 | 2.68 | 7.10 | 10.62 | 7.6627 |
| 28-47 | 1.421 | 7.66 | 12.73 | 11.61 | 2.69 | 0.92 | 8.70 | 0.42 | 0.00 | 2.17 | 4.30 | 5.14 | 6.4756 |
| 47-58 | 1.464 | 7.52 | 12.58 | 11.54 | 2.69 | 0.92 | 8.55 | 0.42 | 0.00 | 2.06 | 7.60 | 1.88 | 6.3639 |
| 58-+ | 0.680 | 2.88 | 6.08 | 4.26 | 2.15 | 0.43 | 3.25 | 0.25 | 0.00 | 1.86 | 2.40 | 0.00 | 2.8616 |
| 0-24 | 4.905 | 20.21 | 40.39 | 38.41 | 4.57 | 2.13 | 33.20 | 0.49 | 0.00 | 8.56 | 8.60 | 21.35 | 18.1391 |
| 24-40 | 5.890 | 24.20 | 42.90 | 42.46 | 4.30 | 1.11 | 37.00 | 0.49 | 0.00 | 5.16 | 11.60 | 25.70 | 22.4979 |
| 40-+ | 2.378 | 22.59 | 20.61 | 20.36 | 1.80 | 0.57 | 18.75 | 0.21 | 0.00 | 3.09 | 5.10 | 12.17 | 20.6452 |

FUENTE: Analisis desuelos DIRYA

ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS ENMENDADAS

| IDENT. | pH | C. E. mmhos/cm. | CATIONES SOLUBLES meq/litro | | | | CATIONES INTERCAMBIABLES meq/100 gr. | | | | CTI | PSI |
|--------|-----|--------------------|-----------------------------|-----|------|-----|---------------------------------------|------|-----|------|------|------|
| | | | Ca. | Mg | Na. | K | Ca | Mg | Na | K | | |
| 1 | 6.7 | 2.6 | 6.2 | 2.1 | 11.8 | 0.5 | 27.6 | 5.5 | 4.6 | 1.1 | 41.5 | 11.1 |
| 2 | 7.5 | 0.9 | 1.3 | 0.5 | 6.0 | 0.2 | 28.0 | 5.5 | 3.9 | 1.05 | 44.5 | 8.7 |
| 3 | 6.6 | 3.7 | 12.2 | 3.6 | 13.0 | 0.7 | 23.9 | 4.7 | 3.0 | 1.0 | 45.0 | 6.7 |
| 4 | 7.6 | 1.4 | 3.2 | 1.1 | 7.2 | 0.3 | 26.5 | 5.2 | 2.8 | 1.0 | 42.8 | 6.5 |
| 5 | 4.8 | 4.6 | 18.5 | 4.8 | 8.2 | 0.9 | 24.5 | 5.5 | 1.0 | 0.8 | 41.7 | 2.5 |
| 6 | 7.0 | 1.8 | 7.0 | 2.5 | 3.7 | 0.3 | 24.8 | 5.0 | 1.5 | 1.0 | 34.8 | 4.2 |
| 7 | 6.0 | 2.6 | 7.4 | 1.9 | 3.7 | 0.5 | 22.3 | 4.1 | 1.2 | 0.7 | 34.2 | 3.4 |
| 8 | 6.5 | 0.9 | 3.1 | 1.0 | 2.2 | 0.2 | 23.9 | 4.9 | 1.2 | 1.0 | 42.7 | 2.8 |
| 9 | 7.9 | 1.1 | 1.7 | 0.6 | 6.7 | 0.2 | 28.8 | 4.9 | 4.1 | 1.1 | 43.8 | 9.4 |
| 10 | 7.8 | 0.9 | 1.5 | 0.3 | 5.7 | 0.4 | 28.1 | 3.6 | 4.3 | 1.0 | 44.2 | 9.8 |
| 11 | 7.0 | 1.7 | 4.9 | 1.4 | 6.7 | 0.3 | 30.6 | 4.7 | 3.7 | 1.0 | 44.4 | 8.3 |
| 12 | 7.2 | 1.0 | 2.2 | 0.8 | 4.7 | 0.2 | 29.3 | 5.1 | 3.0 | 1.0 | 44.2 | 6.8 |
| 13 | 7.5 | 2.7 | 11.7 | 2.6 | 6.7 | 0.3 | 31.2 | 4.5 | 2.8 | 1.0 | 42.2 | 6.6 |
| 14 | 7.5 | 2.7 | 11.2 | 3.1 | 6.0 | 0.4 | 33.5 | 4.7 | 2.4 | 1.0 | 44.6 | 5.3 |
| 15 | 7.2 | 3.6 | 18.0 | 4.1 | 6.7 | 0.4 | 33.4 | 5.3 | 2.0 | 1.0 | 44.4 | 4.4 |
| 16 | 6.7 | 3.8 | 22.6 | 5.6 | 3.2 | 0.4 | 33.7 | 4.8 | 1.0 | 0.9 | 36.2 | 2.8 |
| 17 | 7.5 | 1.8 | 7.1 | 1.6 | 3.7 | 0.3 | 26.7 | 4.6 | 2.4 | 1.1 | 42.7 | 5.7 |
| 18 | 7.6 | 0.7 | 2.2 | 0.5 | 3.2 | 0.2 | 27.2 | 5.2 | 1.8 | 1.0 | 42.6 | 4.3 |
| 19 | 6.1 | 3.2 | 16.6 | 4.5 | 2.5 | 0.5 | 25.3 | 5.7 | 1.7 | 1.0 | 42.9 | 4.0 |
| 20 | 6.8 | 0.6 | 2.2 | 0.4 | 1.5 | 0.2 | 25.2 | 5.1 | 1.3 | | 37.1 | 3.5 |
| 21 | 5.7 | 4.2 | 22.5 | 6.2 | 2.5 | 0.6 | 27.7 | 5.3 | 1.1 | 1.0 | 43.8 | 2.5 |
| 22 | 5.9 | 3.9 | 22.8 | 4.9 | 1.7 | 0.5 | 20.2 | 4.06 | 0.8 | 0.8 | 43.3 | 1.9 |
| 23 | 4.5 | 4.3 | 22.4 | 4.5 | 2.5 | 0.7 | 28.3 | 3.3 | 0.9 | 0.9 | 41.2 | 2.3 |
| 24 | 6.2 | 3.6 | 20.2 | 4.5 | 2.2 | 0.4 | 22.0 | 2.8 | 0.8 | 0.7 | 43.2 | 1.8 |
| 25 | 8.2 | 3.8 | | | | | 19.5 | 4.3 | 9.3 | 1.2 | 39.3 | 23.8 |
| 26 | 7.7 | 3.5 | 9.3 | 2.6 | 16.0 | 0.5 | 25.6 | 4.6 | 5.6 | 1.2 | 40.6 | 13.7 |
| 27 | 7.5 | 1.2 | 1.6 | 0.2 | 6.2 | 0.3 | 24.1 | 4.5 | 5.1 | 1.1 | 41.2 | 12.4 |
| | | | | | | | Fuente: análisis realizados en DIRYA. | | | | | |

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

| |
|------------|
| Referencia |
| Asunto |
| |

"IMPRIMASE"




ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.
D E C A N O

Biblioteca Central