

D. L.
01
T(527)
C. 3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ENMIENDAS DE SUELOS SALINO-SODICOS
DEL AREA DE PLACETAS, A NIVEL DE LABORATORIO Y
ANALISIS PRELIMINAR DEL PROBLEMA EN GUATEMALA



BLANCA BEATRIZ ARAGON CASTILLO

en el Acto de su Investidura como

INGENIERO AGRONOMO

en el Grado Académico de

Licenciado en Ciencias Agrícolas

Guatemala, Noviembre de 1983

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. EDUARDO MEYER M.

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Decano:	Ing. Agr. César A. Castañeda S.
Vocal Primero:	Ing. Agr. Oscar René Leiva R.
Vocal Segundo:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
Vocal Tercero:	Ing. Agr. Rolando Lara A.
Vocal Cuarto:	Prof. Heber Arana H.
Vocal Quinto:	Prof. Francisco Muñoz N.
Secretario:	Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez P.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano:	Dr. Antonio A. Sandoval S.
Examinador:	Ing. Agr. Oscar René Leiva R.
Examinador:	Ing. Agr. Heber M. Rodríguez A.
Examinador:	Ing. Agr. Jorge E. Sandoval I.
Secretario:	Ing. Agr. Carlos R. Fernández P.

Guatemala, noviembre de 1983.

Ing. Agr. Msc.
César A. Castañeda S.
Decano Fac. Agronomía
Presente

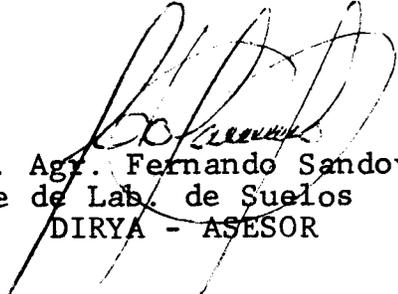
Señor Decano:

En atención al nombramiento efectuado por esa Decanatura, nos permitimos informar a usted, que hemos asesorado y revisado el trabajo de tesis "ENMIENDAS DE SUELOS SALINO-SODICOS DEL AREA DE PLACETAS, A NIVEL DE LABORATORIO Y ANALISIS PRELIMINAR DEL PROBLEMA EN GUATEMALA", efectuado por la estudiante Blanca Beatriz Aragón Castillo.

La investigación que se presenta, es un valioso aporte para la agricultura de las regiones áridas y con problemas de salinidad y sodicidad de nuestro país y que deja constancia del entusiasmo y dedicación manifestado por la estudiante Aragón Castillo, en la realización del presente trabajo.

Por lo anteriormente expuesto consideramos que ésta investigación, reúne todos los requisitos que exige una tesis universitaria y en consecuencia recomendamos que el mismo sea aprobado para optar el título de Ingeniero Agrónomo.

Atentamente,



Ing. Agr. Fernando Sandoval
Jefe de Lab. de Suelos
DIRYA - ASESOR



Ing. Agr. Victor Aragón
Profesor de Suelos Fac. Agr.
USAC - ASESOR

Guatemala, noviembre de 1983.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador

En cumplimiento con las normas establecidas en la -
Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala,
someto a vuestra consideración para su aprobación, el tra-
bajo de tesis titulado: "ENMIENDAS DE SUELOS SALINO-SODI-
COS DEL AREA DE PLACETAS, A NIVEL DE LABORATORIO Y ANÁLI-
SIS PRELIMINAR DEL PROBLEMA EN GUATEMALA".

Como requisito previo a optar el título profesional
de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado
en Ciencias Agrícolas.

Esperando que el presente trabajo sea merecedor de
vuestra aceptación, me suscribo de vosotros.

Atentamente,


~~Blanca Beatriz Aragón Castillo.~~

TESIS QUE DEDICO

A DIOS TODO PODEROSO
A MI PAIS, GUATEMALA
A LOS AGRICULTORES DE GUATEMALA

A MIS ASESORES

R. Fernando Sandoval Alvarez
V́ctor Rolando Aragón C.

A INGENIERO

Mario E. Brauener

ACTO QUE DEDICO

A mis padres

Víctor Manuel Aragón Caballeros
Ana María Castillo de Aragón

A mis hermanos

Víctor Rolando
Ana Leticia
Manuel Enrique

A mi cuñada

Anabella Noriega de Aragón

A mis sobrinos

Katherinne
Julio M. Rolando

A mis abuelitas

Maria Teresa Menéndez V de Castillo
Sofía Aragón (q.d.e.p)

A mis tios y primos

A la familia

Rendón Arana

A mi novio

Pedro Alfonso Rendon A.

A mis amigos y compañeros de trabajo

RECONOCIMIENTO

- AL Esfuerzo hecho por mis padres durante toda mi vida y al que debo este triunfo.
- AL Ingeniero Mario E. Braeuner, Jefe del Laboratorio de Nutrición Vegetal del ICTA, por compartir sus valiosas investigaciones y aportar sugerencias que hicieron posible este trabajo y a su PERSONAL por la colaboración prestada.
- A Mi ASESOR, Ing. Agr. Fernando Sandoval A, Jefe del Laboratorio de Suelos y Aguas de DIRYA, por su interés y apoyo demostrado en la realización de este estudio de tesis.
- Al Compañero Leonardo Contreras Ralda por su acertada colaboración en las actividades de laboratorio, indispensables para la ejecución de las pruebas.
- Al Señor Antonio Franco Cabrera, por su colaboración de sinteresada en el trabajo de campo.
- AL Ing. Agr. Carlos de León Prera, Ing. Agr. César de la Cerda, Ing. Marta Lidia Samayoa e Ing. Agr. Ricardo Masaya Andrade, por facilitar el desarrollo de las actividades del estudio.
- A Leticia de Váldez, Anabella Barrios, Enrique Aragón é Israel Hernández, por su inapreciable colaboración.
- A Las señoras Ana Elizabeth Ponciano y Olga Coronado de Alvarez, por el entusiasmo puesto en la transcripción mecanográfica.
- A Los señores Tomás Juárez y Manuel López, por la dedicación con que realizaron el material gráfico.
- A Mi ASESOR, Ing. Agr. Víctor Rolando Aragón, Jefe de la Sección de Aguas Subterráneas de INSIVUMEH y Profesor de Suelos de la Facultad de Agronomía, por poner su experiencia al servicio de la presente investigación, y por su dedicación y empeño, que la hicieron posible.

Muy especial a Pedro Alfonso Rendón, por el apoyo que me ha brindado durante nuestra carrera universitaria, especialmente en la realización del presente estudio que siguió de cerca, prestándome su ayuda cuando mas la necesité; por lo que también le extiendo mis agradecimientos y expreso mi gran amor.

RESUMEN

En el presente trabajo se hizo un análisis en forma cualitativa de la distribución y magnitud del problema de los suelos salino-sódicos, utilizando la información existente, como lo son los archivos que poseen las instituciones del Estado. Dichos archivos cuentan con datos numéricos, como también estudios realizados, principalmente en los distritos de riego.

El análisis se desarrolló considerando también - mapas climatológicos que presentaban la distribución de las zonas con diferentes niveles de deficit de humedad y el mapa de génesis de suelos, que presenta en forma general, las características de los materiales que forman el subsuelo y que son responsables, en una u otra forma, de las características químicas del suelo.

Los datos numéricos y cualitativos analizados, consistieron en valores del pH de las muestras que aparecían con presencia de sodio y salinidad; de éstos fueron graficados los valores promedio y los % de muestras que presentaban mediana, alta y muy alta presencia de sodio.

De todas las comparaciones anteriores, se logró observar que existe una relación directa entre la información obtenida a través de evaluaciones de laboratorio y la distribución de las condiciones críticas de los climas secos y cálidos; como también una correspondencia relativa entre los datos de la génesis de suelos.

El ensayo, pruebas y análisis de laboratorio, se realizó sobre las muestras obtenidas del reconocimiento de campo, que se había seleccionado en gabinete.

Se consideró como área de estudio, el lugar conocido comúnmente como Placetas, que se encuentra ubicada en las cercanías a la población de Asunción Mita y - próximas a la ribera del río Ostúa o Grande.

De los resultados obtenidos se determinó la enmienda mas efectiva y los niveles mas adecuados, los - cuales fueron el ácido sulfúrico y el sulfato de amonio, con niveles entre 4 y 8 Meq/100 gr de enmienda; obte -- niéndose también resultados sobre el mejoramiento de - ciertas propiedades físicas del suelo.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	2
II.1 Generales	2
II.2 Específicos	2
III. REVISION DE LITERATURA	3
III.1 Descripción General del Problema	3
III.2 Características de los Suelos Salinos, Sódicos y Salino-Sódicos	4
III.3 Clasificación de los Suelos Salinos, Sódicos y Salino-Sódicos	7
III.4 Efectos de las sales y el Sodio del Suelo sobre los Cultivos	10
III.5 Fuentes de Sales y Sodio del Suelo	17
III.6 Procesos de Formación de Suelos Salinos	20
III.7 Medidas de Control y Manejo de los Problemas de Salinidad y Exceso de Sodio en el Suelo	21
IV. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIOS	24
IV.1 Localizacion del Area de Estudio	24
IV.2 Aspectos Fisiográficos	24
IV.3 Climatologia	31
IV.4 Suelos	31
V. MATERIALES Y METODOS	38
V.1 Gabinete	38

	Pág.
V.2 Campo	39
V.3 Laboratorio	41
VI. RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION	48
VI.1 Respecto al Problema que se presenta a nivel Nacional	48
VI.2 Respecto al Ensayo de Laboratorio	61
VI.3 Análisis Estadístico del Ensayo de Laboratorio	79
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
VII.1 Conclusiones	98
VII.2 Recomendaciones	100
VIII BIBLIOGRAFIA	
ANEXO	

I. INTRODUCCION

Las sales y el sodio en cantidades que excedan a las aceptables, representan un problema en el suelo agrícola ya que constituyen el factor limitante para la producción.

Las áreas afectadas por este problema, poseen características físicas y químicas (alteradas por el sodio y otras sales) desfavorables, que restringen la posibilidad de explotación agrícola y que en los casos mas severos, llegan a hacerla nula.

En forma general, en el presente trabajo se hace una detección preliminar del problema en Guatemala, basándose en el análisis de la información existente, que pueda dar una luz al respecto.

Además, se trata específicamente el problema de sales y sodio en el área de Placetas, del departamento de Jutiapa; su origen, desarrollo y las posibles formas de enmendarlo.

II. OBJETIVOS

II.1 Generales:

- II.1.1 Evaluación química de la salinidad y sodicidad de los suelos de Placetas.
- II.1.2 Determinación del tipo de emmiendas químicas mas adecuadas para la rehabilitación de suelos salinos y sódicos del área de Placetas.
- II.1.3 Identificación del origen del ensalitramiento de los suelos del área de estudio.
- II.1.4 Identificación preliminar de las zonas con problemas de sales y sodio a nivel nacional.

II.2 Específicos:

- II.2.1 Cuantificar los niveles de salinidad o sodicidad de los suelos en estudio.
- II.2.2 Determinación de las emmiendas químicas mas adecuadas a nivel de laboratorio, para los suelos del área de Placetas
- II.2.3 Evaluación del comportamiento de las sales a través del perfil del suelo.
- II.2.4 Balance global de los elementos aplicados, desplazados y retenidos en el perfil del suelo al final de las pruebas de laboratorio.

III. REVISION DE LITERATURA

III.1 Descripción General del Problema:

Los problemas de ensalitramiento se presentan, generalmente, en las regiones con climas áridos y semiáridos, que comprenden un 20% de los continentes, donde la precipitación no es suficiente para lavar las sales del suelo fuera de la zona radicular; cerca del 30% de la superficie bajo riego, presenta problemas de salinidad en diferentes grados. (1)

Las áreas con problemas están distribuidas por todo el mundo. En los Estados Unidos, los suelos infestados de sal ocurren principalmente en 17 estados. En Canadá se reporta este problema en las regiones áridas del Oeste. (1) En el caso de México, la superficie afectada por sales es de aproximadamente 3 millones de hectáreas, que representan un 10% del total de la superficie plana del país. (14) En Sudamérica; al norte y sudoeste de Africa, incluyendo la Sudafricana, Rodesia, Egipto, Argelia, Marruecos y Tunez; en Europa sólo se encuentran pequeñas extensiones de suelos salados, principalmente en Hungría y parte de los países que rodean el Mediterráneo; en Asia los suelos salados son mas extensos en Turquistán, Pakistán, al norte de la India y en partes de Turquía, Rusia, China, Irán, Siria, Palestina, Transjordania y el Libano;

En Asia Menor, todos tienen un clima árido y las acumulaciones de sal son extensas. (1)

El presente trabajo trata el problema de sales y sodio en el área de Amapala y Placetas su origen, desarrollo y las posibles formas de enmendarlo, ya sea en forma física o en forma química, tomando en cuenta los puntos de vista científico y económico.

III.2 Características de los Suelos Salinos, Sódicos y Salino-Sódicos :

Las características de los suelos salinos quedan determinadas, principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes. (1)

El término salino se emplea para los suelos que contienen suficientes sales solubles para interferir el desarrollo de los cultivos de la mayor parte de las plantas; estos suelos se conocen casi siempre por la presencia de costras blancas de sal en su superficie, durante el tiempo seco. Tomando esto en consideración, Hilgard (1906) llamó a estos suelos Alkali-blanco; Thorne (20), explica que aunque comúnmente se ha empleado el término "alkali" para designar todos los suelos que contienen gran cantidad de sales, la palabra no es satisfactoria, porque implica una condición alcalina cáustica, se está haciendo más común el uso de la palabra "salado", como término general para incluir todos los suelos con un contenido elevado de sales neutras, y el de "alkali" se restringe

a los suelos con un contenido elevado de sodio intercambiable.

Los suelos salinos se encuentran principalmente en zonas de clima árido o semiárido.

En condiciones húmedas, las sales solubles, originalmente presentes en los materiales del suelo y las formadas por la intemperización de minerales, generalmente son llevadas a capas inferiores hacia el agua subterránea y finalmente transportadas a los océanos, por lo tanto, los suelos salinos de hecho no existen en las regiones húmedas, excepto cuando el suelo ha estado expuesto al agua de mar, en los deltas de los ríos y otras tierras cercanas al mar, (13); en el caso de los suelos salinos litorales, la composición química de las sales presentes corresponde a la del agua de mar. (5)

En las regiones áridas el lavado es de naturaleza local y las sales solubles no pueden ser transportadas muy lejos. Esto ocurre no solamente porque hay menos precipitación adecuada para lavar y transportar las sales, sino también a consecuencia de la elevada evaporación característica de los climas cálidos que tienden a concentrar las sales en los suelos y en el agua superficial. (5)

Los principales ingredientes que contienen las sales de los suelos están formados por combinaciones de los iones siguientes: sodio, calcio, cloro, sulfato, bicarbonato y nitrato.

En los suelos salinos representativos el pH no es suficientemente elevado para perjudicar

la mayor parte de las plantas de cultivo y la proporción de sodio intercambiable es baja. Los efectos de las sales que disminuyen el desarrollo de los cultivos vienen entonces de una o más de 3 fuentes diferentes:

- a) Efectos físicos indirectos de las sales -- evitando la absorción de agua.
- b) Efectos químicos directos de las sales perjudicando la nutrición y el metabolismo de las plantas.
- c) Los efectos indirectos de la sal alterando la estructura del suelo, la permeabilidad y la aireación. (20)

Los suelos salinos casi siempre se encuentran floculados debido a la presencia de un exceso de sales y a la ausencia de cantidades significativas de sodio intercambiable, en consecuencia, la permeabilidad es igual o mayor a la de suelos similares no salinos. (13)

Los efectos específicos del alcali sobre las plantas según Thorne (20), son distintos a los efectos de los constituyentes de los suelos salinos y parecen deberse a 3 causas:

- a) Elevada alcalinidad cáustica;
- b) La toxicidad del ión carbonato;
- c) Efectos del sodio intercambiable.

Duchaufour, (7) opina que el quimismo de los suelos sódicos se encuentra bajo el predominio del ión sodio, ya sea en forma de cloruro de sodio en las soluciones del suelo o de un ión de sodio de cambio.

III.3 Clasificación de los Suelos Salinos, Sódicos y Salino-Sódicos:

Los suelos deben su problema de ensalitramiento a dos causas principales: Las sales y el sodio.

Con el correr del tiempo y conforme se ha profundizado en el estudio de éstos, se han ido clasificando de varias formas, tomando en -cuenta diferentes características como patrón.

Hilgard (1906). describió como suelos "alcali blanco" a los suelos salinos como se conocen hoy, y "alcali-negros" a los conocidos como -sódicos. De Sigmond (1924) consideraba la -presencia de una capa edáfica impermeable como factor esencial para la formación de suelos salinos.

Con el objeto de distinguir los suelos salinos de los no salinos, se han sugerido ciertos factores arbitrarios relativos a la salinidad. Kearney y Scofield (1936), consideran que las plantas comienzan a ser afectadas de manera adversa en cuanto el contenido de sales excede del 1%. En 1938, De Sigmond estuvo de acuerdo con el límite del contenido de sales presentes en el suelo desfavorables a las plantas propuesto por Kearney y Scofield en 1936, y en el mismo año, elaboró una clasificación para los suelos salados en Hungría, para la que se basó tanto en el contenido de sales totales como en el carbonato de sodio - en el suelo (20), y denominó a los suelos salinos y sódicos como "Szick" y "Szeck", respectivamente. (8)

En varios países únicamente varía la terminología aplicada para los suelos "salino-negros" y salino-blancos". Los rusos les denominan "solorchak y Solonetz"; en la India son llamados Keh, Kalar y Usar y en Egipto Trona (8).

La sal es un problema continuo para clasificar las tierras de riego; procedimientos empleados en el oeste de los Estados Unidos, para hacer levantamientos de suelos se basan en el contenido de sales neutras (20), para lo que elaboran una tabla (Ver tabla No. 1) de clasificación de salinidad de los suelos.

TABLA No. 1
Clasificación de Tierras para Riego en el Oeste de
Estados Unidos

Concentración de Sales neutras	Clasificación de Salinidad del Suelo
0 - 0.02%	No salino
0.02 - 0.35%	Con poca concentración de sales
0.35 - 0.65%	Concentración moderada de sales
0.65 - y más %	Concentración fuerte de sales.

Para estas pruebas los suelos que tengan un pH con valores superiores de 8.5 u 8.8 se clasifican como fuertemente alcalinos.

El laboratorio de salinidad de los EE.UU. (13) ha establecido un criterio de clasificación basándose en las sales solubles presentes en la solución y el porcentaje de la capacidad -

de intercambio ocupada por iones de sodio, o sea el porcentaje de sodio intercambiable - (ver tabla No. 2). Con esto se ha establecido 3 grupos para los suelos que presentan problemas de salinidad y/o sodio intercambiable, denominándolos : Suelos salinos, Suelos sódicos y/o Suelos salino-sódicos.

Suelos Salinos:

El término se aplica a suelos cuya conductividad del extracto de saturación es mayor a 4 milimhos/cm, a 25°C, que posee un porcentaje de sodio intercambiable menor del 15%. El pH de estos suelos generalmente es menor de 8.5.

Estos suelos corresponden al tipo de suelos descritos por Hilgard como "alcali-blanco" y a los "Solonchack" de los autores rusos.

Suelos Sódicos:

En estos suelos el sodio representa más del 15% de la capacidad de intercambio y la conductividad del extracto de saturación es menor de 4 milimhos/cm, a 25°C. El pH generalmente varía entre 8.5 y 10.

Hilgard denomina a estos suelos "alcali-negros" y los autores rusos "Solonetz".

Suelos Salino-Sódicos:

Se llama así a los suelos cuya conductividad del extracto de saturación es mayor de 4 milimhos/cm, a 25°C y el porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15. Su pH es generalmente mayor de 8.5.

TABLA No. 2
Normas de Clasificación para los Suelos Salinos
y Alcalinos

Naturaleza del Suelo	Conductividad del Ext. de - Sat. en mh/cm	Porcentaje de Sodio Intercambiable	pH
Salino	4 ó mayor	Menor de 15	Generalmente menor de 8.5
Salino-Alcalino	4 ó mayor	15 ó mayor	Generalmente mayor de 8.5 *
No Salino-Alcalino	Menor de 4	15 ó mayor	

* El pH es útil para fines de diagnóstico, pero ocurren cosas excepcionales, por ejemplo: algunos suelos con elevado contenido de sodio intercambiable tienen una reacción ácida.

III.4 Efectos de las Sales y el Sodio del Suelo sobre los Cultivos:

La mayoría de las plantas, incluyendo todos los cultivos agrícolas son adversamente afectados por la salinidad y especialmente por el alto valor de pH y las características físicas asociadas con los suelos alcalinos.(7)

Los primeros estudios del desarrollo de las plantas en los suelos salados, demostraron - que algunas sales son más tóxicas que otras. En todos los casos, sin embargo, la toxicidad relativa de una sola sal o de cualquier combinación constante de sales ha sido casi directamente proporcional a la concentración en la solución del suelo y cualquier floculación - drástica de la presión osmótica en la solución

del suelo tendrá gran influencia en el aprovechamiento del agua. (12) Aceves (1), no está de acuerdo con esta hipótesis que según él no se ha probado, y en contraposición dice - que se ha comprobado que las plantas realizan ajustes osmóticos en el jugo celular, en mayor o menor grado, lo que les permite extraer agua del suelo; por lo que considera que el problema de salinidad no se genera por la deficiencia de agua para las plantas.

Según el mismo autor, se han hecho otras consideraciones diciendo que el problema más -- bién se presenta debido a que algunas sales afectan a las plantas en forma específica, - pero es muy difícil diferenciar los efectos, ya que la diferencia depende de la concentración, de las propiedades físico-químicas de las sales y propiedades biológicas y fisiológicas de las plantas. En general, el efecto de las sales sobre las plantas parece estar relacionado a la salinidad total mas que a la salinidad específica, producida por constituyentes específicos y, de acuerdo a su -- reacción a la salinidad, las plantas pueden dividirse en dos grupos básicos: Halofitas y Glicofitas.

Las Halofitas son plantas desarrolladas en -- hábitats salinos, adaptadas debido a las características y propiedades adquiridas durante su proceso evolutivo en respuesta a las -- condiciones prevaecientes; tienen una presión osmótica muy elevada en su jugo celular

con la que logran contrarrestar la presión - osmótica de la solución del suelo; capacidad de acumular gran cantidad de sales en el jugo de sus tejidos y regulan dicha acumulación; además, protoplasma resistente a la acumulación de sodio y han desarrollado mecanismos para eliminar las sales directamente.

Las Glicofitas, incluyendo a las plantas cultivadas, se diferencian de las Halofitas por su sensibilidad a los excesos de sales solubles en la solución del suelo, por lo que su desarrollo en hábitats salinos está limitado por su habilidad de adaptación a la salinidad durante su crecimiento individual.

En 1936, Kearney y Scofield publicaron una lista de cultivos con su relativa adaptabilidad a diferentes cantidades y tipos de sales, más tarde, en 1944, Magistrad y Christiansen publicaron una lista de plantas, proporcionando su relativa tolerancia a la sal, basados en un número limitado de estudios cuidadosamente controlados, combinados con observaciones de campo, incluyendo a los de Kearney y Scofield. El significado exacto de la tolerancia a la sal es otro factor que se debe - incluir. Algunos entienden por tolerancia a la sal, como la capacidad de una planta para sobrevivir con concentraciones elevadas de sal, otras interpretan la tolerancia a la sal como la capacidad para producir un buen rendimiento en condiciones ligera o moderadamente salinas.

Por lo que se refiere a la explotación práctica de cultivos, la última interpretación es - la mas importante según Thorne. (20)

La lista de Kearney y Scofield se modificó - posteriormente por especialistas del Laboratorio de Salinidad de los EE.UU. (13), haciendo una clasificación de plantas que combina varios puntos de vista, incluyendo la capacidad de las plantas para sobrevivir con concentraciones elevadas de sal, pero dando mayor importancia a la capacidad de las plantas para producir cosechas remunerativas con concentraciones elevadas de sal.

Bajo condiciones de salinidad, uno de los principales problemas es obtener un porcentaje de germinación adecuado, las plantas no afloran muchas veces a la superficie del suelo, las semillas producen raíces y parte del coleoptillo y éste nunca aparece en la superficie del suelo. (1) Niveles moderados de sales en el suelo, generalmente retardan la germinación sin afectar el porcentaje de la misma. A menudo la germinación se ve afectada porque las sales se acumulan en la capa superficial del suelo y las semillas pueden verse expuestas a concentraciones elevadas de sal. (6)

La mayoría de las plantas no presentan ningún síntoma visible de salinidad pero pueden ser notablemente afectadas en su crecimiento y rendimiento. Es por esto que los efectos de salinidad pasan frecuentemente desapercibidos siendo estos, efectos de gradación. (6)

Pueden haber muchas confusiones entre los síntomas que presentan las plantas, debido a la poca fertilidad del suelo y los que se deben a los daños de salinidad presente en el suelo. Cuando el terreno es poco fértil, las plantas están atrofiadas y comúnmente tienen un color verde amarillento. Las plantas que se atrofian debido al exceso de salinidad tienen un color verde azulado oscuro. (8) El color azulado se debe a la formación de una capa de cera muy gruesa en la superficie de las hojas, que puede ser ----

exagerada en los cultivos como la remolacha azucarera, alfalfa, frijol, trébol y en pastos. Los cereales pueden presentar un color rojizo en las hojas al aproximarse las plantas a su madurez. Las plantas en los suelos salinos no muestran síntomas definitivos de marchitamiento lo que es realmente un problema en el caso de riego.

El laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (13), estableció rangos de cómo la salinidad afecta el rendimiento de los cultivos y lo expone en la Tabla No. 3.

TABLA No. 3

Efectos de la Salinidad sobre los Rendimientos
de los Cultivos

Escala de Conductividad Eléctrica en Mh/cm	Efectos de la Salinidad sobre los Rendimientos de los Cultivos
De 0 a 2	Los efectos de la salinidad son casi nulos.
De 2 a 4	Los rendimientos de los cultivos más sensibles pueden ser restringidos.
De 4 a 8	Se reducen los rendimientos de muchos cultivos
De 8 a 16	Sólo los cultivos más tolerantes rendirán satisfactoriamente.
De 16 a más	Sólo unos cuantos cultivos muy tolerantes rendirán satisfactoriamente.

El sodio intercambiable en exceso produce una alimentación desbalanceada de las plantas. Los efectos de la elevada alcalinidad se deben al hecho de que algunas raíces de las plantas y la materia orgánica se disuelven cuando el pH excede a 9, con la formación de humatos de sodio, (20); otros autores opinan que como límite para este efecto, un pH de 8.5.

Según Aceves (1), el sodio puede producir -- efectos directos e indirectos sobre los cul tivos. Los efectos directos están ligados únicamente al sodio soluble, el cual al reba sar ciertas concentraciones es tóxico para las plantas; pero la presenecia del sodio en la solución del suelo está íntimamente liga da a 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 con centración en la solución del suelo. Los efectos indirectos del sodio sobre las plan tas se presenta cuando éste se encuentra en el suelo en forma intercambiable, en porcen tajes asociados con el deterioro de las ca racterísticas físicas del suelo.

Dependiendo del tipo de suelo, el sodio inter cambiable puede iniciar el deterioro de las características físicas del mismo en porcen tajes que pueden variar de 5 a 25% y a estos porcentajes corresponden las concentraciones de sodio en solución que afectan a varias plantas, sobre todo árboles frutales como: - Aguacate, naranjo y nogal.

Los efectos indirectos del sodio 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 se tienen problemas de nutrición para las plantas, ya que muchos elementos se precipitan, tales como: Ca y Mg. Otros elementos pasan a fórmulas químicas menos estables y éstas condiciones son limitantes para el desarrollo de las plantas.

III.5 Fuentes de Sales y Sodio del Suelo:

Las sales solubles del suelo consisten principalmente de varias porciones de cationes - como: calcio, sodio y de los iones cloruro y sulfato; el catión potasio y los aniones bicarbonato, carbonato y nitrato, se encuentran generalmente en cantidades menores. (13)

Los elementos de los que pueden formarse las sales solubles del suelo son los que se encuentran más frecuentemente en los minerales primarios (1), que se encuentran en los suelos y las rocas expuestas de la corteza terrestre. (13)

Para poder comprender el porqué de la composición química de los suelos y las sales que estos contienen, es necesario conocer la composición mineralógica de los diferentes tipos de rocas que les dan origen; Aceves (1), afirma que las rocas sedimentarias pueden liberar por efecto de la intemperización de 50 a 200ppm

de sales y que la velocidad con que se liberan los iones para formar sales, aumenta conforme los minerales del suelo son más fuertemente intemperizados.

Según Fassbender (8), en el suelo funcionan como fuentes de alcalinidad de acuerdo a la definición de base, aquellas sustancias que al reaccionar con H_2O dan origen a iones hidróxilo $(OH)^-$. Si el aluminio y el Hidrógeno adsorvidos por el complejo de intercambio se reemplazan por elementos alcalinos y alcalinotérreos, como Ca, Mg, Na y K, la concentración de Hidrógeno disminuye en la solución y aumenta la concentración de $(OH)^-$, y en consecuencia el pH.

Las principales fuentes de sales solubles -- son: los minerales de la corteza terrestre, el océano, depósitos fósiles y tras. (1)

-Los minerales de la corteza terrestre son - la fuente más importante de sales solubles que se acumulan en el suelo, son minerales que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas, los cuales son liberados mediante procesos geoquímicos y bioquímicos, - dando lugar a nuevas combinaciones que son más fácilmente atacadas por la intemperización química, con sus procesos de hidrólisis, hidratación, oxidación, reducción y solución. Los iones que comúnmente se solubilizan mediante los procesos anteriores son: Na, K, - Ca, Mg, Cl, SO_4^- , HCO_3^- y NO_3^- en concentraciones que varían de 50 a 100 ppm. (1)

- En el océano se generan las sales cíclicas debido al rompimiento de las olas de mar y el choque de las mismas en las costas, esto libera cantidades considerables de sales hacia la atmósfera, particularmente durante las tempestades. La combinación del tamaño tan pequeño y la hidrosopicidad de estas partículas permite que sean transportadas por el viento conjuntamente con partículas de polvo a distancias muy considerables como un aerosol estable.
- Los depósitos fósiles antiguos de origen marino con aguas o sales con natas remanentes de tiempos geológicos anteriores, cuando los sedimentos se encontraron bajo el mar y emergieron debido a los movimientos telúricos. Estas sales comúnmente son liberadas por el agua superficial o subterránea en forma natural o como resultado de la actividad del hombre; ejemplo de esto pueden ser las perforaciones de pozos en zonas áridas, de los que extraen aguas fósiles saladas o salobres para usarse en irrigación (1); y la alimentación de acuíferos salados por mal uso del agua de riego, haciendo que las aguas saladas se eleven y participen en el proceso de evaporación, acumulando las sales en la parte superior del suelo.
- Otras fuentes de sales pueden ser: la actividad de los volcánes que pueden liberar cantidades considerables de Cl, SO₄, H₂S y

B; la actividad biológica, ya que los micro organismos del suelo fijan N_2 y C y pueden sodificar los suelos por reducción de SO_4 y formación de Na_2CO_3 ; la absorción de los -- iones por las raíces y su deposición en la superficie del suelo cuando los tejidos de las plantas se descomponen; contaminantes -- urbanos de desechos domésticos y de la in dustria como (CO , NO , O_3), etc.

III.6 Procesos de Formación de Suelos Salinos:

Según Aceves (1), la acumulación de sales en el suelo está conectada con procesos bien de finidos, tales como: Relieve, geomorfología y condiciones hidrogeológicas.

- La acumulación de sales está ligada geomorfológicamente con áreas bajas, a las partes de planicies que se inundan, a los - deltas, a las terrazas bajas de los ríos, así como a lo largo de las costas.
- Desde el punto de vista geohidrológico, - los procesos de acumulación de sales están ligados con mantos freáticos elevados.
- Hidrológicamente, la acumulación de sales se presenta donde el escurrimiento superfi cial es muy bajo o nulo y el balance del - agua subterránea no está regulado por el - escurrimiento sino por la evaporación y -- transpiración de las plantas (este es el - efecto mas importante en la formación de - suelos salinos recientes).

Los procesos de acumulación de sales en mayor o menor grado de aguas geológicas saladas, agua de mar, afloramiento de mantos subterráneos y uso de agua de riego con concentraciones de sales elevadas.

III.7 Medidas de Control y Manejo de los Problemas de Salinidad y Exceso de Sodio en el Suelo:

Cualquier suelo con problemas de sales sin importar su grado de afectación, siempre - que exista agua, puede ser recuperado, ya que actualmente se cuenta con la metodología apropiada para en un momento dado, dejarlo en condiciones de que sea factible de desarrollar plantas. (1)

La rehabilitación de los suelos alcalinos o sódicos es frecuentemente más difícil que - la de los suelos salinos. Esto es especialmente cierto tratándose de sales alcalinas no salinas, en suelos con un nivel alto de sodio intercambiable, pero con baja salinidad total. En este caso los suelos son de condición normalmente dispersa y tienen muy baja permeabilidad; la rehabilitación - de los suelos alcalinos no salinos requiere un cambio de bases en el complejo de intercambio y la reposición del sodio intercambiable por calcio y ésto se puede conseguir siempre y cuando la permeabilidad del suelo no sea demasiado baja para permitir - un drenaje económico. (6)

La calidad del agua, las prácticas de riego y las condiciones de drenaje son aspectos importantes en el control de la salinidad y o el exceso de sodio. Cuando se establece un proyecto de riego, los suelos que son inicialmente salinos pueden requerir el lavado del exceso de sales y aún necesitan mejoradores químicos independientes de asegurarles un abastecimiento adecuado de agua. (10)

Cuando se desea combatir los problemas de ensalitramiento se deben tomar acciones de 2 tipos: unas encaminadas a combatir las causas y las otras a combatir los efectos. Siempre se deben atacar primero las causas y después los efectos, pero el hecho de eliminar las causas no significa que los efectos dejen de persistir.

En los suelos el principal vehículo por el que se mueven las sales es el agua, esto es obvio pero básico en el control de la salinidad que es controlable si la calidad del agua de riego es satisfactoria y si puede controlarse igualmente el flujo de agua a través del suelo. (13)

Según Ayers (4), el mayor objetivo de los procedimientos para evitar el problema de salinidad es, lograr que el agua del suelo sea disponible para las plantas, o sea, que la presión osmótica de la solución del suelo debe mantenerse al nivel más bajo posible.

Esto puede hacerse de 2 formas:

- a) Eliminando el exceso de sales que elevan la presión osmótica de la solución del suelo;
- b) Por el contrario, proveer mejor cantidad de agua a la solución del suelo para disminuir su presión osmótica, aunque en algunos casos esto no es factible.

Existen diferentes métodos para recuperar los suelos con problemas de sales.

Aceves (1), los agrupa en:

- a) Métodos físicos
- b) Métodos químicos
- c) Métodos biológicos
- d) Métodos eléctricos
- e) Métodos hidrotécnicos.

IV. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

IV.1 Localización del Area de Estudio.

La zona de estudio se encuentra localizada dentro del valle de Asunción Mita, en el municipio del mismo nombre y pertenece al departamento de Jutiapa. Está localizada en $89^{\circ}45'$ Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y $14^{\circ}20'$ Latitud Norte. Ver mapa No. 1. y mapa No. 2.

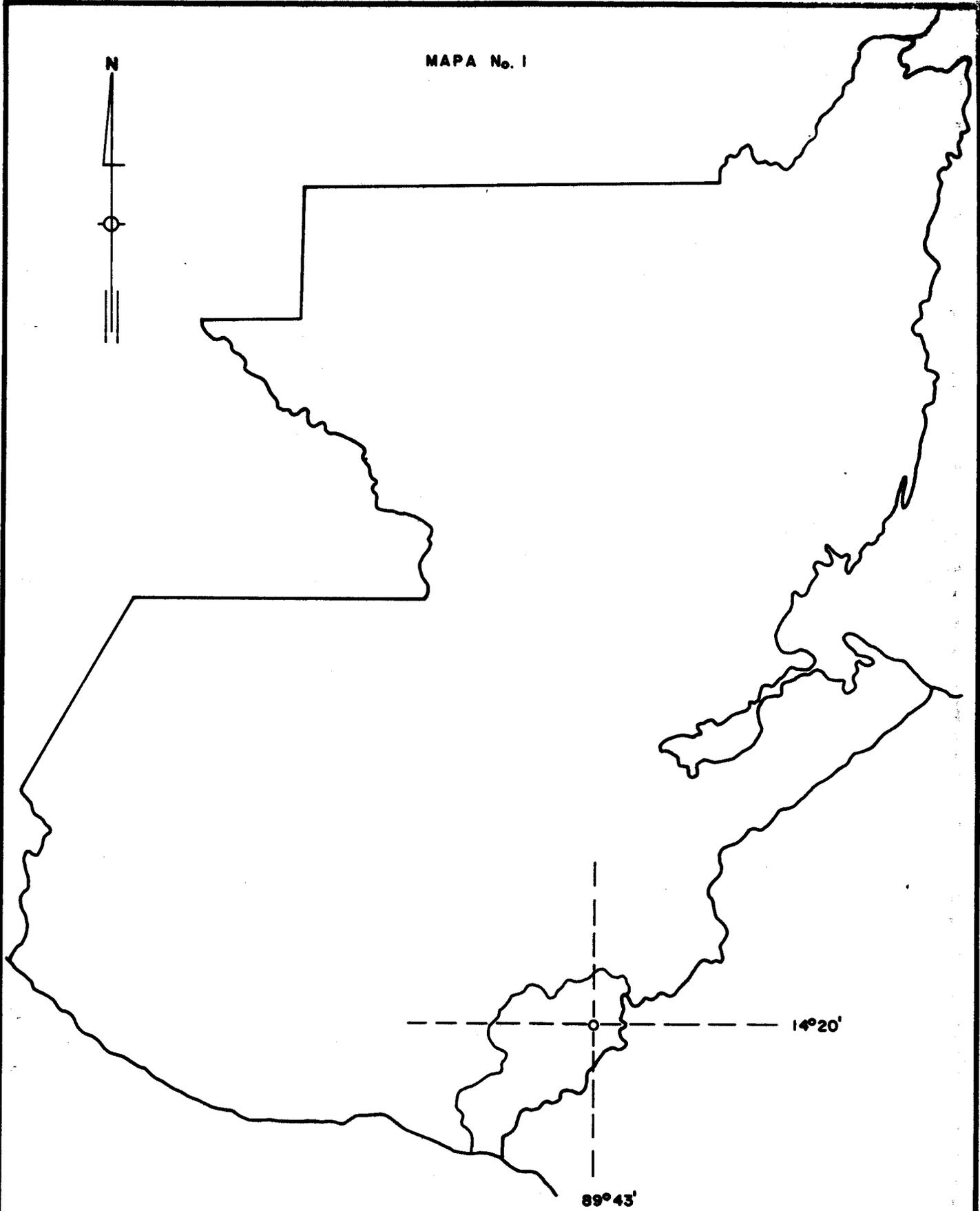
La zona afectada tiene aproximadamente una extensión de 956 hectáreas, o sea el 13.64% del total del valle de Asunción Mita. Se encuentra en el centro mismo, distribuida en dos áreas que son - Amapala y Placetas. Amapala está limitada al norte por el camino que va a los LLanitos y con la quebrada Agua Caliente; al este por la angosta faja del río Mongoy y la finca los Cerritos; al sur, también por una faja angosta de las series de suelos Ostua y Piura (16), del río Mongoy y -- Siempre Viva; el Achiotal; al oeste, por la finca Las Conchas, Bolivia, cerro La Ahoracada y el Jibillal. El área de Placetas se encuentra al norte del valle, arriba del río Mongoy.

IV.2 Aspectos Fisiográficos.

Geología:

El valle de Asunción Mita está situado en la cadena volcánica que determina morfológicamente una gran parte de Guatemala así como de El Salvador.

MAPA No. 1

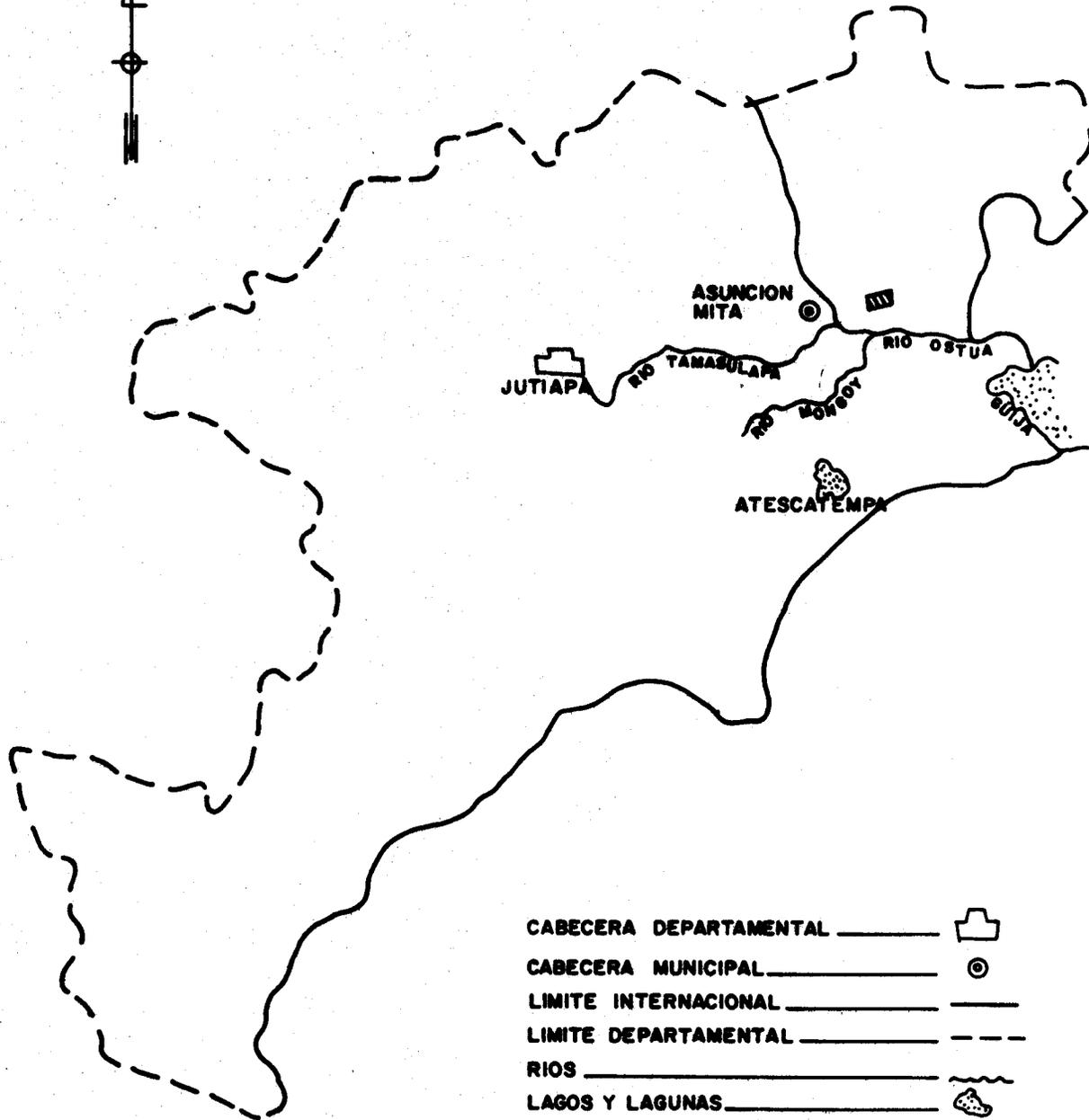


REPUBLICA DE GUATEMALA

ESCALA APROX
1:2,400,000

LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE ASUNCION MITA
EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA

MAPA No. 2
DEPARTAMENTO DE JUTIAPA



- CABECERA DEPARTAMENTAL _____ 
- CABECERA MUNICIPAL _____ 
- LIMITE INTERNACIONAL _____ 
- LIMITE DEPARTAMENTAL _____ 
- RIOS _____ 
- LAGOS Y LAGUNAS _____ 
- AREA DE ESTUDIO _____ 

ESCALA 1:500,000

Se encuentran dos grandes volcanes formados de lava máfica: El Suchitán al noroeste y el cerro Las Víboras en el suroeste. La red montañosa que rodea al valle está formada de tobas y conglomerados volcánicos, encontrándose también muchos conos de toba y ceniza pomácea.

El valle propiamente dicho está formado de sedimentos aluviales de origen volcánico. Las formaciones volcánicas datan en gran parte del cuaternario y la actividad volcánica se manifiesta todavía. La consecuencia de esto es que desde el punto de vista morfológico e hidrológico no existe ningún equilibrio. Así por ejemplo, el río Grande corre por los valles de Monjas y Asunción Mita antes de desembocar al Lago de Guija, situado más hacia el este; entre estos valles el río es erosivo, así como entre el valle de Asunción Mita y el lago de Guija. No hay mucha diferencia morfológica entre el valle de Asunción Mita y el lago.

Es un valle entre montañas, llenado en parte con los productos de erosión de los cerros que le rodean. Es muy posible que fuese temporalmente un lago, y por erosión, puede haber sido desaguado. Es también posible que cambios de clima y drenaje subterráneo haya hecho imposible la existencia de un lago.

El material volcánico sobre el cual se desarrollan los suelos de estudio, es en general de composición máfica y de grano fino (16).

Topografía:

La configuración topográfica no tiene desniveles muy pronunciados, encontrándose pendientes de 0% a 1% (terreno más o menos plano), de 1% a 3% (inclinado) y de 4% a 5% en los pequeños cerros distribuidos en el área.

Hidrología:

La zona de estudio se localiza entre las corrientes de los ríos Tamasulapa, Grande de Mita u Ostúa y el Mongoy, precisamente con la confluencia de los dos últimos, perteneciendo todos a la cuenca del lago de Guija.

El río Tamasulapa se origina a inmediaciones de Jutiapa, por la confluencia de los ríos Salado, San Antonio, Morán, riachuelo el Riíto y varias quebradas de menor importancia. Desemboca en el río Grande de Mita. Tiene una cuenca de 324.4 kilómetros cuadrados. Es seco durante el verano alcanzando mayor caudal en época lluviosa.

El río Grande de Mita u Ostúa es el más importante, con una cuenca de 920.6 kilómetros cuadrados. Se origina a inmediaciones de la laguna de Ayarza con recorrido noreste hasta llegar al valle de Monjas (departamento de Jalapa), en donde se unen los ríos del Ovejero o de San Pedro, Guirilá, Monjitas y Juan Cano; toma rumbo sur-este hasta llegar al valle de Asunción Mita, en donde se unen el Tamasulapa y el Mongoy para formar el mismo caudal que lleva el nombre de Ostúa, que tiene un caudal mínimo de 1.5 metros cúbicos (promedio del mes de enero) y un máximo de 9.998 metros cúbicos por segundo (promedio del mes de septiembre),

El río Mongoy tiene su origen en el cerro de las Viboras, uniéndosele en su trayecto la quebrada Agua Caliente y el río Tahuapa. Tiene una cuenca de 118.7 kilómetros cuadrados y un caudal máximo de más o menos 1.5 metros cúbicos por segundo, de acuerdo a los datos proporcionados por el INSIVUMEH.

Se cree que el agua del río Mongoy proviene de filtraciones de la laguna de Atescatempa, por estar a mayor altura que el río y existir cierta similitud en los análisis de aguas de ambas fuentes. (16)

Los niveles freáticos se encuentran muy altos en algunos lugares está a sólo 32 cm de profundidad. Dentro del área de estudio se encuentra el nacimiento de la quebrada de Agua Caliente, que lleva este nombre por tener el agua una alta temperatura (70°C), un pH de 8.5 y una conductividad eléctrica de 4,000 micromhos/cm a 25°C . *

El 36% del área (357 has) reciben aguas de riego del Distrito y las restantes, aunque en pequeñas porciones son regadas con excedentes del canal principal o sobrantes de operación. La gran mayoría no recibe riego. (16)

El análisis del agua de riego clasificada como C_1S_1 (agua de salinidad y sodio bajos).

Partes de la zona de estudio padecen de inundación, ya sea por elevación del nivel freático, por precipitación no escurrida o infiltrada, o por el agua del nacimiento que no posee un drenaje.

* Observaciones de campo.

El agua de inundación se clasifica como C_3S_2 (agua de salinidad alta y sodio medio).

El agua del nivel freático se clasifica como -- C_3S_2 (que en observaciones de campo presentó una conductividad de 4,000 microhmos/cm (a 100 metros de distancia del nacimiento de Agua Caliente), y más de 7,000 microhmos/cm (a 1 kilómetro de distancia del nacimiento). *

Vegetación:

El área de estudio está localizada entre la sabana subtropical o bosque seco, según Holdridge.

Todos los bosques originales han sido talados para ocupar estas áreas con cultivos, encontrándose en la actualidad matorrales en su mayoría, plantas naturales y algunos cultivos en pequeñas extensiones. La vegetación actual es:

<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>	<u>Observ.</u>
Amate	<i>Ficus jimenezii</i>	Artocarpaceae	Arboles
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	escasos
Conacaste	<i>Enterolobium</i> <i>Cyclocarpun</i>	Mimosaceae	
Morro	<i>Crescentia alata</i>	Bignoniaceae	
Palo Blanco	<i>Allophylus</i> <i>occidentalis</i>	Spindaceae	
Naranja	<i>Citrus aurantium</i>	Rutaceae	
Jocote	<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	
Subin	<i>Acacia cultriformis</i>	Mimosaceae	Vegetación
Zarza cola de Iguana	<i>Flumbago pulchella</i>	Plumbaginaceae	típica
Escobillo	<i>Walteria americana</i>	Esterculiaceae	
Jaraguá	<i>Hiparrhenia rufa</i>	Graminaceae	En peq. áreas

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

IV.3 Climatología.

El valle está situado a una altura de 450 metros sobre el nivel del mar, con un clima cálido seco dentro de la zona subtropical seca, según la clasificación de Holdrige.

Dentro del valle se encuentra la estación climática tipo "A" Asunción Mita, localizada a una latitud de $14^{\circ}20'04''$ y una longitud de $89^{\circ}42'10''$, su elevación es de 478 metros sobre el nivel del mar y tiene un período de registro de más de 17 años.

En base a los datos del cuadro No. , se calculó el balance hídrico de los últimos 13 años, para conocer el déficit de humedad de la región, por el método Thornewhite, la cual se presenta en la gráfica No.

IV.4 Suelos.

Características Físicas y Químicas de los Suelos en Estudio:

La serie Amapala, son suelos pesados, con una estructura que va de prismas medianos de moderado a fuertemente desarrollados en su mayoría; también se encuentra bloques medianos de fuerte a débilmente desarrollados, de consistencia que va de dura a muy dura en seco y firme a muy firme en --

CUADRO No. 1
DATOS CLIMATICOS
ESTACION ASUNCION MITA
ENE 70 - DIC 79

MES	Temp.	P.P.	Evapor. a la somb.	Insolac. %	H.R.	Velocidad x viento
ENE.	24.6	1.1	150.9	281	60	7.9
FEB.	25.6	0.7	148.5	279.8	53	8.3
MAR.	26.8	4.9	176.3	276	54	5.8
ABR.	27.5	45.6	188.8	244.1	53	5.5
MAY.	26.9	140.6	114.9	224.6	63	3.3
JUN.	25.5	242.3	75.4	206	71	2.2
JUL.	25.7	171.9	107.0	248.4	63.	4.7
AGO.	25.8	244.4	108.8	235.1	68	4.2
SEP.	25.3	224.6	64.2	194.4	75	2.6
OCT.	25.5	150	90.2	233.9	67	3.9
NOV.	25.3	20.4	112.9	260.2	61	5.7
DIC.	24.8	5.0	133.9	274.3	57	7
total	25.7	1251.5	1472.4	2958.2	62	5.1

FUENTE: INSIVUMEH

CUADRO No. 2
BALANCE HIDROLOGICO
ESTACION ASUNCION MITA
1970-1982

MES	Temp. °C	IDCA i	EVPDT m.m.	P.P. m.m.	FAT	EVAPOT. m.m.	DIFE	EVAPOT. m.m.	R. m.m.	EXC. m.m.	DEF. m.m.
ENE.	24.92	11.40	107.91	4.82	1.14	123.02	-112.2	4.82	0.00	0.00	118.2
FEB.	25.41	11.72	115.68	1.48	1.13	130.72	-129.24	1.48	0.00	0.00	129.24
MAR.	27.18	12.98	147.11	3.97	1.14	167.71	-163.74	3.97	0.00	0.00	167.71
ABR.	27.72	13.37	157.82	42.82	0.99	156.24	-113.42	42.82	0.00	0.00	113.42
MAY.	27.30	13.07	149.44	141.19	0.90	134.50	+ 6.69	134.50	6.69	0.00	0.00
JUN.	25.83	12.01	122.48	265.86	0.81	99.21	+169.65	99.21	100.00	76.34	0.00
JUL.	26.08	12.19	126.94	242.81	1.01	128.21	+114.6	128.21	100.00	114.6	0.00
AGO.	26.15	12.24	128.16	220.05	0.97	124.32	+ 95.73	124.32	100.00	95.73	0.00
SEP.	25.56	11.83	118.13	226.19	0.79	93.32	+132.87	93.32	100.00	132.87	0.00
OCT.	25.72	11.94	120.79	152.98	0.95	114.75	+ 38.23	114.75	100.00	38.25	0.00
NOV.	25.49	11.78	116.98	19.36	1.06	123.99	-104.63	119.36	0.00	0.00	4.63
DIC.	25.05	11.47	109.93	5.79	1.01	111.03	-105.24	5.79	0.00	0.00	105.74
		146.0		1327.8		1507.02		872.55		457.79	639.1

REFERENCIAS:

$$I = \sum i$$

$$EVPDT = 16 \frac{(10T)^K}{I}$$

$$K = 6.751 \times 10^{-7} (I)^3 - 7.71 \times 10^{-5} (I) + 1.79 \times 10^{-2} (I) + 0.49239$$

$$FAT = \frac{\text{Insolación mensual}}{\text{Insolación anual}}$$

$$EVAPOT = EVPDT \times FAT$$

$$PP = \text{Precipitación mensual}$$

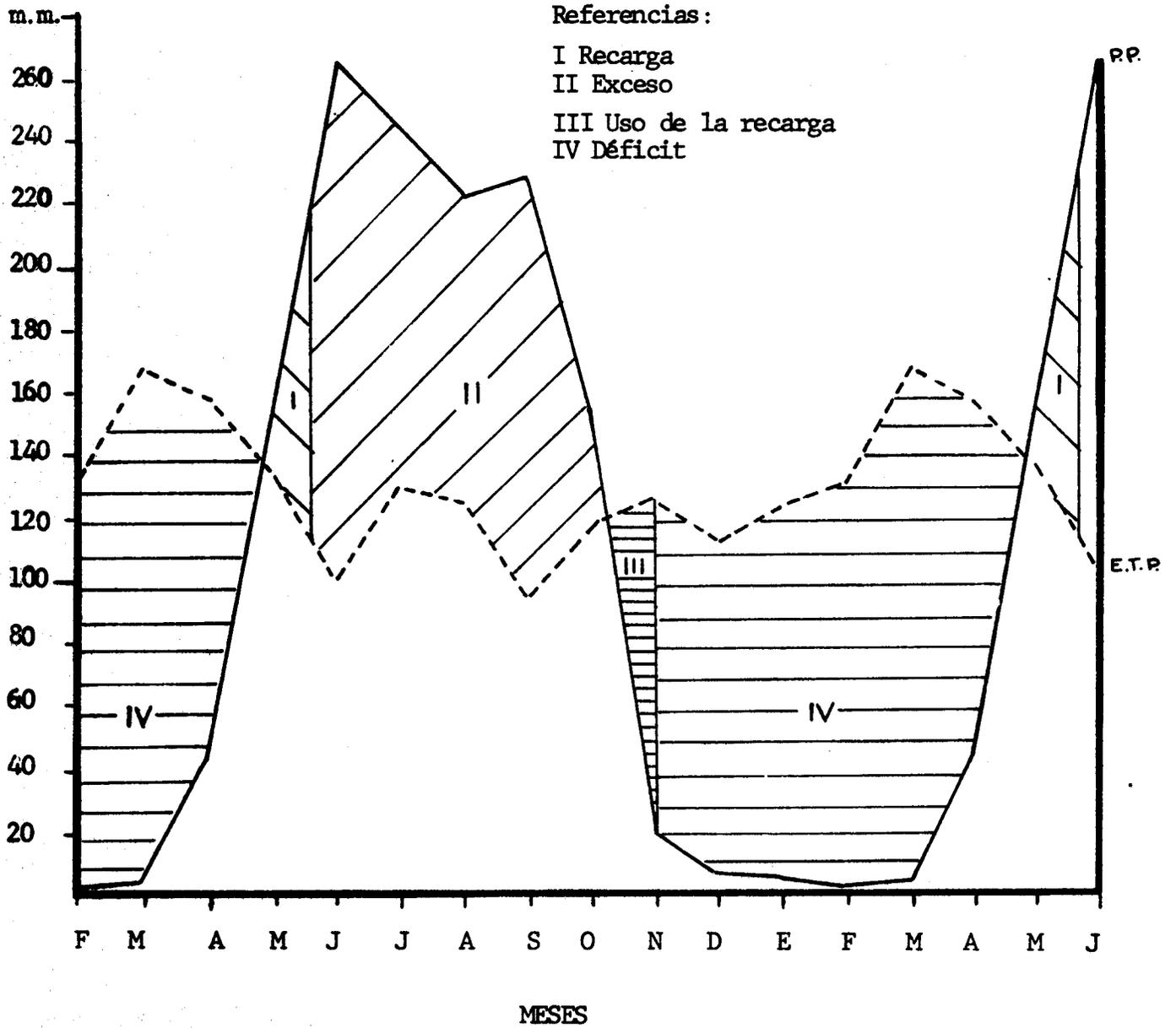
$$DIF = PP - EVAPOT$$

$$EVAPACT = \text{Evapotranspiración real}$$

$$R = \text{Reserva disponible del suelo}$$

$$EXC = \text{Excedente}$$

$$DEF = \text{Déficit Mensual}$$



MESES
 GRAFICA No. 1
 BALANCE HIDROLOGICO
 ESTACION ASUNCION MITA
 1979-1982

húmedo.

Estos suelos tienen una textura mediana y fina que comprende los tipos de franco-arcilloso, franco--arcillo-limoso, arcillo-limoso y arcilla, encuentrando los franco-arcillo-limoso y algunos arcillosos moderadamente erosionados, especialmente lo que se encuentran con pendientes mayores del 1%.

La permeabilidad varía de permeable para los franco-arcillosos a muy lentamente permeable para las arcillas.

La materia orgánica es alta en el horizonte superior, debido a la alta cantidad de raíces presentes, puesto que el sistema radicular de las plantas, únicamente penetra este horizonte.

El color del suelo va de gris, gris muy oscuro, - pardo grisáceo, pardo amarillento oscuro hasta negro, el que se encuentra en algunos puntos.

El pH del primer horizonte va de 5.9 (ligeramente ácido) a 8.8 (fuertemente alcalino) y su alcalinidad se acentúa en el segundo horizonte.

La capacidad de intercambio catiónico es de mediana a alta, y la saturación es alta (100%). El calcio y el magnesio son altos y su relación no guarda equilibrio adecuado para los cultivos.

El porcentaje de sodio es alto y la conductividad es también alta (más de 10 milimhos/cm a 25^oC).

Origen de la Salinidad y El Sodio:

Dentro del área de estudio se encuentran nacimientos de agua caliente. Las características de los nacimientos son similares a las que presenta el -

agua freática, por lo que se piensa que esta sea la causa que se origina la salinidad y el sodio en el perfil, añadiéndose al problema la poca profundidad a la que se encuentra el agua freática; la temperatura es alta y la precipitación es baja por lo que se crea un déficit de agua en el suelo y por capilaridad el agua freática llega a la superficie y se evapora, dejando su contenido salino en la superficie, al grado de que en las áreas más afectadas se observan manchas blanquecinas o costras blancas de sales, tanto en época seca como en húmeda.

Efectos de la Salinidad y el Sodio sobre los Cultivos:

Las sales y el sodio son factores limitantes en los suelos del área que actualmente tiene pasto natural y resistente a la salinidad.

Anteriormente se aprovechaban áreas para el cultivo, pero el manipuleo mecánico de estos suelos hizo aumentar su evaporación contribuyendo en esta forma a una rápida acumulación de sales en las zonas de alimentación de raíces, por lo que tuvo que ser abandonado el cultivo y se dedicó a pasto resistente.

V. MATERIALES Y METODOS

El estudio comprende las fases de gabinete, campo y laboratorio, y los materiales y métodos empleados para cada una, son específicos.

V.1 Gabinete.

Se revisaron, analizaron e interpretaron - los resultados de análisis químicos de muestras de suelos de toda la República, efectuados en el quinquenio 1979-83, por el Laboratorio de Nutrición Vegetal de el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, ICTA.

Se investigó en los archivos de el Laboratorio de Estudios de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento, DIRYA; los resultados de análisis físicos y químicos de suelos de la República, especialmente de las Regiones II, V, VI y VII..

Análisis de calidad de fuentes de agua de - toda la República.

Se revisó estudios agrológicos de diferentes áreas del país y la Clasificación Agrológica de Reconocimiento de los Suelos de Guatemala.

Además se hizo uso de recursos como:

-Mapas de campo, agrológicos, topográficos, geológicos, uso potencial de la tierra y - cartográficos.

-Fotografías aéreas de la zona de estudio

-Atlas climatológico de Centro América (IGM)

-Atlas geográfico (IGM) y Atlas hidrológico (INSIVUMEH).

Selección y Localización del Area de Prueba:

Se efectuó tomando en cuenta varios factores:

-Resultados obtenidos del análisis de la información existente, que mostraron un esquema general de la distribución física e intensidad del problema para ciertas zonas - del país.

-Areas con problemas de sales y sodio mas - acentuadas.

-Areas que se encuentran localizadas dentro de proyectos de riego.

-Areas que presentan mayor facilidad de de-sarrollar la investigación.

V.2

Campo.

Se efectuó un reconocimiento general del -- área a estudiar, para formarse una idea de la fisiografía, geomorfología y para delimitar el área; para esto se hizo uso de hojas cartográficas y fotografías aéreas.

Se trazó un itinerario sobre la fotografía y se siguió un caminamiento para volver al punto de partida, efectuando barrenamientos para exámenes rápidos y calicatas para observación de perfiles característicos en los puntos donde variaban las características de los suelos, observadas en el campo.

En la lectura de perfiles se tomaron datos de:

- Profundidad efectiva de raíces
- Textura al tacto
- Estructura
- Consistencia en seco y en húmedo
- Presencia de carbonatos
- Presencia de concreciones
- Drenaje superficial e interno
- Factores inhibitorios
- Permeabilidad
- Color en seco y en húmedo

Se muestreo en las calicatas y barrenamientos, tomando en las primeras una cantidad grande de muestra (1 qq aprox) de cada horizonte A y B, para efectuar análisis y las pruebas; y en los barrenamientos una cantidad de 2 libras aprox, para análisis únicamente.

Se efectuó pruebas de infiltración cerca de las calicatas para determinar velocidad de infiltración y toma de muestras de las diferentes fuentes de agua del lugar (canales de riego, nacimientos, ríos, agua freática y pozos), determinándoseles temperatura, pH y conductividad eléctrica al momento de la toma.

Los materiales y equipo empleados para esto son: barreno, pala, piocha, cinta métrica, tabla Munsell, piceta, conductivímetro, potenciómetro de campo, termómetro, ácido clorhídrico y agua destilada. Infiltrómetro,

reloj, cubeta, agua y libreta; costales, --
bolsas plásticas, etiquetas y marcadores.

V.3 Laboratorio:

A. Determinaciones previas al ensayo:

Se procedió a analizar todas las muestras traídas del campo; a los suelos se les determinó:

- Los porcentajes de humedad a 1/3 y 15 atmósferas, por el método de ollas de presión.
- Densidad aparente: relación entre la masa de suelo secado al horno y su volumen aparente por el método de la probeta.
- Densidad real: relación entre la masa de suelo secado al horno y su volumen sólido por el método de la probeta.
- Espacio poroso: relación entre la densidad aparente y la densidad real.
- Textura: determinación del contenido en porcentaje de peso de arcilla, limo y arena, en la muestra de suelo empleando el método del hidrómetro (Bouyoucos).
- Materia orgánica: por el método de Walkey y Black modificado (determinación del carbono orgánico que luego se multiplica por el factor 1.72 para conocer el % de materia orgánica de la muestra).
- Capacidad de intercambio catiónico: extracción con acetato de amonio, de las bases, lavado del exceso de acetato de amonio con alcohol etílico al 95% y la extracción -

- del amonio intercambiable por el total de las bases con cloruro de sodio 1N y pH 2.5 para luego ser cuantificado por el método de microkjeldall (destilado del amonio en un medio alcalino y recuperado con un ácido débil y titulado con ácido sulfúrico.)
- Ca, Mg, Na y K intercambiables: cuantificados por el método espectrofotométrico.
 - pH de la muestra: determinado potenciométricamente, relación 1:1 en volumen.
 - Pasta saturada: para obtener el extracto de saturación y determinarle la conductividad eléctrica por medio del conductímetro, cationes solubles, espectrofotométricamente. Aniones por titulación.
 - Y el pH del extracto potenciométricamente.

Análisis químicos de las muestras de agua:

- Conductividad eléctrica: determinada por medio del puente de Weathstone (conductímetro).
- pH: potenciométricamente.
- Cationes intercambiables: determinados - espectrofotométricamente.
- Bicarbonatos y Carbonatos: titulación de la muestra que contenga indicador de fenolftaleína con ácido sulfúrico estandar 0.05 N, para determinar carbonatos, luego agregar indicador de naranja de metilo - para continuar titulando con ácido sulfúrico para cuantificar carbonatos.
- Cloruros: a la solución de la determinación de carbonatos y bicarbonatos se le -

agrega 1 mililitro de indicador de cromato de potasio y se titula con una solución estandar de nitrato de plata 0.05 N.

- Sulfatos: se diluye una cantidad de muestra que contenga aprox de 0.5 a 2 meq - de sulfato, a 200 ml, agregar unas gotas de naranja de metilo, calentarse hasta - ebullición y agregarle una solución de - cloruro de bario al 10% y dejarlo reducir su volumen en baño de maría hasta 50 ml. Enfriar y filtrar; recoger el filtrado y colocarlo a la mufla en un crisol de porcelana a 750°C, filtrar y luego pasar.
- Relación de adsorción de sodio: relacionando el sodio, calcio y magnesio inter-cambiables:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})}{2}}}$$

- Sólidos en solución: se filtra la muestra y se evapora en una cápsula de platino, cuyo peso se conoce, a temperatura constante de 105°C, se enfría y se vuelve a - pesar. La diferencia corresponde a la cantidad de solidos disueltos.

Los materiales y Equipo utilizados para los análisis de Laboratorio, son los siguientes:

- Centrífuga, Microkjeldall, agitador, espectrofotómetro, conductivímetro, balanza, - horno, mufla.

- Gradillas de madera, alambre, manta, plástico.
- Material de laboratorio en general.
- Reactivos: ácido sulfúrico, acetato de amonio, alcohol etílico, cloruro de sodio, - ácido bórico, hidróxido de sodio, reactivo Kjeldall, fenolftaleína, cloruro de bario, cromato de potasio, indicadores.

B. Desarrollo del Ensayo:

Las muestras procedentes de las calicatas - hechas en el área de estudio, se secaron, - molieron, tamizaron y homogenizaron; se les hicieron las pruebas previas al ensayo y - luego se escogió el perfil representativo - para la prueba, tomando en cuenta los resultados de los análisis químicos y físicos de todos los perfiles.

Se utilizaron cilindros PVC de 2" de diámentro y 0.5 mts de alto, colocados verticalmente, suspendidos en un marco metálico.

La abertura inferior fue cubierta con fibra de vidrio y malla a manera de filtro y se - utilizaron recipientes plásticos para almanenar el lixiviado de la prueba.

En cada cilindro se colocó una columna de - suelo representando el perfil, es decir, -- respetando el orden y espesor de los horizontes A y B.

El ensayo consistió en hacer pasar por las columnas representativas del perfil del suelo, las soluciones de ácido sulfúrico, sulfato

de amonio y sulfato de calcio, conocidas como enmiendas, aplicadas en 3 diferentes concentraciones (niveles), con el objeto de desplazar el sodio del perfil del suelo y posteriormente, se aplicaron láminas de lavado, con el objeto de extraer del perfil, las sales desplazadas.

Se dejó columnas testigo, a las que se les aplicó únicamente las láminas de lavado.

Las enmiendas y niveles aplicados para el ensayo, se resumen en el Cuadro No.3.

CUADRO No. 3

Enmiendas y Niveles Aplicados

Enmienda	N i v e l e s					
	meq/100g	Ton/ha	meq/100g	Ton/ha	meq/100g	Ton/ha
H_2SO_4	16.0	18	21.4	24.	32.1	36.2
$(NH_4)_2 SO_4$	16.0	24.30	21.4	32.5	32.1	48.6
$Ca SO_4$	16.0	31.7	21.4	42.4	32.1	63.6

Las razones por las que se eligieron los niveles que aparecen en el cuadro No.3 son:

1. Según Allison (4), la reacción entre un mejorador como el $Ca SO_4$ y el Na intercambiables, es una reacción de equilibrio, por lo que no queda completa y sugiere, de manera general, que la relación de aplicación de la enmienda, se multiplique por

un factor para compensar la falta de substitución cuantitativa.

2. Se utilizaron estos niveles por considerarse que cubrían el rango en cuanto a los requerimientos de el suelo.

Los tipos de enmienda se eligieron basándose en que:

- a) la velocidad de reacción del $H_2 SO_4$ es rápida por lo que para fines del ensayo interesa y que de ser efectivo el $H_2 SO_4$, puede sustituirse por azufre que es más económico, aunque su reacción sea más lenta en el campo.
- b) De el sulfato de amonio no se tiene información, pero por sus características químicas se cree que provoca una reacción menos violenta que el ácido sulfúrico.
- c) El sulfato de calcio es recomendable por gran cantidad de autores, como el mejor de los tratamientos, sin reparar mucho en las características químicas del suelo, ya que consideran que el exceso de sales se elimina posteriormente con el lavado.

El perfil colocado en las columnas tenía un espesor de 10 cms del horizonte A y 12 cms de horizonte B y sus características físicas y químicas principales al inicio de la prueba, se resumen en el Cuadro No. 4.

CUADRO No. 4
 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO DE PRUEBAS

Físicas

Hrz	Prof	Textura	Densidad	Humedad		Coef. Higrosc.	M.O.	Color seco	húmedo
				1/3 AT	15 AT				
A	0-10	F. arcilloso	1.031	46.13	25.28	8.62	4.47	10YR ⁵ /2	10YR ³ /1
B	10-22	F. arcilloso	1.061	38.14	16.84	5.63	1.23	10YR ⁵ /2	10YR ³ /2

Químicas

Hrz	Prof	pH	C.E. x 10 ³	C T I	meq/100 gr.		Na	K	% Sat. bases	Carbon. Qualitat.	% Na I.
					Ca	Mg					
A	0-10	10.08	5.66	21.94	26.77	1.88	12.88	4.77	100	+++	58.71
B	10-22	10-22	6.66	15.73	28.74	1.35	17.76	4.36	100	+++	112.91

+++ Muy alta presencia

VI. RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION

En el presente capitulo se resumen los resultados obtenidos de las pruebas y análisis de laboratorio, como también se realiza el análisis estadístico y una discusión sobre los resultados obtenidos.

Para tal análisis , se ha considerado: El problema que se presenta a nivel nacional, sus causas y su situación actual; los resultados de las pruebas y análisis de laboratorio y su análisis estadístico respectivo.

VI.1 Respecto al Problema que se presenta a Nivel Nacional.

De acuerdo a las observaciones realizadas y de la información consultada, se ha podido determinar en una forma aproximada y cualitativa, algunos lugares y niveles que ha alcanzado el problema.

Actualmente se ha tenido el criterio que los suelos salino-sódicos sólo se pueden presentar en zonas desérticas, si bien es cierto que el clima juega un factor fundamental en el problema, existen algunos otros factores que pueden en algún momento tener mayor incidencia.

VI.1.1 Posibles Factores que causan el Problema:

Dentro de los factores que comúnmente afectan en mayor grado los suelos, en el problema de salinidad-sodicidad son el clima, específicamente la temperatura y la precipitación.

VI.1.1.1 Según el Atlas Climatológico e Hidrológico del Istmo Centroamericano (IPGH-1976)

(Ver mapas No. 3 y No. 4), se evaluó a nivel nacional que existen zonas donde durante los 12 meses del año, se presentan déficit mayores de los 1,200 mm de agua, dicha zona está ubicada en la zona del nor-orienté y orienté, abarcando principalmente los departamentos de Zacapa, Chiquimula, El Progreso, Jalapa, Jutiapa y parte de Baja Verapaz; zonas donde con frecuencia se presentan problemas de salinidad y sodicidad debido a que nunca se ha presentado suficiente agua para producir un lavado de esas sales; este problema se ha incrementado en algunos distritos de riego, por el uso inadecuado de aguas de mala calidad. El déficit es acentuado por las altas temperaturas de la zona, que alcanzan valores mayores de 40°C , produciendo la evaporación de cualquier humedad.

Según los Balances Hidrológicos de los departamentos de Guatemala, publicado por el Instituto Geográfico Nacional en 1972, se puede observar lo siguiente:

1. Los departamentos El Progreso, Zacapa y Chiquimula, presentan déficit en casi todos los meses del año, factor que puede incidir directamente sobre la acumulación de sales en los suelos de cada

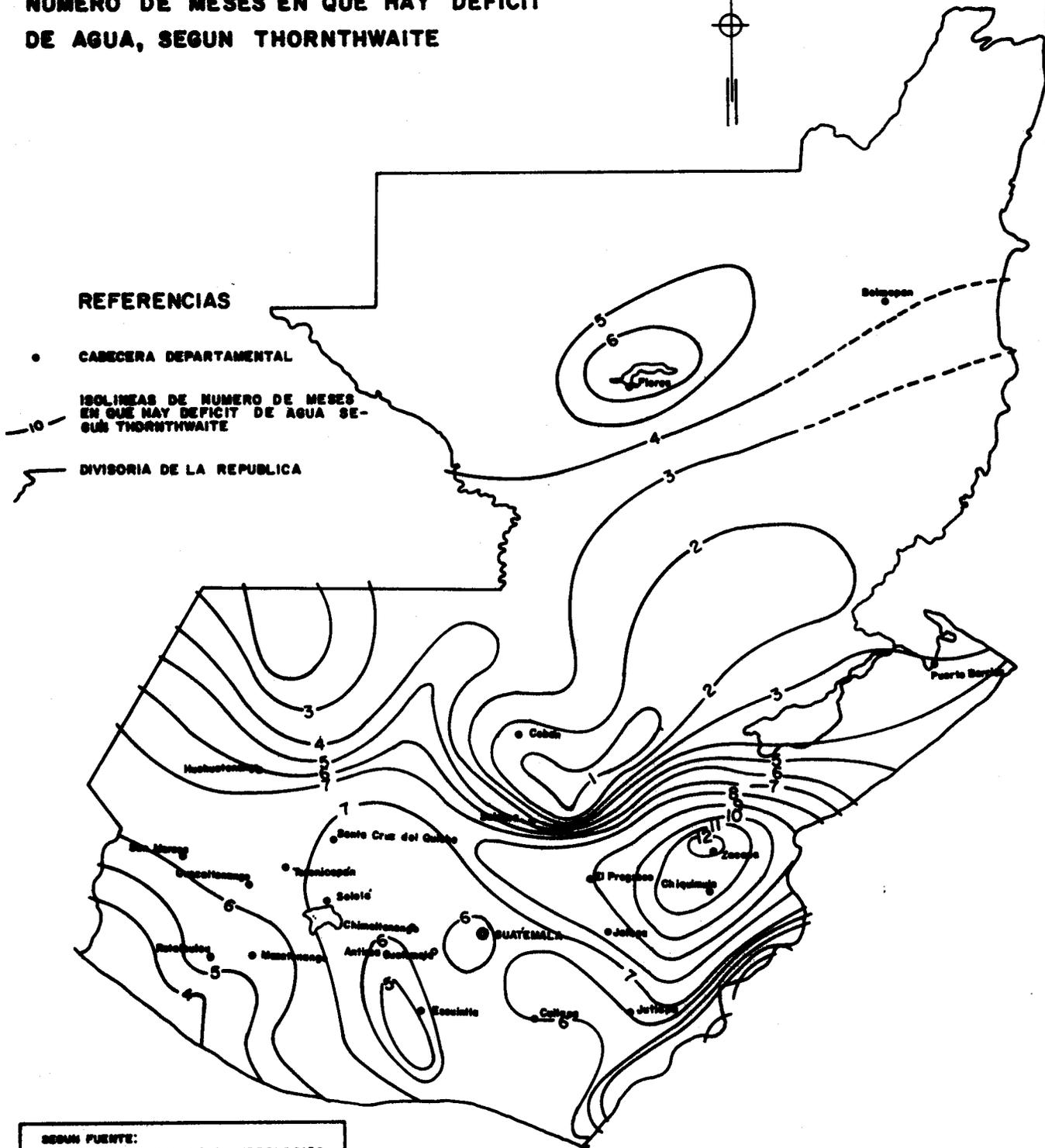
MAPA No. 3

NUMERO DE MESES EN QUE HAY DEFICIT DE AGUA, SEGUN THORNTHWAITTE



REFERENCIAS

- CABECERA DEPARTAMENTAL
- ISOLINEAS DE NUMERO DE MESES EN QUE HAY DEFICIT DE AGUA SEGUN THORNTHWAITTE
- - - DIVISORIA DE LA REPUBLICA

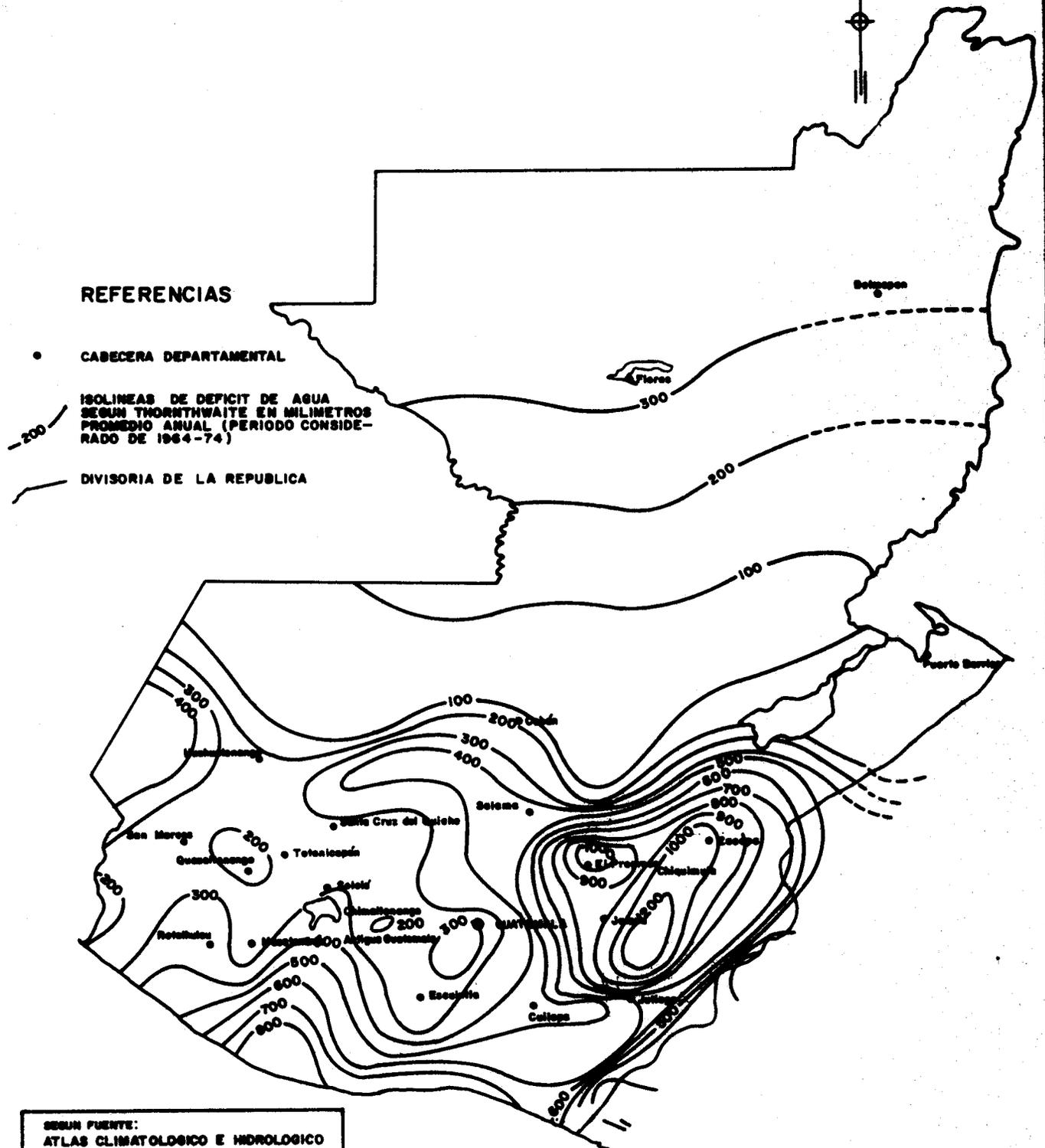


SEGUN FUENTE:
 ATLAS CLIMATOLOGICO E HIDROLOGICO
 DEL ISTMO CENTRO AMERICANO
 INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFIA E
 HISTORIA EN COLABORACION CON EL COMITE
 CENTRAL DE ESTADISTICA HIDROLOGICA
 GUATEMALA AGOSTO DE 1976



MAPA No. 4

**DEFICIT DE AGUA SEGUN THORNTHWAITE CON GRAFICAS
DE BALANCE HIDRICO EN ESTACIONES SELECCIONADAS**



SEGUN FUENTE:
ATLAS CLIMATOLÓGICO E HIDROLÓGICO
DEL ISTMO CENTRO AMERICANO
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFIA E
HISTORIA EN COLABORACION CON EL COMITE
REGIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS
GUATEMALA ASESYS DE 1976



zona, puesto que al no existe ninguna disponibilidad de agua, se puede dar el fenómeno de acumulación de sales provenientes de aportes superficiales, ya sea en forma natural o artificial; como también se puede dar el caso de la ascensión capilar de aguas subterráneas, que pueden acarrear sales de acuíferos poco profundos y depositarlos en la superficie.

2. En casi todos los departamentos existe déficit agrícola, aunque con diferentes valores, el único que no presenta déficit agrícola es el departamento de Cobán, pues al parecer todo el año se cuenta con suficiente humedad, (la validez de estos datos es relativa para cada estación meteorológica de cada departamento).
3. Algunos puntos específicos en otros departamentos pueden tener grandes déficit de humedad, pero son más locales, debido posiblemente a condiciones de micro clima.

VI.1.1.2 Las fuentes de agua, según Estudio de la Clasificación de Aguas para Riego, realizado por la Unidad de Coordinación Técnica de la Dirección de Recursos Naturales Renovables (DIRENARE) y publicado por el Instituto Geográfico Nacional

(IGN). A nivel nacional se puede estimar que la mayoría de ellas, específicamente las de aguas superficiales, presentan buenas condiciones para ser utilizadas en riego, no así las fuentes de agua subterránea, pues en la mayoría de los casos, existe un nivel de salinidad media y cierta cantidad de sodio.

Los departamentos donde se han observado mayores problemas al respecto, - podrían ser: Retalhuleu, donde aproximadamente el 20% de las fuentes muestreadas presentan salinidad media y cierta cantidad de sodio. Escuintla el 46% de las muestras de agua subterránea presentan problemas de mediana a alta salinidad, siempre con bajo - contenido de sodio. En Jutiapa, el 25% de las fuentes muestreadas provenientes de agua subterránea y el 35% de aguas provenientes de agua superficial, presentan mediana salinidad y - niveles bajos de sodio. En Zacapa, 45% de las muestras provenientes de agua subterránea y el 18% de agua superficial presentan niveles medios de salinidad y bajos niveles de sodio. En Jalapa, el 20% de las muestras de agua presentan valores alta a mediana salinidad. En El Progreso, se observó que el 75% de las muestras provenientes de aguas subterráneas contenían

niveles de altos-mediana salinidad y bajos en sodio. En Chiquimula, sólo se lograron obtener muestras de agua superficial, de las cuales el 43% tenían problemas de mediana salinidad.

VI.1.1.3. Material Original:

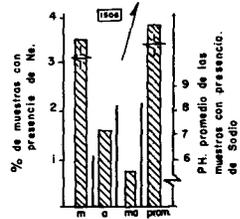
Según el Mapa de Génesis de Suelos (ver mapa No. 5), presenta una serie de distintos materiales que participan en la formación de los suelos de toda la República.

En el norte del país, se presentan suelos desarrollados sobre rocas calcáreas a distintas elevaciones, los cuales no presentan problemas tan agudos, posiblemente se deba al regimen de humedad que existe en esa zona, en algunos casos en estas regiones se pueden presentar suelos ácidos y bajos en sales, debido al lavado intenso de los mismos y al aporte de ácidos orgánicos provenientes de los depósitos de material orgánico.

En los suelos desarrollados sobre es-quistos a elevaciones medias, podrían surgir algunos lugares donde se presenten concentraciones de algunas sales - asociadas al metamorfismo, que en algunos puntos, además de los esquistos se pueden presentar afloramientos de mármoles que contienen alto contenido de carbonatos de calcio, asociado además - al problema del clima.

Mapa de Génesis de Suelos y Diagramas de % de Muestras con presencia de Sodio

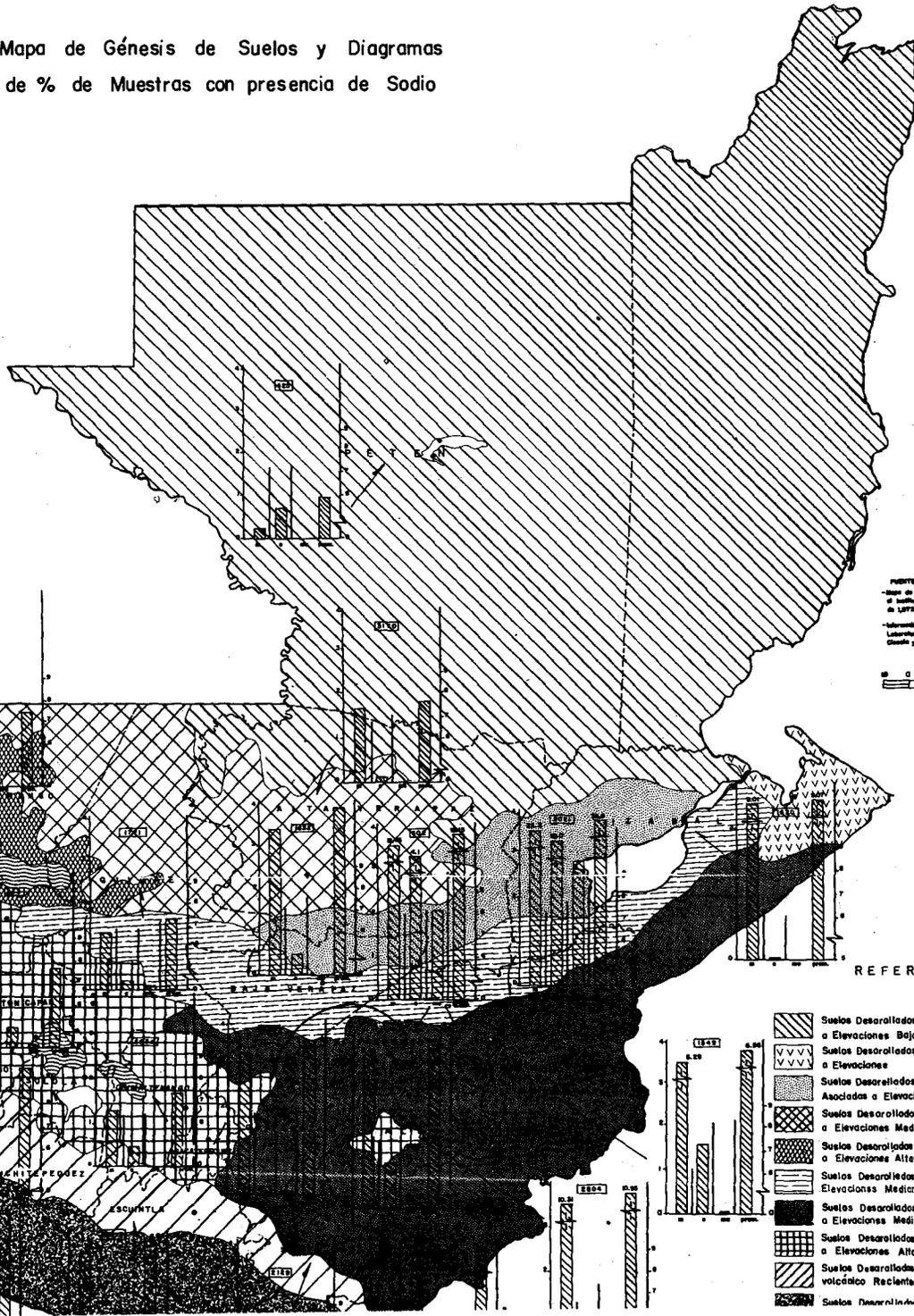
REFERENCIA



m = mediana presencia de sodio.
 a = alta presencia de sodio.
 ma = muy alta presencia de sodio.
 prom = promedio de muestras con presencia de sodio.

[1500] = número total de muestras analizadas, correspondientes al quinquenio 1979-83.

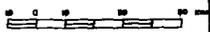
/ = señala el nombre de el departamento, al que pertenece el diagrama.



FUENTES DE INFORMACIÓN

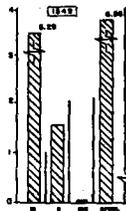
- Mapa de relieve de las Antillas, publicado por el Instituto Geográfico Nacional en España en 1977.

- Información consultada en los archivos de el Laboratorio de Suelos, en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola.



REFERENCIAS

- [Hatched pattern] Suelos Desarrollados sobre Rocas Caldeiras a Elevaciones Bajas.
- [V-shaped pattern] Suelos Desarrollados sobre Depósitos Marinos a Elevaciones.
- [Dotted pattern] Suelos Desarrollados sobre Serpentina y Rocas Asociadas a Elevaciones Medianas.
- [Cross-hatched pattern] Suelos Desarrollados sobre Rocas Caldeiras a Elevaciones Medianas.
- [Wavy pattern] Suelos Desarrollados sobre Rocas Caldeiras a Elevaciones Altas.
- [Horizontal lines] Suelos Desarrollados sobre Esqueletos a Elevaciones Medianas.
- [Dark grey/black] Suelos Desarrollados sobre Centro Volcánico a Elevaciones Medianas.
- [Grid pattern] Suelos Desarrollados sobre Centro Volcánico a Elevaciones Altas.
- [Diagonal lines] Suelos Desarrollados sobre Material Fluvio-volcánico Reciente a Elevaciones Medianas.
- [Stippled pattern] Suelos Desarrollados sobre Material...



En la zona costera los suelos se han desarrollado sobre cenizas volcánicas a elevaciones medianas, como sobre material fluvio volcánico a elevaciones bajas; en estos lugares existe abundante humedad, lo que no permite ninguna acumulación de sales, a pesar de que pueden existir problemas locales debido a otras condiciones más específicas.

Los suelos sobre cenizas volcánicas a elevaciones altas no presentan mayor problema, debido a que las temperaturas son bajas y existe cierto nivel de humedad, que no permite la acumulación de sales.

Como se puede observar en la zona nor-oriental y oriental, los suelos se han desarrollado sobre cenizas volcánicas a elevaciones medias; esta zona coincide en parte con la región más seca y cálida, donde se presentan los problemas de salinidad con mayor frecuencia; según la composición general de las cenizas sobre las cuales se desarrollan estos suelos, puede variar en su composición química y su estado físico. La composición química está dominada en algunos casos por silicatos de aluminio, pero también se presenta las plagioclasas sódicas y cálcicas como los feldespatos de potasio. Las plagioclasas son las que podrían aportar cierta cantidad de

sales y sodio, que debido al clima tendrían a acumularse en los estratos superiores del suelo.

Ahora, dentro de esta gran área existen también condiciones locales, tal es el caso de valles de diverso origen, como el caso de algunos valles de origen lacustre, donde posiblemente hubieron precipitados químicos mezclados con los sedimentos del fondo; existen valles aluviales formados por materiales de distintos orígenes sujetos a aportes continuos de suelos y aguas con distintos contenidos de sales.

Recientemente, en algunos suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas y aún muestras del subsuelo han presentado cierto contenido de sodio, específicamente.

VI.1.1.4 Otros Factores:

La salinidad y sodicidad de los suelos también puede estar regida por condiciones más específicas, tal es el caso de condiciones muy locales, donde se presentan aportes de tipo hidrogeológico, los cuales son continuos y de altos niveles de sodicidad y salinidad.

En algunos lugares existe una relación con ciertos afloramientos hidrotermales que suelen presentarse asociados a zonas donde existió o existe actividad ignea, ya sea en superficie o bajo el subsuelo. Como también en zonas de --

fallamiento, donde la corteza terrestre presenta zona de debilidad y fracturación, por donde puede presentarse emergencias hidrotermales de aguas recalentadas y contaminadas en zonas profundas.

En la zona donde se realizó el estudio Placetas como en Amapala, es evidente que el origen del ensalitramiento y sulfidación se debe principalmente a:

- a) las emergencias hidrotermales que contaminan las aguas que circulan lentamente en el subsuelo, las que en épocas de sequía ascienden por capilaridad, evaporándose en la superficie y dejando grandes cantidades de sales, las que han formado pequeñas costras de álcali; --
- b) Las características físicas de los suelos impiden una circulación más rápida para evacuar internamente el agua;
- c) el drenaje superficial es un tanto deficiente pues debido al relieve bastante plano, impide que estas aguas salinas que contaminan el suelo, puedan escurrir libremente.

Otra de las posibles fuentes de contaminación se presenta en los suelos vecinos al mar y a las marismas que se encuentran a lo largo de las zonas costeras, estas marismas representan casi un 15% del terreno que conforma los continentes, por lo que sí representa una zona de importancia. En estos lugares los suelos no presentan mayor potencial

productivo, pero si pueden mejorarse - con especies específicas y útiles, para conservar en algunos casos la fauna, - que puede llegar a ser un renglón de - importancia económica.

El mecanismo de ensalitramiento de estos suelos depende de las condiciones que se presenten, podría darse el caso que existiera acumulación de sales en el subsuelo debido a depositación antigua, que pudieron ser atrapadas entre los sedimentos depositados y que por - sobre saturación se produjeran salmeras muy salinas. Otro caso sería la intrusión del mar, por los regímenes - de las mareas, en forma esporádica, el aporte poco conocido es en forma de - aerosol que se presenta en la brisa marina, el cual depende de la dirección del viento y la intensidad del oleaje

VI.1.2

Evaluación Preliminar del Problema

Actual:

Para la evaluación del problema se ha tratado de recabar la mayor información posible, revisando los archivos de las diferentes entidades, que de una u otra forma han tenido la oportunidad de analizar muestras provenientes de todo el país, como también de algunos estudios realizados especialmente en los principales distritos de riego.

VI.1.2.1 Análisis e Interpretación de la Informa ción existente:

El análisis consistió en determinar el porcentaje de las muestras que presentan presencia de sodio por cada departamento, los datos que se analizaron fueron los - que constituyen el archivo general del - Laboratorio de Suelos de ICTA.

Los datos obtenidos de dicho archivo fue
ron los valores cualitativos de los nive
les en que se presenta el sodio en el -
espectrofotómetro, en el momento que se
leen los elementos de calcio y magnesio.
La escala seguida para esta evaluación
son los niveles de: mediana presencia -
de sodio que considera valores de 0.4 a
1 meq/100 g; alta presencia de 1 a 2 -
meq/100 g y muy alta presencia de 2 a -
más meq/100 g de sodio.

El total de muestras analizadas fue de
43,477, correspondientes al quinquenio
1979 al año 1983.

Además se evaluó el pH a través del pro
medio de los pH correspondientes a las
muestras con diferentes niveles de afec
ción por sodio y por cada departamento.

Toda la información procesada se colocó
en el Mapa No. 5 , con lo que se puede
visualizar más claramente los lugares -
que según el muestreo presentan mayores

problemas respecto al sodio y a la alcalinidad.

Por ejemplo, en el diagrama para el departamento de El Progreso presenta que: 12.75% de muestras presentaban mediana - presencia de sodio y con un pH promedio de casi 8; el 4.1% correspondía a una - alta presencia de sodio con un pH promedio ligeramente mayor de 8, y un 2% correspondía a un nivel de muy alta presencia de sodio y además el pH presenta ba valores de casi 9.5; lo que indica - que los suelos de donde provienen esas muestras son suelos sódico-alcalinos; - además se puede observar que el 19% de las muestras analizadas tienen problemas con la presencia de sodio.

En general se puede observar que el departamento con mayor % de presencia de sodio es Zacapa, con un 35%.

El nivel de sodio en la parte del Altiplano es bajo, excepto en los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez, lugares donde se han observado emergencias de aguas salino-sódicas. El nivel de sodio anda alrededor del 2-4%, específicamente en el nivel de mediana presencia de sodio.

Además existen otros departamentos donde los valores de muestras afectadas - pasan del 5%.

Las muestras provenientes de los departamentos vecinos a la costa no presentan % de afectación anormales, lo que quiere decir que el problema no se ha detectado aún, o que no se ha muestreado con mayor intensidad en toda esa región.

El pH en la zona costera es bajo, valores menores de 7%, posiblemente debido al régimen copioso de precipitación.

VI.1.2.2 Correlación entre los datos existentes y las áreas donde se presenta el problema:

De acuerdo a la información existente y las observaciones de las áreas donde se presenta el problema, se observó que existe una relación estrecha, puesto que la información provenía de un gran número de análisis realizados, los cuales de una forma u otra representaban en promedio las características de los suelos y los problemas que han existido desde hace algún tiempo.

VI.2 Respecto al Ensayo de Laboratorio.

Los resultados de los análisis y pruebas de laboratorio, fueron tabulados y graficados para su análisis cualitativo y procesados para su análisis estadístico respectivo.

VI.2.1 Respuesta a los diferentes tipos de enmienda que fueron aplicados.

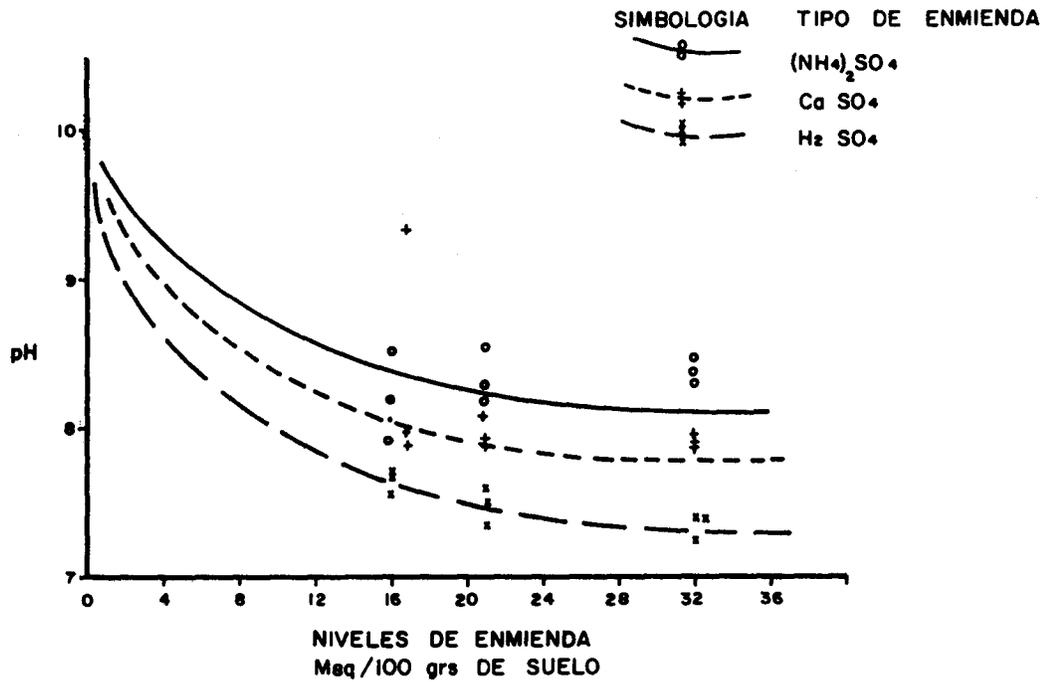
Los tipos de enmienda que fueron seleccionados de acuerdo a las características

presentadas por los suelos que se deseaban corregir y los materiales de enmienda más comunes y accesibles en el mercado.

- VI.2.1.1 El ácido sulfúrico se consideró por ser de una reacción fuertemente ácida y además es la fuente que no aporta ningún - elemento que cause problemas de ensalitramiento, además, con el ácido sulfúrico se puede hacer una equivalencia de las sales de flor de Azufre que es más factible de encontrar en el mercado a precios bajos. La enmienda con ácido sulfúrico presentó en general, las mejores perspectivas.
- VI.2.1.2 El sulfato de amonio presentó buenas características, el único problema fue su poca eficiencia, respecto al pH (ver -- gráfica No.2); puede ser debido a la - acción neutra del amonio, que neutraliza en forma parcial el efecto del sulfato. El sulfato de amonio en desplazamiento de sales fue sin duda el más efectivo.
- VI.2.1.3 El sulfato de calcio presentó mediano - desplazamiento del sodio, pero el descenso de la conductividad eléctrica fue poco, debido al aporte del calcio incluido en la enmienda, si el suelo fuera únicamente sódico se hubiera podido desplazar el sodio hasta niveles de calcio que no produjeran problemas de salinidad y alcalinidad.

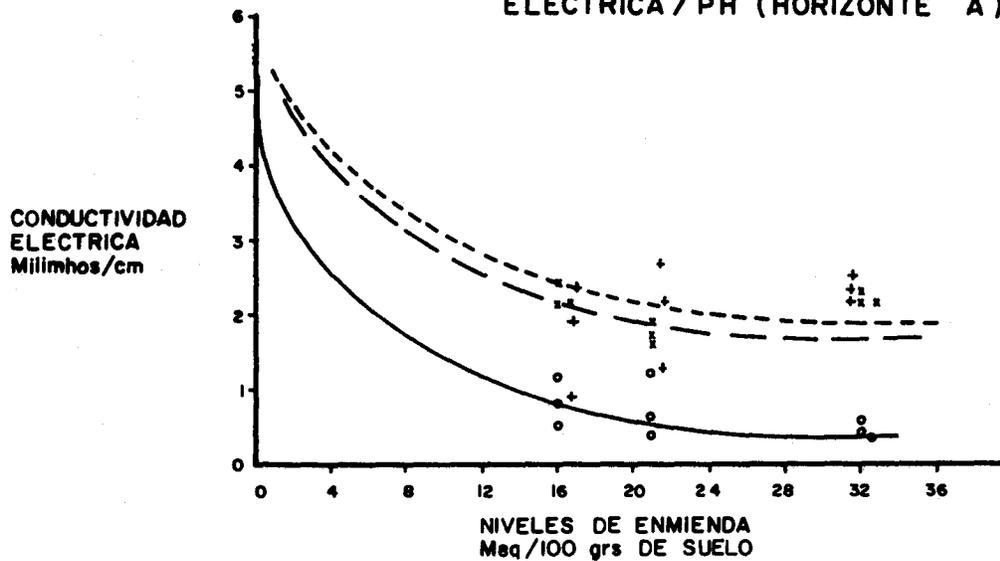
GRAFICA 2.

VARIACION DEL PH/ENMIENDA
(HORIZONTE A)



GRAFICA 3.

VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD
ELECTRICA / PH (HORIZONTE A)



VI.2.2 Respuesta a los diferentes niveles de enmienda aplicados al suelo:

La respuesta a los diferentes niveles se evaluó a través de la mediciones del pH, la conductividad eléctrica, el % de saturación de sodio intercambiable y a la reacción del pH y el psi de las muestras tratadas y los testigos.

El análisis se hizo desde el punto de vista cualitativo, elaborando una serie de gráficas que relacionaban los parámetros antes mencionados y los niveles de enmienda aplicados.

VI.2.2.1 Respuesta del pH a los diferentes niveles de enmienda:

Como se puede observar en la gráfica -- No. 2 , el tratamiento más efectivo fue el del ácido sulfúrico, llegándose a reducir el pH hasta valores menores de 7.5, con el mayor nivel de enmienda; aunque niveles de 8 meq/100 gr pueden ser suficientes para reducir el pH a niveles aceptables, es de hacer notar de que los resultados obtenidos son inmediatos, por lo que es de esperar de que con los lavados del suelo puedan disminuir en mayor cantidad las sales presentes.

La respuesta al sulfato de amonio fue menor, pues el nivel de pH no se logró que disminuyera a un valor abajo de 8.

En la gráfica No.4 , que corresponde al pH del horizonte B, se puede apreciar - que el efecto de las enmiendas no logró disminuir el pH bajo los niveles de 8; lo que hace pensar que toda la enmienda fue neutralizada por las sales que en - contro a su paso en el horizonte A.

VI.2.2.2 La variación de la conductividad eléc - trica:

Varió en forma similar en los dos hori - zontes, notándose un descenso en la mis ma desde los 6 milimhos hasta valores - menores de 1 milimhos; la enmienda que mayor efecto produjo fue la del sulfato de amonio, la cual presenta los mayores descensos en el horizonte A, el problema de la concentración de sales podría tener una solución bastante adecuada con la enmienda solamente de sulfato de amonio, con 6 meq/100 g podrían obtenerse valores menores de 2 milimhos, que es - un buen nivel si se considera que no se ha realizado muchos lavados del suelo.

Combinando además los efectos del sulfato de amonio con los del ácido sulfúrico podría llegarse a una enmienda más - efectiva, la única desventaja que puede presentarse sería, la que podría darse en el momento cuando se encuentre el -- amonio en la solución del suelo con pH alcalino, que podría producir una pérdida por la liberación del amonio en forma de gas. Ver gráfica 3 y 5.

El mayor efecto producido por el amonio en el desplazamiento de sales puede ser debido a la alta capacidad de intercambio y sustitución que posee el ión amonio.

VI.2.2.3 Respecto al % de sodio intercambiable:

Para el horizonte A, se detectó que el ácido sulfúrico y el sulfato de amonio fueron los más efectivos, obteniéndose valores menores del 15% con enmiendas de 6 meq/100 g, o sea que hubo sustitución y lixiviación de grandes cantidades de sodio, ver gráfica 6.

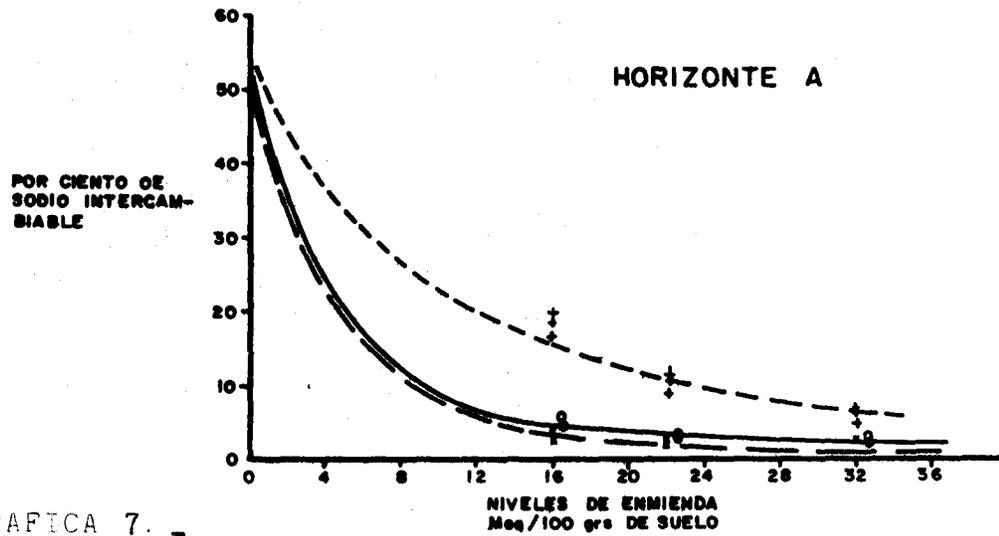
Para el horizonte B, siempre el ácido sulfúrico y el sulfato de amonio presentaron las mejores respuestas; el sulfato de calcio no alcanzó bajar el psi a valores menores del 15% a pesar del aporte de calcio, que tiende a sustituir el sodio; aunque para lograr descender el psi abajo de 15 si fueron necesarios valores de enmienda mayores del orden de los 12 meq/100 g, ver gráfica 7.

En la gráfica No.8, se puede apreciar la relación que se presentó entre el psi y el pH de las muestras tratadas, comparadas con los testigos.

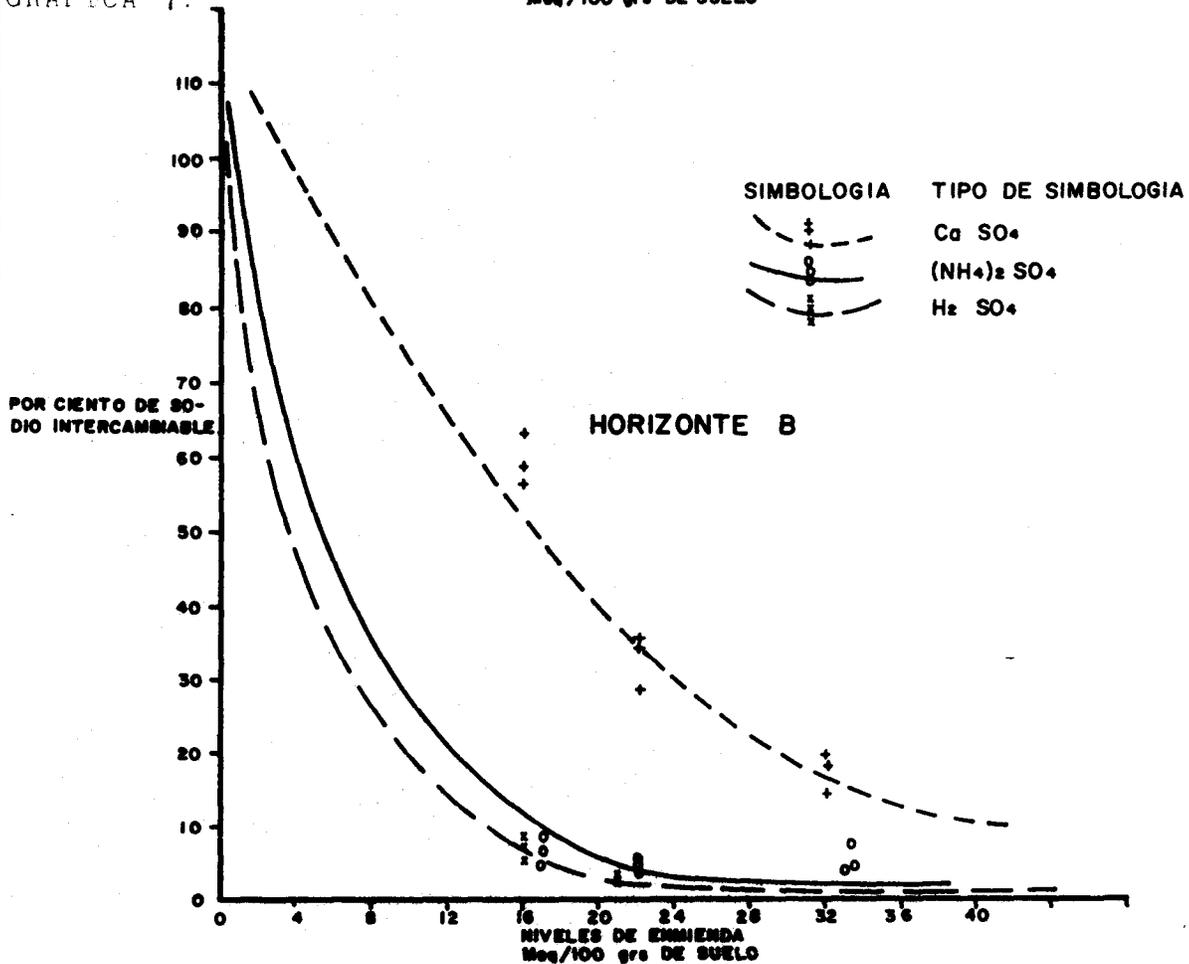
Las muestras sin tratamiento tenían niveles mayores del 50% de sodio intercambiable con pH de casi 10, lo que indica que eran suelos extremadamente sódicos y alcalinos, esto para el horizonte A; --

GRAFICA 6.

VARIACION DE POR CIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE RESPECTO A LAS ENMIENDAS



GRAFICA 7.



para el horizonte B los niveles eran mu
cho más altos.

VI.2.2.4 Relación entre el pH y el psi de las - muestras tratadas y los testigos:

Tomando en cuenta los valores de pH y de psi alcanzados con los tratamientos y los valores de los testigos, se trazó una línea tentativa para enmarcar los resul
tados obtenidos y la tendencia que toma
ron las muestras tratadas con los dife
rentes enmiendas, ver gráfica 8.

Por ejemplo, el sulfato de amonio, dis
minuyo el psi pero no así el pH, lo que indica que si es útil para el desplaza
miento del sodio, pero no para la elimi
nación total de sales alcalinas, que --
condicionan el pH.

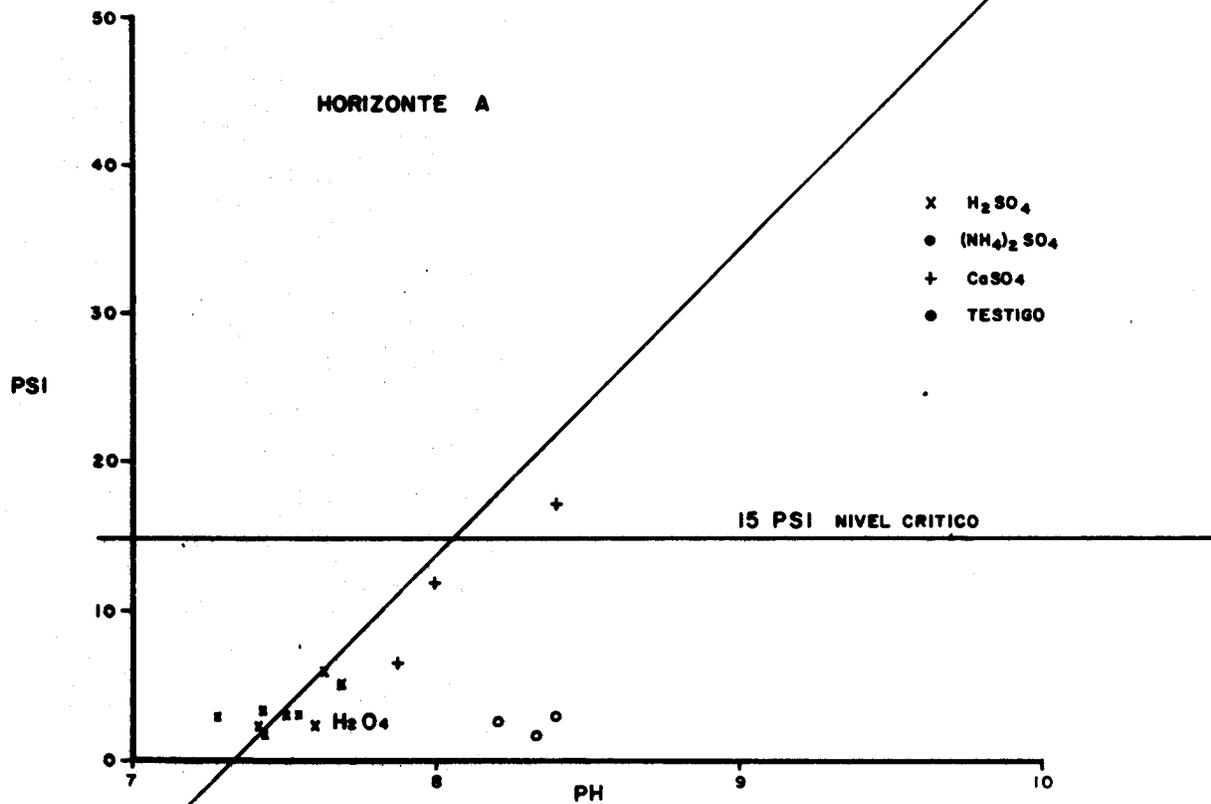
El tratamiento realizado con ácido sul
fúrico fue muy efectivo en cuanto a los parámetros de psi y de pH, presentando una ligera relación entre el descenso -
del pH y del psi, lo que significa que existió buena sustitución del sodio co
mo desplazamiento de sales solubles que condicionan el pH.

Casi todos los tratamientos y niveles -
menos uno, alcanzaron disminuir el psi de 15%. El que no alcanzó disminuir -
el 15% del psi fue el primer tratamiento
de sulfato de calcio.

En el horizonte B el psi bajo del 15% -

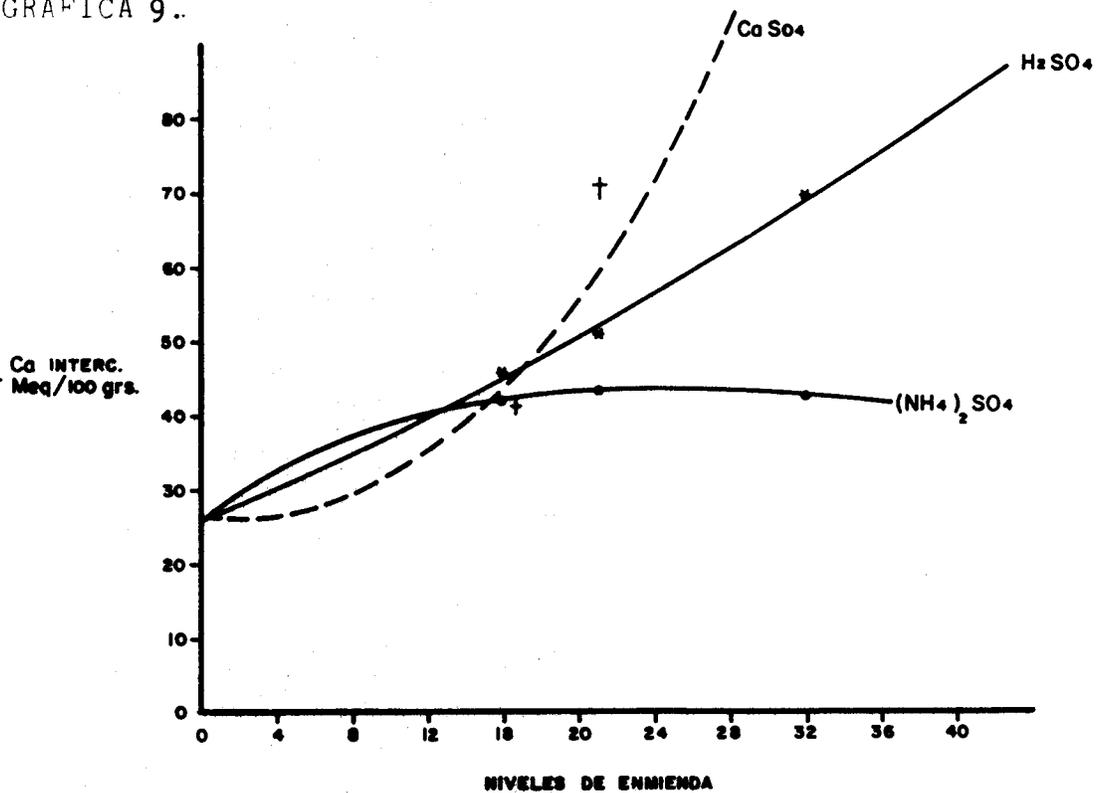
GRAFICA 8.

VARIACION DEL PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE RESPECTO AL PH



VARIACION DEL CALCIO INTERCAMBIABLE RESPECTO A LAS ENMIENDAS

GRAFICA 9..



menos en todos los tratamientos del sulfato de calcio, que presentó valores - hasta de 59%, aunque en este horizonte el psi alcanzó valores de 113%.

Variación del calcio intercambiable respecto a las enmiendas:

Para este elemento se presentaron cosas muy variadas, tal es el caso que hubo un aumento en los niveles de calcio intercambiable al aumentar la dosis del ensayo.

El caso que se esperaba así fuera que - el del tratamiento de sulfato de calcio pues en la enmienda misma se aportaba - más calcio; el caso que resultó un poco extraño fue, el del ácido sulfúrico, - que presentó un incremento en los niveles de calcio, desde valores de 15 meq/100 g hasta valores de 81 meq/100 g. En este caso la explicación que puede darse es la liberación del calcio que estaba formando parte de sales solubles presentes en la solución de suelo, como los carbonatos tricálcicos y algunos - fosfatos de calcio o derivados de algunas plagioclasas cálcicas.

El sulfato de amonio liberó algunas cantidades de calcio de 25 meq/100 g a valores poco más altos que 40 meq/100 g - esto fue para los primeros niveles de - enmienda; al incrementarse los niveles de enmienda, se presentó un ligero ---

descenso en el contenido de calcio, lo que podría indicar que sí hubo una pequeña liberación de calcio, pero posteriormente con más enmienda pudo ser liberada.

Este fenómeno confirma que una enmienda mas efectiva podría ser la que tuviera una combinación de ácido sulfúrico y sulfato de amonio, para aprovechar las ventajas que proporciona cada una de ellas.

La enmienda podría constituirse también de sulfato de amonio más flor de azufre para que el efecto del sulfato no fuera tan violento, pero si fuera a la larga mas efectivo.

IV.2.3 Modificación de las Propiedades Físicas:

IV.2.3.1 De la retención de humedad:

La respuesta a las enmiendas fue bastante marcada, en lo que respecta a la tensión de humedad. La tensión de humedad del suelo depende de: las dimensiones de las partículas sólidas que componen el suelo, como también de la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo.

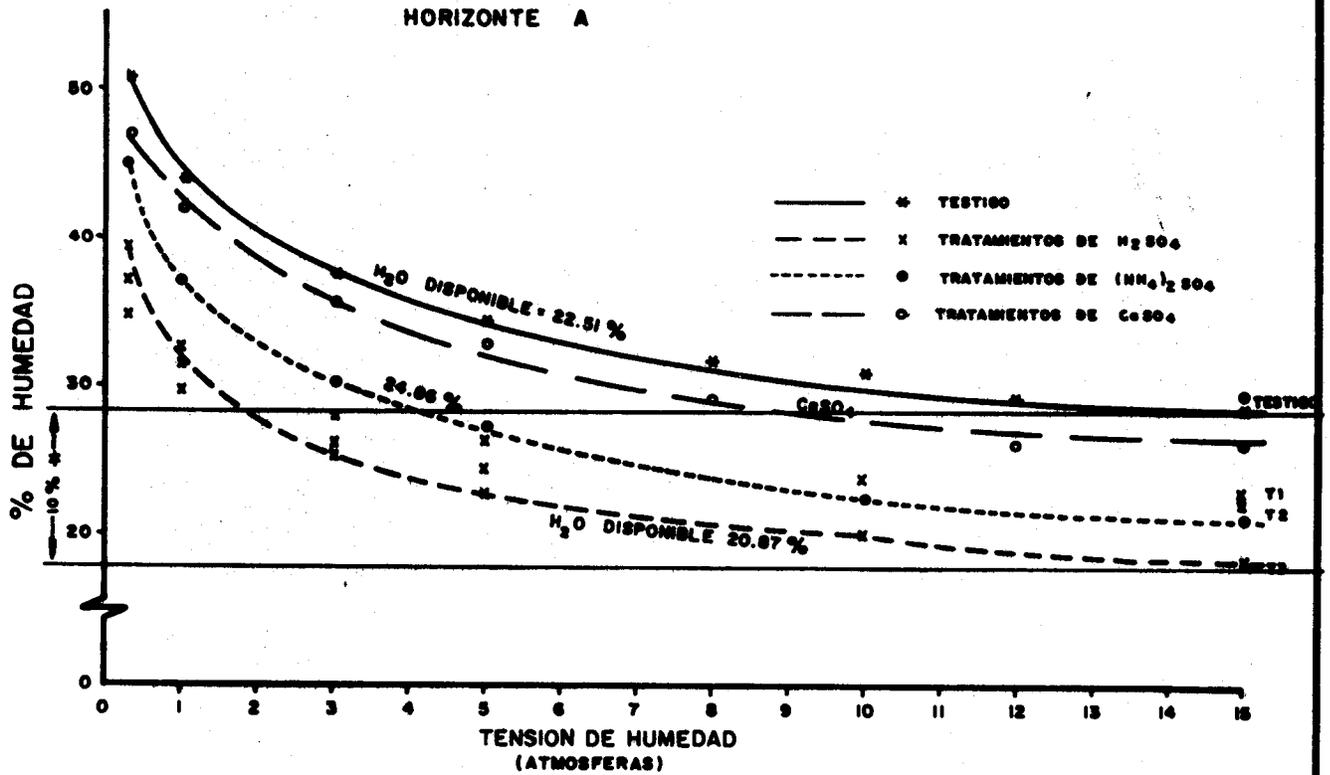
Los suelos salino-sódicos utilizados para el ensayo, presentan niveles de humedad extremadamente altas, algunos valores eran mayores del 50% a 1/3 de atmósfera, condición que restringiría un nivel de buena aireación, pues un 50% de humedad, probablemente estaría saturando la mayor parte del espacio poroso.

A pesar de que la humedad disponible para las plantas es condiciones de salinidad es alta, la misma se presenta a altas tensiones lo que influye en la disponibilidad real de dicha humedad.

Como se puede observar en las gráficas Nos.10 y 11 que contienen las curvas Tensión/% de humedad, todas las enmiendas y niveles de enmienda tuvieron una respuesta semejante a excepción del yeso, puesto que la incorporación del calcio aumentaba la concentración de sales.

GRAFICA 10

CURVA TENSION /% DE HUMEDAD

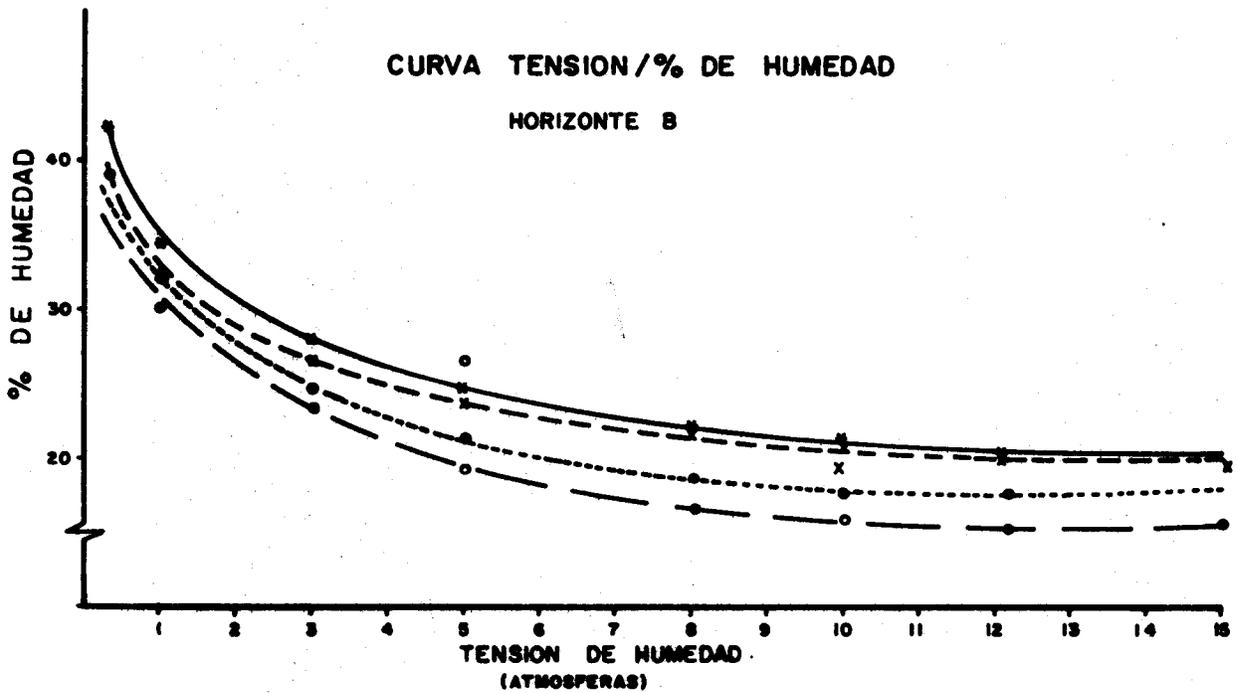


(* AUMENTO DEL ESPACIO AEREO CON EL MISMO % DEL AGUA DISPONIBLE)

GRAFICA 11.

CURVA TENSION /% DE HUMEDAD

HORIZONTE B



La enmienda que presenta la mejor res -
puesta, es la del ácido sulfúrico, a pe -
sar de que el % de humedad total dispo -
nible para las plantas disminuye, la -
humedad es retenida a menores tensiones
lo que aumenta realmente una mayor dis -
ponibilidad de agua neta.

Es importante ver el comportamiento de
cada curva, pues existen algunas que -
presentan menor inclinación donde los
suelos pueden disponer de poca humedad.

Otras curvas que presentan una mayor -
inclinación pueden disponer de mayor -
humedad a menores tensiones, factor que
favorece el aprovechamiento efectivo.

El sulfato de amonio, presentó buenas -
perspectivas, pues en este caso no hubo
disminución de la humedad sino que se -
presentó un incremento del 2.35%.

Los únicos inconvenientes de esta enmien -
da son: el mantener niveles de humedad
muy altos a la capacidad de campo, lo -
que un suelo pueda alcanzar niveles de
saturación perjudicial para la airea -
ción y que retiene mayor humedad a mayor
tensión, lo que influiría cuando se tra -
baje con cultivos sensibles a la tensión.

En resumen, lo importante es disminuir
la humedad de capacidad de campo a nive -
les adecuados y que la humedad real esté
retenida a menos atmósferas, razón por

la cual para el análisis de la curva - deben considerarse varios factores, como lo es la saturación y la tensión a que es retenida el agua. Como se observa en la gráfica No.10, el suelo sin los tratamientos mantiene un 28% de - humedad no utilizable y que ocupa espacio poroso, necesario para la aireación del suelo; en cambio en un suelo tratado, esta humedad sólo alcanza valores del 18%, lo que quiere decir que con la enmienda se logra mantener la humedad disponible y se gana un 10% de aireación cosa que favorece el desarrollo de las plantas cultivadas.

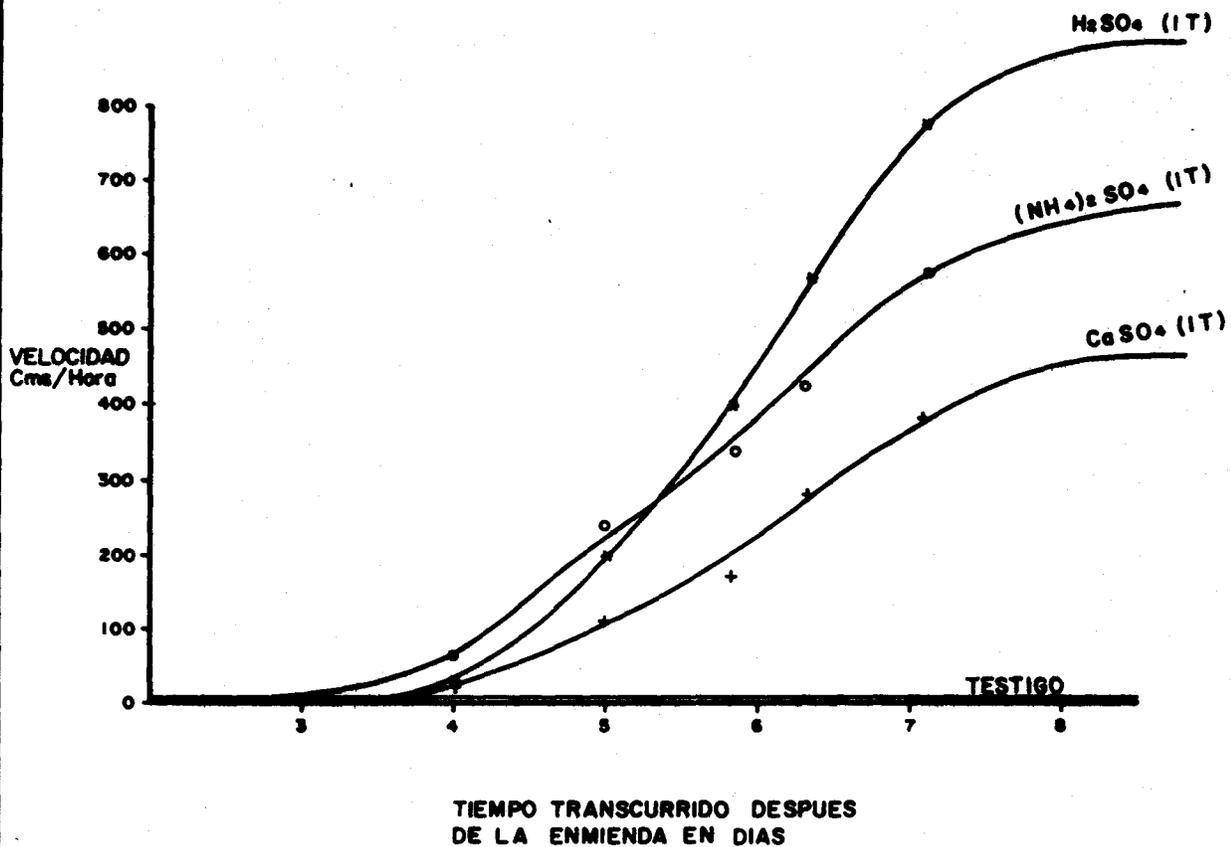
VI.2.3.2 De la velocidad de Percolación:

La evaluación del efecto de la enmienda se realizó, midiendo la velocidad con que el agua podía circular a través de las columnas de suelo, manteniendo constantemente un nivel de agua destilada para que existiera una presión y continuidad hidráulica sobre las muestras de suelo.

Como se observa en la gráfica No. 12, - todas las enmiendas presentaron respuesta, siendo la del ácido sulfúrico la - más efectiva, entre los niveles de enmienda no se observó ninguna diferencia en dicha gráfica aparecen los resultados del primer nivel de enmiendas, que son idénticas a los demás niveles.

GRAFICA 12.

**VELOCIDAD DE PERCOLACION RESPECTO
AL TIEMPO TRANSCURRIDO DESPUES DE
APLICADA LA ENMIENDA.**



H₂SO₄(IT) PRIMER TRATAMIENTO DE LA ENMIENDA DE ACIDO SULFURICO
 (NH₄)₂SO₄(IT) PRIMER TRATAMIENTO DE LA ENMIENDA DE SULFATO DE AMONIO
 CaSO₄(IT) PRIMER TRATAMIENTO DE LA ENMIENDA DE SULFATO DE CALCIO

También se pudo observar que la enmienda tardo por lo menos tres días en causar su efecto, alcanzando su máximo efecto después de los ocho días, o sea que por el tiempo transcurrido y la cantidad de agua que había circulado, se logró en ese corto tiempo obtener los resultados más óptimos, en lo que respecta al drenaje interno del suelo.

El testigo manteniendo la carga y contnuidad hidráulica, apenas si consiguió drenar unas pocas gotas de agua; lo que hace más convincente la necesidad de la enmienda química para la rehabilitación de este tipo de suelos.

VI.3 Análisis Estadístico del Ensayo de Laboratorio.

VI.3.1 Diseño Experimental:

El diseño utilizado en Laboratorio para el trabajo fue completamente al -- azar.

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = M + T_i + \epsilon_{ij}$$

de donde:

Y_i = Variable respuesta de la ij -ésima unidad experimental.

M = Efecto de la media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

Análisis de varianza:

Hipótesis:

$$H_0 : T_1 = T_2 = T_k$$

(todos los tratamientos son iguales)

$$H_0 : T_i \neq T_k \text{ para al menos un } i$$

(por lo menos un tratamiento es diferente a los demás)

Fórmulas:

$$F.C = \frac{Y_{i..}^2}{t r}$$

$$SC \text{ RaT} = \frac{\sum Y_i^2}{r} - F.C.$$

$$SC_{TOT.} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - F.C.$$

$$SC_{error} = SC_{tot} - SC_{trat}$$

$$CM = \frac{SC}{GL}$$

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{error}}}{\bar{x}} \times 100$$

$$Fc = \frac{CM_{trat}}{CM_{error}}$$

$$Ft = \alpha(GL_2 ; GL_e)$$

$$\alpha = 0.05; 0.01$$

Regla de decisión

Rechazar sí.

$$Fc \geq Ft$$

No rechazar sí

$$Fc < Ft$$

Arreglo de Tratamientos:

Es una estructura factorial

3 x 3 con tres repeticiones para cada tratamiento;

Donde:

A = Tratamientos (enmiendas)

a_1, a_2, a_3

B = Niveles de enmienda

$b_1, b_2, b_3;$

Donde:

$$a_1 = \text{H}_2 \text{SO}_4$$

$$a_2 = (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$$

$$a_3 = \text{CaSO}_4$$

y

$$b_1 = 16 \text{ meq/100 g de SO}_4$$

$$b_2 = 21.4 \text{ meq/100 g de SO}_4$$

$$b_3 = 32.1 \text{ meq/100 g de SO}_4$$

Modelo Estadístico del arreglo factorial

$$Y_{ij} = M + A_i + B_j + AB_{ij} + \mathcal{E}_{ij}$$

...

M = efectos de la media general

A_i = efecto de el i -ésimo nivel de A

B_j = efecto del j -ésimo nivel de B

AB_{ij} = Interacción del i -ésimo factor del nivel A con el j -ésimo nivel B.

\mathcal{E}_{ij} = error experimental asociado a la j -ésima unidad experimental

Análisis de Varianza:

Hipótesis:

$$H_0 : A_1 = A_2 = A_3$$

$$H_A : A_i \neq A_{i'} \text{ para al menos un } i \text{ donde } i \neq i'$$

$$H_0 : B_1 = B_2 = B_3$$

$$H_A : B_j \neq B_{j^1} \text{ para al menos un } j \text{ donde } j \neq j^1$$

H_0 = Existe independencia entre factores

H_a = Existe independencia entre factores

Fórmulas para Análisis de Varianza de la Estructura Factorial:

$$F.C. = \frac{X_{...}^2}{tr}$$

$$S.C._A = \frac{\sum x_{i.}^2}{br} - F.C.$$

$$S.C._B = \frac{\sum x_{.j}^2}{ar} - F.C.$$

$$S.C._{A B} = \left(\frac{\sum x_{ij}^2}{r} - F.C. \right) - (S.C._A + S.C._B)$$

$$S.C._{trat} = \frac{\sum X_{ij}^2}{r} - F.C.$$

$$S.C._{tot} = \sum X_{ijk}^2 - F.C.$$

$$S.C._E = S.C._{tot} - S.C._{trat}$$

$$C.M. = \frac{SC}{G.L.}$$

$$F.C = \frac{CM}{CM_E}$$

$$F_{tA} = (GL_A, GL_E) \alpha$$

$$F_{t_B} = (GL_B, GL_E) \propto$$

$$F_{t_{AB}} = (GL_{AB}, GL_E) \propto$$

Regla de desición

Sí $FC \geq FT \Rightarrow$ Rechazar hipótesis

Sí $FC < FT \Rightarrow$ No rechazar hipótesis

A. Análisis de varianza del diseño:

A1. Análisis de varianza respecto al pH

Horizonte A						
FV	GL	SC	CM	F_c	F_T	
					0.01	0.05
Tratam	9	15.01	1.67	6.52	3.46	2.39 **
Error	20	5.11	0.256			
Total	29	20.12				

Horizonte B						
FV	GL	SC	CM	F_c	F_T	
					0.01	0.05
Tratam	9	7.01	0.78	24.38	3.46	2.39 **
Error	20	0.63	0.032			
Total	29	7.64				

A2. Análisis de varianza respecto a conductividad eléctrica

Horizonte A						
FV	GL	SC	CM	F_c	F_T	
					0.01	0.05
Trat	9	50.66	5.63	45.3	3.46	3.96 **
Error	20	2.48	0.124			
Total	29	53.14				

Horizonte B						
FV	GL	SC	CM	F _C	0.01 ^{FT}	0.05
Trat	9	84.64	9.40	23.62	3.46	3.96 **
Error	20	7.96	0.398			
Total	29	92.60				

A3. Análisis de varianza del porcentaje de Sodio Intercambiable

Horizonte A						
FV	GL	SC	CM	F _C	0.01 ^{FT}	0.05
Trat	9	7155.5	795.5	600	3.46	2.39 **
Error	20	26.50	1.325			
Total	29	7182.0				

Horizonte B						
FV	GL	SC	CM	F _C	0.01 ^{FT}	0.05
Trat	9	34373.3	3819.3	299.71	3.46	2.39 **
Error	20	255.2	12.75			
Total	29					

B. Análisis de Varianza de la Estructura Factorial:

B1. Análisis de varianza con respecto a pH

Horizonte A						
FV	GL	SC	CM	F _c	0.05	FT 0.001
Tratam	8	3.86				
Fact A	2	3.30	1.65	4.92	3.55	6.01 *
Fact B	2	0.19	0.10	0.28	3.55	6.01 NS
A x B	4	0.37	0.10	0.28	2.93	4.58 NS
Error	18	6.04	0.34			
Total	26	9.90				

Horizonte B						
FV	GL	SC	CM	F _c	0.1	FT 0.05
Tratam	8	2.322	0.290			
Fact A	2	1.8289	0.9145	2.90	3.55	6.01 *
Fact B	2	0.356	0.178	0.56	3.55	6.01 NS
A x B	4	0.1368	0.0342	0.11	2.93	4.58 NS
Error	18	0.5673	0.3152			
Total	26	2.8893	0.11113			

B1 Análisis de varianza con respecto a
Conductividad Eléctrica

Horizonte A						
FV	GL	SC	CM	F	0.05 ^{FT}	0.01
Trat	8	12.29	1.54			
A	2	11.12	5.56	34.75	3.55	6.01 **
B	2	0.07	0.03	0.22	3.55	6.01 NS
A x B	4	1.10	0.28	1.75	2.93	4.58 NS
	18	2.92	0.16			
Total	26	15.21				

Horizonte B						
FV	GL	SC	CM	F	0.05 ^{FT}	0.01
Trat	8	8.26				
A	2	7.25	3.63	211.7	3.55	6.01 **
B	2	0.69	0.35	20.27	3.55	6.01 **
A x B	4	0.314	0.08	4.62	2.93	4.58 **
	18	0.31	0.02			
Total	26					

B3 Análisis de varianza a por ciento de
Sodio Intercambiable

Horizonte A							
FV	Gl	SC	CM	F	0.05	^{FT} 0.025	
Trat	8	608.159					
A	2	401.09	200.55	25.64	3.55	6.01	**
B	2	101.27	50.64	64.9	3.55	6.01	**
A x B	4	105.79	26.45	33.9	2.93	4.58	**
	18	14.05	0.78				
Total	26	622.21					

Horizonte B							
FV	GL	SC	CM	F	0.05	^{FT} 0.025	
Trat	8						
A	2	5692.91	2846.46	230.6	3.55	6.01	**
B	2	1009.53	504.765	40.9	3.55	6.01	**
A x B	4	1796.95	449.237	37.4	2.93	4.58	**
	18	221.265	12.343				
Total	26						

C. Comparación múltiple de Medias

Prueba de Tukey:

$$W = q \quad (a_1 \text{ GL error}) \quad \frac{\text{CMe}}{b \ r}$$

$$W = q \quad (b_1 \text{ GL error}) \quad \frac{\text{CMe}}{a \ r}$$

$$W = q \quad (\text{GL error}) \quad \frac{\text{CMe}}{r}$$

C.1 Comparación múltiple de Medias para Valores de pH

Horizonte A:

		A ₂	A ₃	A ₁
		24.94	24.35	22.48
A ₁	22.48	2.46**	1.87 **	----
A ₃	24.35	0.59NS		
A ₂	24.94	-	W = 0.9071	

Horizonte B:

		A ₃	A ₂	A ₁
		27.12	26.33	25.31
A ₁	25.21	1.91**	1.12 **	—
A ₂	26.33	0.79 NS		
A ₃	27.12	-	W = 0.8796	

C₂ Comparación Múltiple de Medias para
Valores de Conductividad Eléctrica

Horizonte A:

	A ₃	A ₁	A ₂
	6.24	6.21	2.14
A ₂ 2.14	4.10 **	4.07 **	—
A ₁ 6.21	0.03 NS		
A ₃ 6.24	-	W = 0.625	

Horizonte B:

Para A ₁	B ₁	B ₂	B ₃	Establecer para cierto trata miento A. Establecer el nivel adecuado de B.
	1.27	1.11	0.83	
B ₃ 0.83	0.44 **	0.28 NS	-	
B ₂ 1.11	0.16 NS			
B ₁ 1.27	-	W = 0.43		

Para A ₂	B ₁	B ₂	B ₃
	0.55	0.50	0.49
B ₃ 0.49	0.06 NS	0.01 NS	
B ₂ 0.50	0.05 NS		
B ₁ 0.55	-	W = 0.43	

Para A ₃		B ₁	B ₂	B ₃
		2.15	1.71	1.48
B ₃	1.48	0.67 **	0.23 NS	-
B ₂	1.71	0.44 **	-	
B ₁	2.15	-	W = 0.43	

Cuadro para establecer la mejor enmienda:

		A ₃	A ₁	A ₂
		5.34	3.22	1.54
A ₂	1.54	3.80 **	1.68 **	-
A ₁	3.22	2.12 **		
A ₃	5.34	-	W = 0.20	

Cuadro para establecer el mejor nivel:

		B ₁	B ₂	B ₃
		3.98	3.32	2.80
B ₃	2.80	1.18 **	0.52 **	-
B ₂	3.32	0.66 **	-	
B ₁	3.98	-	W = 0.20	

C₃ Comparación Múltiple de Medias para
Valores de porcentaje de Sodio In
tercambiable:

Horizonte A:

Para A ₁	B ₁	B ₂	B ₃
	4.64	2.99	2.41
B ₃ 2.41	2.23 **	0.53 NS	-
B ₂ 2.99	1.65 NS	-	
B ₁ 4.64	-	W = 2.07	

Para A ₂	B ₁	B ₂	B ₃
	3	2.82	2.57
B ₃ 2.57	0.43	0.25	-
B ₂ 2.82	0.18	-	
B ₁ 3	-	W = 2.07	

Para A ₃	B ₁	B ₂	B ₃
	17.43	10.23	6.05
B ₃ 6.05	11.38 **	4.18 **	
B ₂ 10.23	7.2 **	-	
B ₁ 17.43	-	W = 2.07	

Para establecer el mejor A:

		A ₃	A ₁	A ₂
		33.70	10.04	8.39
A ₂	8.39	25.31 **	1.65 **	
A ₁	10.04	23.66 **	-	
A ₃	33.10	-	W = 1.38	

Para establecer mejor dosis B:

		B ₁	B ₂	B ₃
		25.07	16.04	11.00
B ₃	11.00	14.07 **	5.04 **	-
B ₂	16.04	9.03 **	-	
B ₁	25.07	-	W = 1.38	

Para establecer la mejor enmienda con el nivel 3:

Para B ₃		A ₃	A ₂	A ₁
		6.05	2.57	2.41
A ₁	2.41	6.64 **	0.16 NS	-
A ₂	2.57	3.48 **	-	
A ₃	6.05	-	W = 2.07	

Horizonte B.

Para A ₁	B ₂	B ₃	B ₁
	4.17	3.87	3.86
B ₁ 3.86	0.31 NS	0.01 NS	
B ₂ 3.87	0.30 NS	-	
B ₃ 4.17	-	W = 8.25	
Para A ₂	B ₁	B ₃	B ₂
	6.72	5.45	3.86
B ₂ 3.86	2.86 NS	1.59 NS	-
B ₃ 5.45	1.27 NS	-	
B ₁ 6.72	-	W = 8.25	
Para A ₃	B ₁	B ₂	B ₃
	59.29	29.75	17.27
B ₃ 17.27	42.02 **	12.48 **	
B ₂ 29.75	29.54 **	-	
B ₁ 59.29	-	W = 8.25	

Determinar la mejor enmienda:

	A ₃	A ₂	A ₁
	106.03	16.02	11.90
A ₁	11.90	94.13 **	4.12 NS
A ₂	16.02	90.01 **	-
A ₃	106.03	-	W = 5.50

VI.3.2 Discusión de Resultados:

Respecto a la variación de pH en:

A: Horizonte A:

- No hay interacción entre las enmiendas y sus niveles.
- Existe variación significativa entre las enmiendas.
- La mejor enmienda respecto al pH es el H₂SO₄.
- No existe variación significativa entre los niveles de H₂SO₄ por lo que 16 Meq/100 g es el nivel más recomendable.
- No existe diferencia significativa entre la aplicación de (NH₄)₂SO₄ y CaSO₄, ni entre sus niveles, por lo que 16 meq/100 g de cualquiera de ambos, representa la segunda mejor enmienda.

b) Horizonte B:

- No hay interacción entre las enmiendas y sus niveles.
- Existe variación significativa entre las enmiendas.
- La mejor enmienda es el $H_2 SO_4$.
- No existe diferencia significativa en tre los niveles de $H_2 SO_4$, por lo que 16 meq/100g es el nivel más recomendable.
- No existe diferencia significativa en tre la aplicación de $(NH_4)_2 SO_4$ y $Ca SO_4$ ni entre sus niveles, por lo que --- 16 meq/100g de cualquiera de ambos representa la segunda mejor enmienda.

c) Perfil Completo:

- La mejor enmienda es 16 meq/100 g de - $H_2 SO_4$.

VI.3.2.2 Respecto a las variaciones de conductividad eléctrica:

a) Horizonte A:

- No hay interacción entre las enmiendas.
- Existe variación significativa entre las enmiendas y sus niveles.
- La mejor enmienda es el $(NH_4)_2 SO_4$.
- No existe diferencia significativa en tre sus niveles, por lo que 16 meq/100 g es el nivel más recomendable.

-No existe diferencia significativa en tre la aplicación de $H_2 SO_4$ y $Ca SO_4$, ni entre sus niveles, por lo que --- 16 meq/100 g de cualquiera de ambos - representa la segunda mejor enmienda.

b) Horizonte B:

-Existe una interacción entre las enmiendas y sus niveles.

-La mejor enmienda es el $(NH_4)_2 SO_4$, - no existe variación significativa entre sus niveles por lo que 16 meq/100g es la más recomendable.

c) Perfil Completo:

-La mejor enmienda es el $(NH_4)_2 SO_4$ a un nivel de 16 meq/100 gr.

VI.3.2.3 Respecto a la variación del porcentaje de Sodio Intercambiable:

a) Horizonte A:

-La mejor enmienda es el $(NH_4)_2 SO_4$.

-No hay una variación significativa en tre sus niveles, por lo que 16 meq/100 g es la más recomendable.

-La segunda mejor enmienda es el $H_2 SO_4$ con un nivel de 32 meq/100 gr.

b) Horizonte B:

-No existe diferencia significativa en tre las enmiendas de $H_2 SO_4$ y $(NH_4)_2 SO_4$, ni entre sus niveles, por lo que -----

16 meq/100 g es la más recomendable
en cualquiera de ambos.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 Conclusiones.

VII.1.1 Respecto al problema actual a nivel nacional:

Los suelos salinos-alcalinos del país, tienen una relación directa con el clima y con las condiciones específicas - que se presentan localmente.

Los problemas actuales se deben a dos procesos; el primero es a una contaminación natural que ha existido durante muchos años y el otro, mas reciente, - causado por problemas artificiales, - propiciados por los programas de irrigación sin mayores estudios.

El problema a nivel nacional presenta repercusión de tipo económico, puesto que estas zonas cuentan con casi todos los recursos naturales óptimos para producir altos rendimientos.

Las áreas con problemas de salinidad o sodicidad tienen buenas alternativas, en lo referente a su utilización potencial, pues el único problema que se - presenta es la concentración de sales y la presencia del elemento sodio; pues to que los otros nutrientes se encuentran casi siempre a niveles altos o muy al - tos.

VII.1.2 Respecto al ensayo de Laboratorio:

Los tipos de enmienda presentaron buenas respuestas, aún en los niveles mas bajos.

En el problema de los suelos salino sódicos, las enmiendas químicas son indispensables. El problema toma niveles de importancia hasta en la alteración de las propiedades físicas de los suelos. Se da el caso que, sin disminuir los niveles de humedad disponibles, se logra un aumento considerable del espacio aéreo indispensable para toda actividad aeróbica, indispensable para el desarrollo de la mayoría de las plantas.

Los niveles utilizados en el ensayo fueron ligeramente altos pero con la tendencia de las curvas de cada tipo y tratamiento, se lograron establecer los niveles mas adecuados para cada tipo y nivel de enmienda.

El problema de suelos salinos o salino-sódicos no se presentó únicamente en las zonas áridas o zonas con déficit de humedad, sino que también suele estar asociado a zonas de actividad hidrotermal, comunes en las áreas vecinas o dentro del cinturón volcánico. *

* Observaciones realizadas en los estudios hidrogeológicos efectuados a nivel nacional por instituciones del Estado.

El material geológico como las condiciones hidrogeológicas, tienen una repercusión directa en la formación de la mayor parte de los suelos salino-sódicos del país.

Sea por el contenido mineralógico, como por las condiciones y actividades que se pueden manifestar a nivel local.

La enmienda mas efectiva parece ser una mezcla de sulfato de amonio y ácido sulfúrico, debido al poder de desplazamiento de las sales de sodio que posee el ión amonio y el ácido sulfúrico que, por un lado, es una de las fuentes mas acidificante y la facilidad de convertir dicha enmienda. Otros compuestos -- equivalentes, tal es el caso de la flor de azufre. (Ver anexo)

VII.2 Recomendaciones.

VII.2.1 Respecto al problema actual a nivel nacional:

Es necesario realizar estudios mas detallados sobre este tipo de suelos, pues los mismos presentan en la mayoría de los casos, propiedades favorables para producir altos rendimientos con la única restricción de las sales y el sodio.

Todos los distritos de riego deben contar con estudios detallados de los niveles de sales y sodio presentes en el -

suelo como también de las características del subsuelo y de las aguas que se utilizan para irrigación.

Debe existir un programa específico para efectuar la rehabilitación de estas zonas con problemas, ya que representan una buena cantidad de terreno que podría llegar a ser mas productivo.

Para el estudio de este tipo de suelos, deben considerarse otros criterios además de los que normalmente son empleados en los estudios de suelos que comúnmente son llevados a cabo por distintas personas e instituciones.

Los estudios pedogenéticos de estos suelos deben de considerar una serie de -
ciencias para una clasificación mas precisa, en especial serían, la hidrogeología y la hidrogeoquímica.

VII.2.2 Respecto a los ensayos y análisis realizados sobre los suelos de Placetas:

Es necesario realizar más estudios sobre el problema que presentan estos --
suelos, inclusive se podría probar otro tipo de enmiendas que tengan el poder de desplazar las sales y neutralizar la alcalinidad del pH.

Deben efectuarse evaluaciones con plantas sensibles a las sales y el sodio, para corroborar la efectividad de las

enmiendas y sus niveles, pudiéndose empezar con la plantación de cultivos sensibles a nivel de invernadero, sobre muestras ya tratadas.

El problema que específicamente se presenta en las áreas de Placetas y Amapala, necesita de obras de drenaje para evacuar las aguas que circulan e inun-dan los suelos, como también se deben canalizar las emergencias de agua salina-sódica y caliente que brota en los alrededores del lugar.

Después de estar construídas las obras de drenaje, se podría recomendar riego con aguas de buena calidad para que desplace parte del agua salada que existe en el suelo, y luego aplicar las enmiendas mas recomendables, como podría ser flor de azufre y fertilizaciones con sulfato de amonio, manteniendo siempre un abastecimiento de agua para lixiviar las sales desplazadas del coloide del suelo.

A.3 Respecto al porcentaje de Sodio Intercambiable

Trat.	Repeticiones			Yi...
1	3.52	5.01	5.4	13.93
2	3.50	2.50	2.97	8.97
3	2.23	3.05	1.94	7.22
4	3.04	2.98	2.98	9.00
5	2.82	2.60	3.04	8.46
6	2.59	2.52	2.61	7.72
7	19.84	16.12	16.32	52.28
8	10.78	8.83	11.07	30.68
9	6.86	4.65	6.64	18.15
10	56.87	55.45	52.79	165.11
			Yi...	321.52

Trat.	Repeticiones			Yi..
1	3.88	3.82	3.87	11.58
2	4.88	3.70	3.93	12.51
3	4.19	3.62	3.81	11.62
4	4.97	8.13	7.05	20.15
5	3.64	3.64	4.31	11.59
6	3.80	4.37	8.14	16.31
7	56.68	62.39	58.79	177.86
8	34.59	18.88	35.77	89.24
9	18.00	19.06	14.74	51.8
10	108.14	115.56	114.72	338.42
			Yi..	741.08

VIII BIBLIOGRAFIA

1. ACEVES, E. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, 1979. - 40 p.
2. AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL, (AID). Sistema práctico para el mejoramiento de los suelos salinos y salino-sódicos. s.n.t. 25 p.
3. ALVAREZ, V. y MELGAR, M. Diseños experimentales. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, 1981. 38 p.
4. ALLISON, L. et al, Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Trad. por N. Sánchez Durán et al, México, L.A. Richards, 1963. 172 p.
5. AYERS, R.S. y WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. s.c. FAO, Irrigation and drainage paper No. 29, 1976. 82 p.
6. CHAPMAN, H y PRATT, P. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. México, Trillas, 1972. 150 p.
7. CHRISTIANSEN, J. Salinidad. Costa Rica, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, s/f 21 p.
8. DUCHAUFOR, R. Manual de edafología. España, Toray Masson, 1975. 400 p.
9. FASSBENDER, H. Química de suelos con énfasis en los suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1975. 398 p.
10. FLORES MATA, G. Metodología para el informe de un estudio agrológico especial de salinidad y drenaje agrícola. México, Dirección General de Estudios, 1973. 60 p.
11. FRANCO, E. La rehabilitación de tierras empantanadas y/o salinas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1976. 75 p.
12. ----- El proceso de rehabilitación de tierras empantanadas y/o salinas en la costa del Perú. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1976. 69 p.

13. GRANDE, C. Drenaje subterráneo como medio de saneamiento de los suelos salinos y alcalinos. Andalucía, -- España, Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo - Agrario, s/f. 100 p.
14. LLARENA, V.A. Definición óptimo económica del tamaño de muestras e intensidad de lavado para los suelos con problemas de sales. México, Secretaría de Agricultura y Operación, 1977. 130 p.
15. MAAS, E.V. y HOFFMAN. Tolerancia de los cultivos a la sal. (Crop Salt tolerance). Trad. Morán G. México, Dirección General de Distritos de Riego, 1977. - 43 p.
16. MAZARIEGOS, F. Estudio detallado de suelos y reconocimiento agrológico general para irrigación del valle de Asunción Mita, Jutiapa. Guatemala, Dirección de Recursos Naturales Renovables, 1965. 206 p.
17. PALACIOS, O. Teorías recientes sobre el lavado de los suelos salinos. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, s/f. 18 p.
18. PERDOMO, R. y HAMPTON. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala, Universidad de San Carlos, 1970. 366 p.
19. SIMMONS, CH. TARANO, J. y PINTO, J. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. por P. Tirado-Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra, 1959. 419-442 p.
20. THORNE y PETERSON. Técnica del riego, fertilidad y explotación de los suelos. México, CECSA, 1981. 260 p.

V. B.
Ch. Ramirez

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. CÉSAR A. CASTANEDA S.
D E C A N O