

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.  
FACULTAD DE AGRONOMIA

"EVALUACION DE ENMIENDAS DE SUELOS EN PROCESO DE  
SODIFICACION, EN EL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA, BAJO  
CONDICIONES DE CAMPO"

TESIS

Presentada a la Honorable Junta Directiva

de la

Facultad de Agronomía

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

EDWARD AMED NORIEGA AVILA

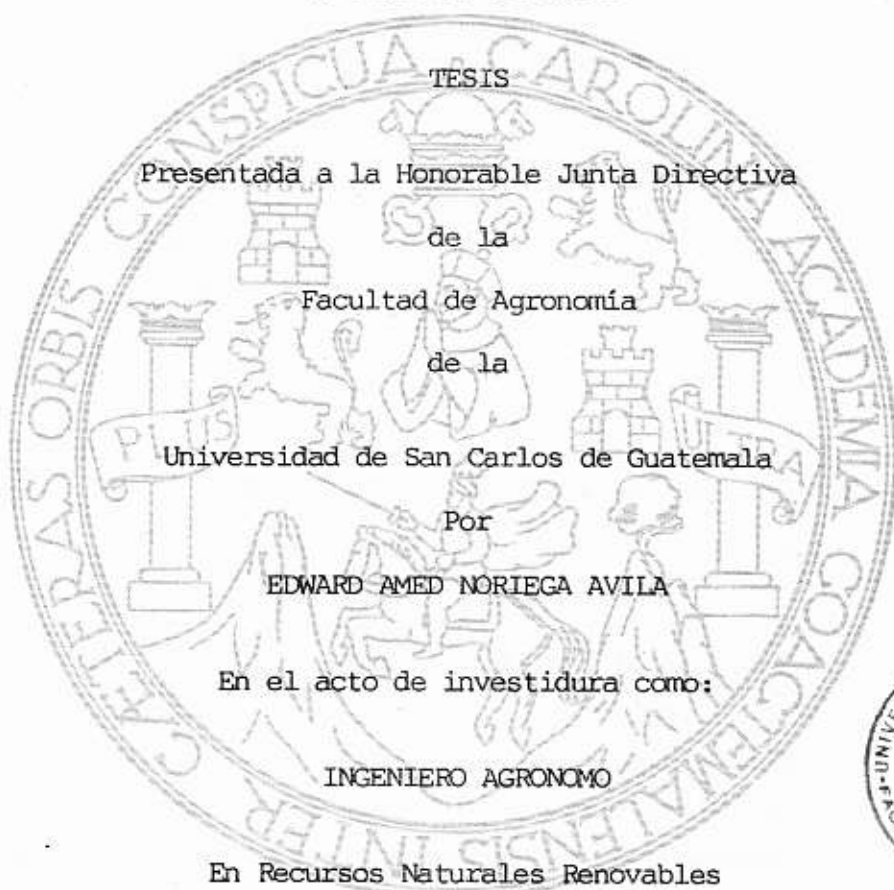
En el acto de investidura como:

INGENIERO AGRONOMO

En Recursos Naturales Renovables

En el grado académico de Licenciado

Guatemala, septiembre de 1990.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. Alfonso Fuentes Soria

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Anibal B. Martínez M.
Vocal Primero:	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Mendez G.
Vocal Segundo:	Ing. Agr. Efraín Medina Guerra
Vocal Tercero:	Ing. Agr. Wotzbelí Méndez Estrada
Vocal Cuarto:	P. A. Hernán Perla Gonzalez
Vocal Quinto:	P. A. Marco Tulio Santos
Secretario:	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio

Guatemala,  
12 de septiembre de 1990.

Honorable Junta Directiva  
Facultad de Agronomía  
P R E S E N T E

Señores Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado

"EVALUACION DE ENMIENDAS DE SUELOS EN PROCESO DE SODIFICACION, EN EL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA, BAJO CONDICIONES DE CAMPO".

Presentándolo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo tenga su aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente,

  
EDWARD ANED NORIEGA AVILA  


ACTO QUE DEDICO.

A MIS PADRES:

Angel G. Noriega Muñoz.  
(Q.E.P.D.)  
Elia Santos Avila Vda. de  
Noriega

A MIS HERMANOS:

Vicky, Gilberto, Edelmira,  
Elida, Modesto, Leopoldo, Angel,  
Anabella, Enrique, Leonel y  
Maribel.

A MIS CUÑADOS:

Lili, Eduardo, Oscar, Nuvia,  
Pepe y Silda.

A MIS SOBRINOS:

Silvita, Kelvin, Angel Eduardo,  
María de Lourdes, Elia María y  
Ana Alejandra.

A MIS TIOS Y PRIMOS.

A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION:

Saúl Pérez, Alfonso Soria,  
Leonardo Velásquez, Leonel  
Castañeda, Leonel López, Nery  
Aroche, Antoniel Maldonado,  
Erick Véliz, Otto Salguero y  
Herbert Allara.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO.

TESIS QUE DEDICO.

A: DIOS TODO PODEROSO.

A: GUATEMALA.

A: LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

A: LA FACULTAD DE AGRONOMIA.

A: TODOS LOS AGRICULTORES DE GUATEMALA.

## AGRADECIMIENTO

Quiero patentizar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de cualquier manera contribuyeron a la realización de éste trabajo; especialmente:

- A: El Ingeniero Agrónomo VICTOR ROLANDO ARAGON CASTILLO, que con mucha experiencia dio asesoría.
- A: El Ingeniero Agrónomo CARLOS ROBERTO SETT OLIVA, por la ayuda brindada durante la fase de campo.
- A: Los Señores compañeros de trabajo Ladislao Reyes y Mario Cabrera, por la ayuda desinteresada brindada durante la fase de campo.
- A: Las Empresas CAPCO. S.A. y Suministros Industriales y Agrícolas S.A. (SINASA), por el aporte de material experimental, Sulfato de Calcio y Azufre Elemental, respectivamente necesario para el desarrollo del trabajo.
- A: Mis Padres y Hermanos, especialmente a Antulio Gilberto, por la ayuda y orientación brindada durante el desarrollo de la carrera y ejecución del Trabajo.
- A: La Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA), Región III, por la cooperación dada al ceder el área experimental en el Distrito de Riego No. 3, La Fragua, Zacapa.
- A: La Familia GONZALES PACHECO, especialmente a Doña LOLY, por el apoyo dado durante la ejecución del Trabajo.

## INDICE GENERAL

	Pag.
INDICE DE GRAFICAS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCION	1
II. HIPOTESIS	3
III. OBJETIVOS	4
IV. REVISION DE LITERATURA	5
A. CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS SALINO - SODICOS	5
B. METODOS DE RECUPERACION	5
C. ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA SALINIDAD DEL SUELO EN EL VALLE DE LA FRAGUA	10
D. ESTUDIOS SOBRE REHABILITACION DE SUELOS SALINO Y/O SODICOS EN GUATEMALA	11
E. TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS AL SODIO INTERCAMBIABLE	13
V. MATERIALES Y METODOS	15
A. DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL	15
B. METODOLOGIA	20
1. Diagnóstico	20
a. Fase de gabinete	20
b. Fase de campo	20
c. Fase de laboratorio	21
2. Ensayo	23
a. Fase de campo	23
b. Fase de laboratorio	28
3. Análisis de resultados	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	30
A. DEL ANALISIS DEL SUELO	30
1. Del diagnóstico	30
2. Del muestreo final	35

	Pag.
B. DEL ENSAYO DE CAMPO	38
1. Respuesta química a los diferentes tipos de enmienda	38
2. Respuesta química a los diferentes niveles de enmienda	40
3. Respuesta física a las diferentes enmiendas	47
C. RESPUESTA DEL CULTIVO INDICADOR A LAS DIFERENTES ENMIENDAS	52
1. Análisis estadístico de las manifestaciones de desarrollo	52
2. Interpretación de las manifestaciones cualitativas y rendimiento	55
VII. CONCLUSIONES	58
VIII. RECOMENDACIONES	60
IX. BIBLIOGRAFIA	61
X. ANEXO	63

## INDICE DE GRAFICAS

	Pag.
1. Diagrama de análisis químico de agua del canal principal	7
2. pH y concentración de cationes, agua de canal principal	8
3. RAS y concentración de aniones, agua de canal principal	9
4. Balance hídrico, estación La Fragua	19
5. Velocidad de infiltración en suelo problema	34
6. Variación de pH con respecto a dosis de enmienda	41
7. Variación de C.E. con respecto a dosis de enmienda	43
8. Variación de PSI con respecto a dosis de enmienda	44
9. Relación de C.E. y PSI con respecto a la enmienda	45
10. Relación del pH con respecto al PSI	46
11. Porcentaje de humedad respecto a la tensión de humedad	48
12. Velocidad de infiltración en suelo enmendado	51
13. Curva granulométrica del horizonte A	69
14. Curva granulométrica del horizonte B	70
15. Curva granulométrica del horizonte BC	71
16. Curva granulométrica del horizonte C	72
17. Parámetros del análisis granulométrico	73

## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
1. Area experimental y distribución de la salinidad	16
2. Delimitación de unidades experimentales	25
3. Croquis del diseño experimental	26

## INDICE DE CUADROS

	Pag.
1. Análisis químico de agua de riego del Distrito de Riego No. 3	6
2. Datos climáticos, estación La Fragua	17
3. Balance hídrico, estación La Fragua	18
4. Análisis de suelos	22
5. Identificación de tratamientos	25
6. Características físicas de suelo problema	31
7. Características químicas de suelo problema	31
8. Descripción de perfil de suelo problema	32
9. Velocidad de infiltración en suelo problema	33
10. Características físicas de suelo enmendado	36
11. Características químicas de suelo enmendado	37
12. Descripción de perfil de suelo enmendado	49
13. Datos de infiltración en suelo enmendado	49
14. Cálculos de velocidad de infiltración	50
15. Obtención del modelo de Kostiakow-Lewis	50
16. Análisis de varianza con testigo para largo de hoja	53
17. Análisis de varianza con testigo para ancho de hoja	53
18. Análisis de varianza con testigo para altura de planta	53
19. Análisis de varianza con testigo para rendimiento	54
20. Análisis de varianza sin testigo para largo de hoja	54
21. Análisis de varianza sin testigo para altura de planta	56
22. Análisis de varianza sin testigo para acho de hoja	56
23. Análisis de varianza sin testigo para rendimiento	57
24. Análisis de tamizado del horizonte A.	65

25. Análisis de tamizado del horizonte B	66
26. Análisis de tamizado del horizonte BC	67
27. Análisis de tamizado del horizonte C	68

"EVALUACION DE ENMIENDAS DE SUELOS EN PROCESO DE SODIFICACION,  
EN EL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA, BAJO CONDICIONES DE CAMPO".

"EMENDATION TEST ABOUT SODIUM SOIL PROCESS IN LA FRAGUA, ZACAPA  
VALLEY, UNDER FIELD'S CONDITION".

#### RESUMEN.

Debido a que la salinidad y sodicidad afecta la capacidad actual y potencial del suelo, se consideró la necesidad de evaluar enmiendas para su recuperación en el Valle de La Fragua, Zacapa y así ponerlo a disposición para la planificación de prácticas de control del suelo afectado por esos factores.

Para este caso se utilizaron los productos químicos sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) y azufre elemental ( $\text{S}_2$ ), en dosis de 3.5, 7.0 y 10.5 meq/100g de suelo. Se utilizó también como cultivo indicador Sorghum vulgare L. para ubicar la distribución del problema dentro del área experimental, y determinar la influencia de las enmiendas sobre las manifestaciones de desarrollo y rendimiento del cultivo.

El estudio se efectuó en un área representativa del problema en el Valle de La Fragua, Zacapa, situada a 95 m hacia el norte de las Instalaciones Administrativas del Distrito de Riego No. 3.

Evaluando los resultados, a partir del mejoramiento de las características físicas y químicas del suelo y la respuesta del cultivo indicador, se determinó que el sulfato de calcio es el de mejor respuesta aplicado al voleo y en dosis de 7.0 meq/100gr de suelo, completando con láminas de lavado para facilitar la evacuación de sales desplazadas fuera del área afectada.

## I. INTRODUCCION

Los suelos de las regiones áridas y semiáridas del país son potencialmente aptos para la producción agrícola; sin embargo, debido a la deficiencia de humedad ha sido necesario la utilización de agua de riego para explotar dicho potencial en la época de sequía.

Año con año ha venido utilizándose el riego en estas regiones sin hacerse un manejo adecuado de los suelos y del agua, provocando deterioro en cuanto a las propiedades físicas y químicas.

La salinidad y las altas concentraciones de sodio han influido siempre en la poca productividad de las tierras de cultivo, siendo un problema que aqueja seriamente a la agricultura y que hay que afrontar decididamente.

Actualmente en el Valle de La Fragua existen áreas donde es evidente la acumulación de sales solubles y sodio intercambiable, lo que constituye un factor limitante para la producción, ya que debido a dicha acumulación estos suelos han adquirido características físicas y químicas desfavorables.

Si se pretende que la tierra responda generosamente a los esfuerzos del hombre por conseguir sus frutos, debe tenerse en cuenta que el suelo puede ser afectado por las sales y el sodio y en este caso hay que preocuparse por su rehabilitación. Se han hecho algunos estudios sobre esta situación en áreas problema, como Placetas y Amapala en Asunción Mita, Jutiapa; sin embargo, la tecnología generada no es generalizada para todo el país por la diversidad de condiciones, tanto de suelo como de clima. Por esta situación es importante que se genere una tecnología para rehabilitación de suelos problema, propia para cada área o región del país.

El presente estudio ayudará a este propósito. Los suelos a que particularmente se refiere son aquellos que se encuentran en un proceso de sodificación, los cuales implican un problema que requiere medidas especiales y prácticas adecuadas de manejo.

Teniendo en cuenta que la enmienda química es el método más adecuado para la rehabilitación de suelos afectados por acumulación de sodio intercambiable, efectuando el desplazamiento de éste en el complejo de intercambio, se utilizó el azufre elemental ( $S_2$ ) y sulfato de calcio ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), para determinar cual de ellas tiene mayor efectividad en la recuperación. El estudio se efectuó de mayo de 1988 a julio de 1989 en una parcela experimental, situada 95 metros hacia el norte de las Oficinas Administrativas del Distrito de Riego No. 3, en el área del Valle de La Fragua, Zacapa, donde el problema ha adquirido importancia.

Se evaluaron los resultados desde el punto de vista del mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo al final del ensayo, teniendo como referencia los observados durante el diagnóstico del suelo. También se evaluó la respuesta biológica del Sorgo (Sorghum vulgare L.) a las diferentes enmiendas.



## III. OBJETIVOS.

- A. Contribuir en la rehabilitación de suelos con problemas de Sodio intercambiable, para que puedan ser utilizados en la producción agrícola.
- B. Generar información científica y técnica sobre rehabilitación de suelos sódicos del área del Valle de La Fragua, Zacapa.
- C. Determinar el tipo y nivel de aplicación de enmiendas químicas conteniendo azufre en las formas de azufre elemental y sulfato de calcio.
- D. Evaluar la respuesta biológica del Sorgo (Sorghum vulgare L.) a las diferentes enmiendas.

## IV. REVISION DE LITERATURA

## A. CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS SALINO - SODICOS.

Se han establecido ciertos límites para evaluar el efecto de las sales solubles y sodio sobre los cultivos. En el Laboratorio de Salinidad de Riverside, se han establecido tres grupos para los suelos que presentan problema de salinidad y/o sodio intercambiable (2). Estos suelos son salinos, sódicos y salino-sódicos.

El término salino se aplica a suelos cuya conductividad eléctrica del extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm a 25 °C, con un porcentaje de sodio intercambiable (PSI), menor de 15. Generalmente el pH es menor de 8.5 .

Los suelos salino-sódicos son aquellos cuya conductividad eléctrica del extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm a 25° C y el PSI, es mayor de 15. Este tipo de suelos se forma como resultado de los procesos combinados de salinización y acumulación de sodio. El pH es mayor de 8.5.

Los suelos sódicos son aquellos cuyo PSI, es mayor de 15. Y la conductividad eléctrica del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25° C. El pH generalmente varía entre 8.5 y 10.

De acuerdo con un estudio efectuado preliminarmente en el área experimental, estos suelos presentan las características físicas y químicas que se describen en los Cuadros 5 y 6. Estos suelos se encuentran en un proceso de sodificación por cuanto se encontró que la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25° C. El PSI es ligeramente superior a 14 y el pH ligeramente superior a 8.5 para la capa superficial.

## B. METODOS DE RECUPERACION.

Los métodos de recuperación tienen como objetivos principales, el mejorar la permeabilidad del suelo y propiciar el intercambio del calcio por el sodio en el complejo de intercambio.

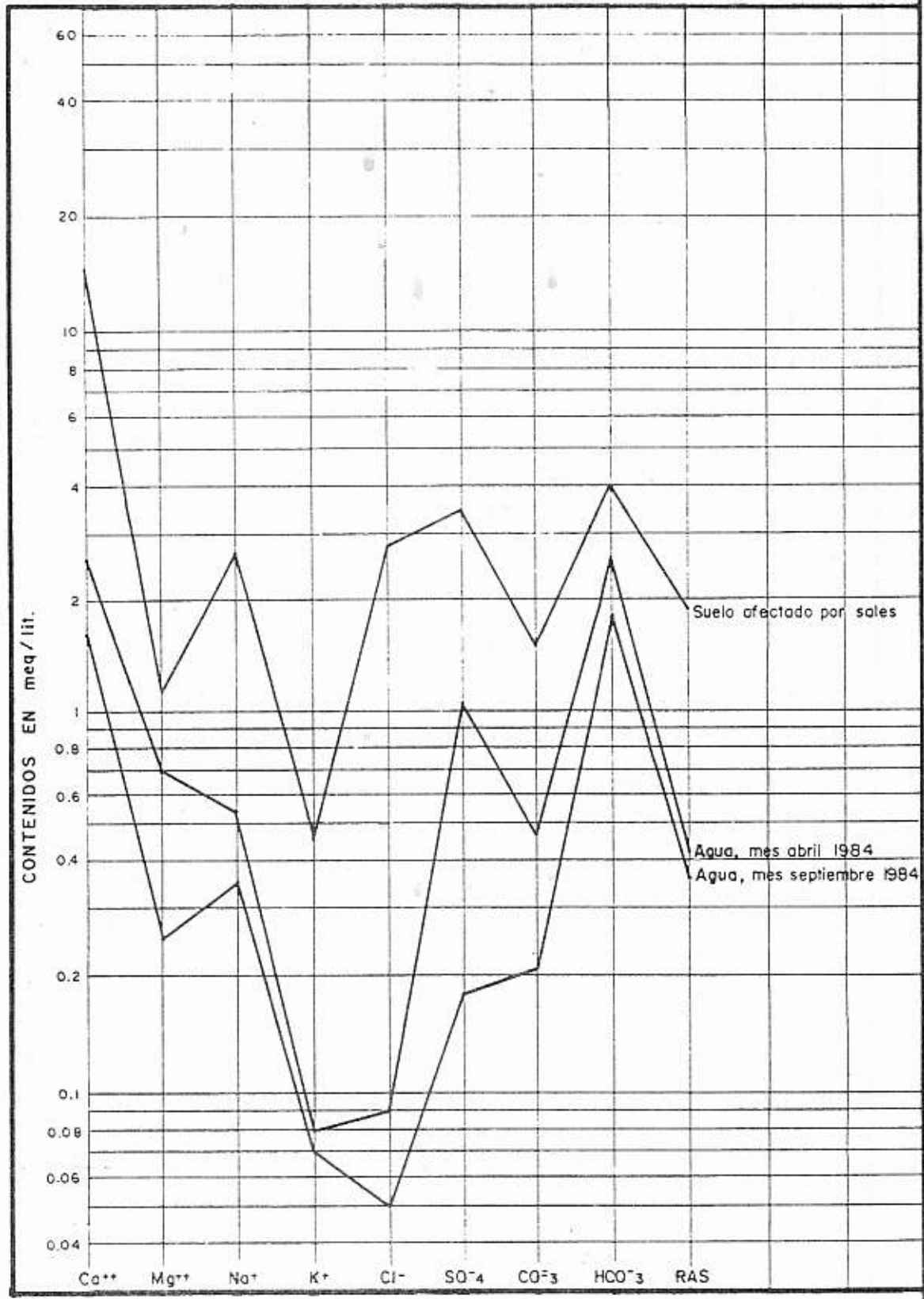
Para asegurar una permeabilidad permanente y la eliminación de

CUADRO 1: ANALISIS QUIMICO DE AGUA DEL CANAL PRINCIPAL. DISTRITO DE RIEGO No. 3

ANALISIS \ FECHA	20-02-84	15-03-84	23-04-84	23-05-84	22-06-84	23-07-84	22-08-84	24-09-84	26-10-84	27-11-84	21-12-84	21-01-85
C.E. x 10 <sup>6</sup> a 25°C	296.60	329.00	345.80	259.00	216.00	167.00	223.00	223.00	288.00	231.00	262.00	281.00
pH	8.04	8.13	7.99	7.48	7.78	7.84	8.00	7.82	8.15	8.23	8.18	8.05
Ca <sup>++</sup> meq/lit.	2.33	2.10	2.57	1.70	1.38	1.49	1.49	1.60	1.49	1.60	1.60	1.94
Mg <sup>++</sup>	0.66	0.62	0.70	0.45	0.36	0.47	0.57	0.25	1.08	0.66	0.77	0.55
Na <sup>+</sup>	0.54	0.52	0.54	0.32	0.31	0.24	0.34	0.35	0.46	0.33	0.42	0.37
K <sup>+</sup>	0.08	0.06	0.08	0.12	0.09	0.08	0.07	0.07	0.14	0.07	0.06	0.06
Σ CATIONES	3.61	3.30	3.89	2.59	2.14	2.28	2.47	2.27	3.77	2.66	2.85	2.92
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq/lit.	0.70	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.15	0.20	0.41	0.41
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.75	2.72	2.59	2.24	1.96	1.72	2.09	1.90	2.56	2.13	2.31	2.31
Cl <sup>-</sup>	0.09	0.08	0.09	0.13	0.10	0.12	0.26	0.05	0.06	0.13	0.09	0.00
Σ ANIONES	3.29	3.80	4.20	2.87	2.29	2.00	2.68	3.79	3.46	2.24	3.46	3.19
SE	0.84	0.50	1.14	0.72	0.55	0.56	0.62	1.94	0.89	0.68	1.07	0.70
SP	0.46	0.58	0.61	0.38	0.21	0.29	0.42	0.54	0.40	0.37	0.40	0.22
RAS	0.44	0.45	0.42	0.31	0.33	0.24	0.34	0.36	0.41	0.31	0.39	0.33
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.75	0.99	1.05	0.50	0.23	0.17	0.33	0.18	0.69	0.48	0.66	0.41
CSR	0.54	0.00	0.00	0.09	0.22	0.24	0.03	0.91	0.14	0.07	0.31	0.26
PSP	64.30	89.65	47.37	44.44	56.36	75.00	54.84	18.04	51.68	48.53	39.25	52.86

FUENTE: Fernandez, C. (8).

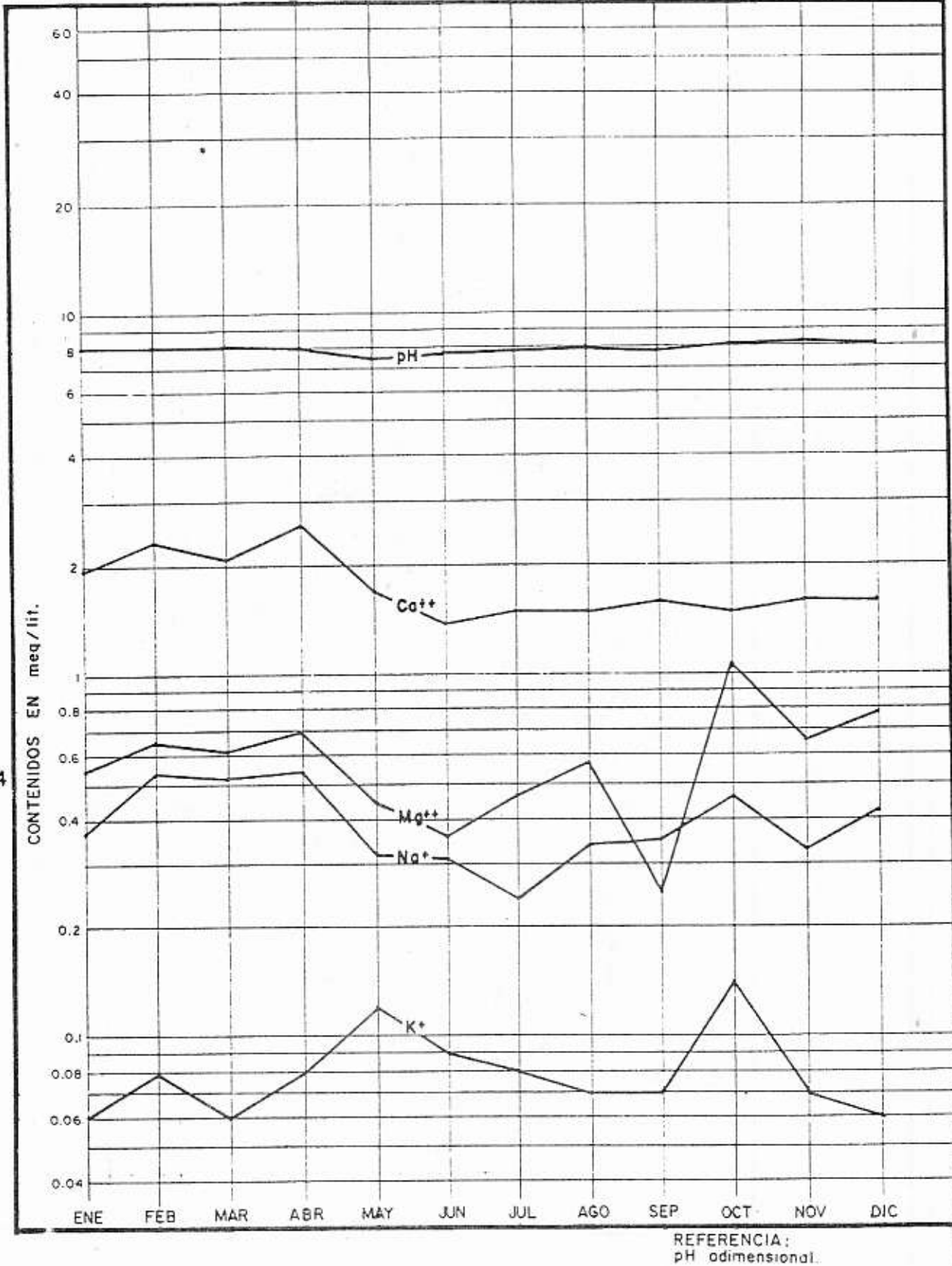
DIAGRAMA  
SCHOELLER  
Y  
BERKALOFF



GRAFICA 1: DIAGRAMA DE ANALISIS QUIMICO DE AGUA DEL CANAL PRINCIPAL, DISTRITO DE RIEGO No. 3

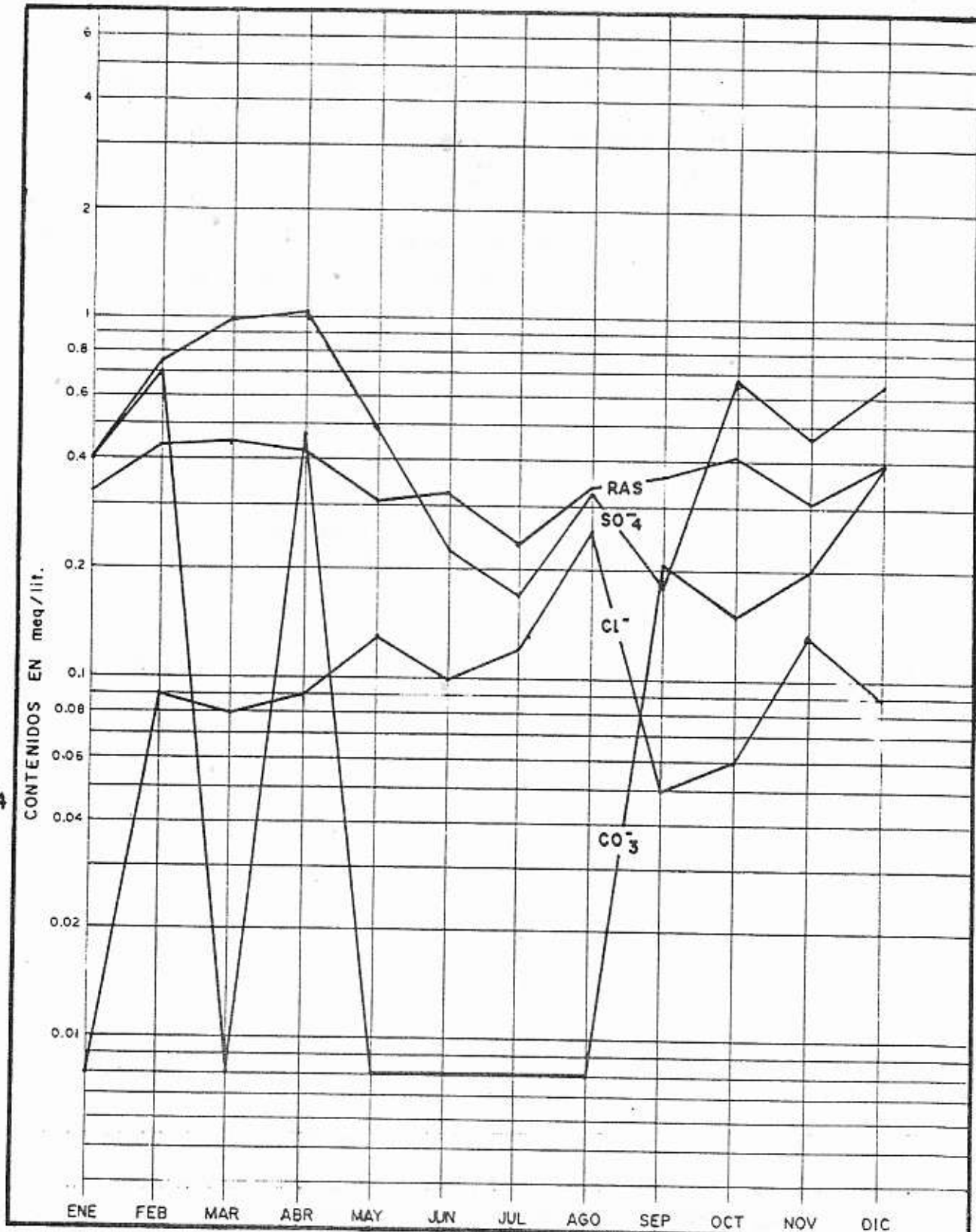
VARIACION ANUAL

1984



GRAFICA 2 : pH Y CONCENTRACION DE CATIONES, AGUA DEL CANAL PRINCIPAL. DISTRITO DE RIEGO No. 3

VARIACION  
ANUAL  
1984



GRAFICA 3: RAS Y CONCENTRACION DE ANIONES DEL AGUA DEL CANAL PRINCIPAL. DISTRITO DE RIEGO No. 3

elementos que pueden ser tóxicos para los cultivos, los métodos que se pueden aplicar son químicos, físicos e hidrotécnicos.

Los métodos químicos se usan fundamentalmente en la recuperación de suelos sódicos y consisten en agregar sustancias al suelo con la finalidad de solubilizar el calcio existente en el suelo y propiciar el intercambio catiónico y la sustitución del sodio por el calcio en el complejo de intercambio, con el fin de lograr la floculación de los coloides (6) .

### C. ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA SALINIDAD DE SUELO EN EL VALLE DE LA FRAGUA.

El desarrollo y mantenimiento de un buen proyecto de irrigación comprende además de la provisión adecuada de agua, el control de la salinidad. La calidad del agua, las prácticas de riego y las condiciones de drenaje son aspectos importantes en el control de la salinidad y exceso de sodio (6) .

Fernandez (7), en 1984, hizo un análisis de agua del canal principal del Distrito de Riego de La Fragua, Zacapa, en el cual se reporta una conductividad eléctrica de 345 micromhos / cm y una relación de adsorción de sodio menor de 0.5, clasificándosele como C2-S1; sin embargo, esta condición es variable, por cuanto que durante el año se dan valores de C.E. que varía de 167 a 346 micromhos /cm, siendo los menores correspondientes a los meses de mayo a septiembre (Cuadro 1).

En el diagrama de Schoeller y Berkalof, para el análisis químico de esta agua (Gráfica 1), puede verse que el sodio es un elemento del suelo, no aportado por el agua, ya que difieren en el comportamiento de igual manera los cloruros. El mes de mayor concentración salina corresponde a abril, mientras que el mes de septiembre es más diluida. En las gráficas 2 y 3, puede apreciarse el comportamiento de aniones y cationes a lo largo del año, siendo los meses de mayo a agosto los de menor concentración de Ca, Mg, Na, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>.

La eliminación del exceso de agua y sales del suelo es lo

primero que debe considerarse en cualquier proyecto de riego. En las regiones bajo riego las condiciones de drenaje están directamente relacionadas con la salinidad. Las sales en el agua de riego, en el suelo o en las aguas subterráneas aumentan las necesidades de drenaje (6). En el área experimental se ha observado que no existe drenaje superficial, lo cual es muy común en otras áreas del valle, especialmente en donde se dan las llamadas colas de riego, en las que después del riego son característicos los afloramientos de costras blancas, producto de la acumulación de sales solubles transportadas de los suelos bajo riego.

D. ESTUDIOS SOBRE REHABILITACION DE SUELOS SALINOS Y/O SODICOS EN GUATEMALA.

En 1983, Aragón Castillo (3), realizó un análisis de enmiendas de suelos salino-sódicos del área de Placetas a nivel de laboratorio, utilizando como mejoradores ácido sulfúrico, sulfato de calcio y sulfato de amonio. Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

1. Respuesta del ácido sulfúrico.

Presentó en general las mejores perspectivas, por ser de una reacción fuertemente ácida y además es la fuente que no aporta ningún elemento que cause problemas de ensalitramiento.

Logró reducir el pH a valores menores de 7.5; siendo suficiente 8 meq/100g para llevar el pH a valores aceptables. Al igual que el sulfato de amonio, el ácido sulfúrico fue el más efectivo en la reducción del porcentaje de sodio intercambiable, llevándolo a valores menores de 15 con dosis de 6 meq/100g.

2. Respuesta del sulfato de amonio.

Presentó buenas características, el único problema fue su poca eficiencia, respecto al pH, pues no logró reducirlo a valores menores de 8. El sulfato de amonio en desplazamiento de sales fue sin duda el más efectivo.

### 3. Respuesta del sulfato de calcio.

Presentó mediano desplazamiento del sodio, pues no alcanzó a bajar el PSI a valores menores de 15, a pesar del aporte de calcio que tiende a sustituir el sodio. El descenso de la conductividad eléctrica fue poco.

Por otra parte, en 1988, Eugorrola Girón (5), hizo una evaluación de enmiendas de suelos sódicos del área de Amapala, Asunción Mita, Jutiapa, bajo condiciones de invernadero, utilizando diferentes niveles de aplicación de ácido sulfúrico, sulfato de amonio y sulfato de calcio, así como diferentes láminas de lavado, reportando los resultados siguientes:

#### 1. Respuesta del pH a los diferentes niveles de enmienda.

El yeso logra reducir el pH en los volúmenes de lavado 15.8 y 7.6 lt en forma bastante aceptable. La dosis de 4 meq/100g es el nivel más efectivo.

La respuesta del sulfato de amonio con el mayor volumen de lavado y en las dosis de 4 y 8 meq/100g logra mantener también un pH aceptable, lo mismo que con el menor volumen de lavado las dosis de 2 y 4 meq/100g.

El ácido sulfúrico baja el pH hasta valores muy pequeños, aunque en el mayor volumen de lavado con 2 y 4 meq/100g produce un pH aceptable.

#### 2. Variación de la conductividad eléctrica en los diferentes niveles de enmienda.

Con la aplicación del mayor volumen de agua, se obtuvo una disminución de la concentración de sales hasta valores de 1.2 mmhos/cm. Al aplicar los productos químicos en dosis menores de 4 meq/100g se disminuye ligeramente la C.E.

#### 3. Respuesta del porcentaje de sodio intercambiable a los diferentes niveles de enmienda.

Todas las enmiendas logran bajar los valores del

porcentaje de sodio intercambiable, pero el ácido sulfúrico con el mayor volumen de lavado y una dosis de 8 meq/100g presentó la mejor respuesta, obteniendo un valor de 6.8, o sea que hubo sustitución y lixiviación del ión sodio.

#### 4. Variación del calcio intercambiable respecto a las enmiendas.

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

Con los tratamientos de sulfato de amonio conforme se incrementa la dosis, se observó disminución en el contenido de calcio.

### E. TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS AL SODIO INTERCAMBIABLE.

El sodio puede producir efectos directos e indirectos sobre los cultivos. Los efectos directos están ligados únicamente con el sodio soluble, el cual al rebasar ciertas concentraciones es tóxico para las plantas; pero la presencia de sodio en la solución del suelo está ligada íntimamente con la presencia de sodio intercambiable, ya que existe un equilibrio dinámico entre los iones solubles y los intercambiables (1). Los efectos indirectos del sodio sobre las plantas, se deben a que cuando en un suelo dado se rebasa un cierto porcentaje de sodio intercambiable, el suelo se vuelve impermeable al aire y al agua, se incrementa el pH de su solución a niveles tales que se tienen problemas de nutrición para las plantas, ya que muchos elementos se precipitan, como el Ca y el Mg, otros elementos pasan a formas químicas menos asimilables y en estas condiciones son limitantes para el desarrollo de las plantas (2).

Se ha observado a un costado del área experimental la presencia de cultivos cítricos, los cuales manifiestan un escaso

desarrollo, así como síntomas de deficiencia de nutrientes, lo cual está asociado a la presencia de sodio en el suelo, ya que este cultivo es sensible al ión sodio.

El cultivo establecido como indicador de áreas problemáticas (Sorghum vulgare L.), se manifestó con un desarrollo levemente deficiente, retraso de la época de floración con respecto a áreas no afectadas. El sorgo es un cultivo medianamente tolerante a la salinidad (10).

## V. MATERIALES Y METODOS

## A. DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL

## 1. Localización.

El ensayo de enmiendas químicas se llevó a cabo en el Valle de La Fragua, Zacapa a 95 m hacia el norte de las Oficinas Administrativas del Distrito de Riego No. 3 (Figura 1).

Según De La Cruz (4), el Valle está comprendido dentro de la zona de vida Monte Espinoso Sub-Tropical. La vegetación natural está representada por la mayoría de especies de tipo espinoso y se presenta disgregada con mucho espacio claro.

Su posición geográfica es de  $14^{\circ} 57'$  Latitud Norte y  $89^{\circ} 35' 04''$  Longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

## 2. Características climáticas.

El valle se encuentra a una altura de 210 msnm. En el cuadro 2 se resumen los datos climáticos de los años 1977-1986, de la Estación La Fragua del INSIVUMEH (8), mediante los cuales se calculó el déficit hídrico, por el método de THORNT-WHAITE, que se presenta en el cuadro 3 y la gráfica 4. Las características climáticas son las siguientes:

## a. Precipitación Pluvial.

Esta es de 665 mm anuales promedio, con una media de 83.6 días de lluvia al año. Esta zona es la que cuenta con la menor precipitación dentro del país.

## b. Temperatura.

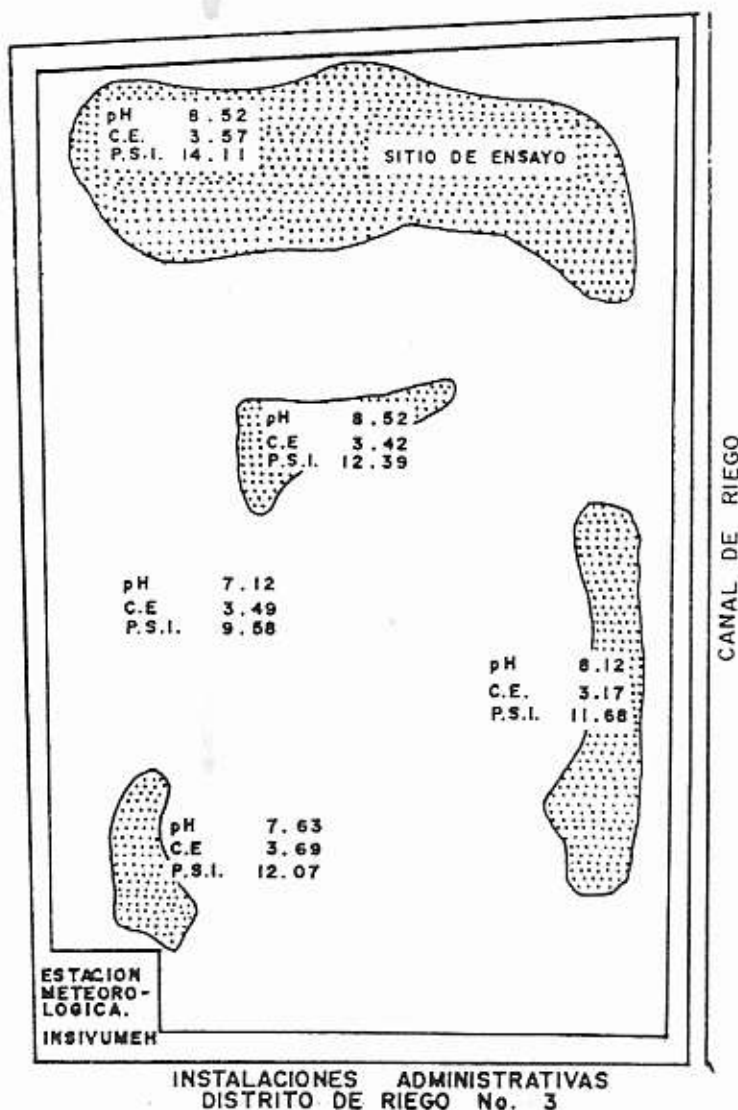
La máxima promedio es de  $28.2^{\circ} \text{C}$ , la media mínima es  $17.8^{\circ} \text{C}$  y la media de  $26.25^{\circ} \text{C}$ .

## c. Humedad Relativa.

Oscila entre un máximo de 97.7% y un mínimo de 26.8%, la media es de 68.8%.



VIA FERREA



## REFERENCIA:



-  Presencia de sales
  -  Ausencia de sales
- ESCALA 1:750

FIGURA 1: AREA EXPERIMENTAL Y DISTRIBUCION DE LA SALINIDAD.

CUADRO 2: DATOS CLIMATICOS, ESTACION LA FRAGUA (1977-1986)

MES	TEMPERATUR	P. P.	EVAPORAC.	INSOLACION	% H.R
ENE	24.25	3.00	201.00	267.00	68
FEB	24.50	3.00	215.00	276.10	64
MAR	27.50	6.50	288.00	289.40	62
ABR	28.20	17.20	294.00	272.00	59
MAY	28.50	64.00	177.00	240.70	60
JUN	26.75	146.00	201.00	221.80	78
JUL	26.70	114.00	174.00	203.60	78
AGO	26.50	103.50	222.00	266.30	70
SEP	26.50	136.00	213.00	228.00	68
OCT	26.50	37.00	230.00	235.60	61
NOV	25.50	9.00	222.00	263.00	59
DIC	24.75	9.50	204.00	234.20	63

FUENTE: INSIVUMEH ( 8 ).

CUADRO 3: BALANCE HIDRICO, ESTACION LA FRAGUA (1977-1986)

MES	T(°C)	i	EVTP mm	P.P. mm	FACT	EVpot mm	DIF	EVTPr mm	REC mm	EXC mm	DEF mm
ENE	24.85	10.92	105.29	3.00	1.07	112.66	-109.66	3.00	00.00	00.00	127.72
FEB	24.50	11.09	99.95	3.00	1.11	110.94	-107.94	3.00	00.00	00.00	107.94
MAR	27.50	13.21	152.71	6.50	1.16	177.14	-170.64	6.50	00.00	00.00	170.64
ABR	28.20	13.72	167.47	17.00	1.09	182.54	-165.54	17.00	00.00	00.00	165.54
MAY	28.50	13.94	174.10	64.00	0.96	167.14	-103.14	64.00	00.00	00.00	103.14
JUN	26.75	12.67	137.98	145.00	0.89	122.88	22.12	122.88	22.12	22.12	00.00
JUL	26.70	12.63	137.03	114.00	0.81	110.99	3.01	110.99	25.13	25.13	00.00
AGO	26.50	12.50	133.30	102.50	1.07	142.63	-40.13	102.50	00.00	00.00	40.13
SEP	26.50	12.50	133.30	136.00	0.91	121.30	14.70	121.30	14.70	14.70	00.00
OCT	26.50	12.50	133.30	37.00	0.94	125.30	-88.30	37.00	00.00	00.00	88.30
NOV	25.50	11.78	115.75	9.00	1.05	121.54	-112.54	9.00	00.00	00.00	112.54
DIC	24.75	11.26	103.74	8.00	0.94	97.52	-89.52	8.00	00.00	00.00	89.52
		I 148.72		645.00		1592.58		605.17		61.95	839.93

REFERENCIAS:

$$i = (T/5)^{1.514}$$

$$I = 2i$$

$$EVTP(mm) = 16(10T/I)^K$$

$$K = 6.75 \times 10^{-7} (I)^3 - 7.71 \times 10^{-5} (I)^2 + 1.79 \times 10^{-2} (I) + 0.49239$$

$$FACT = (INSOLACION\ MENSUAL / INSOLACION\ ANJAL) \times 12$$

$$EVpot = EVTP \times FACT$$

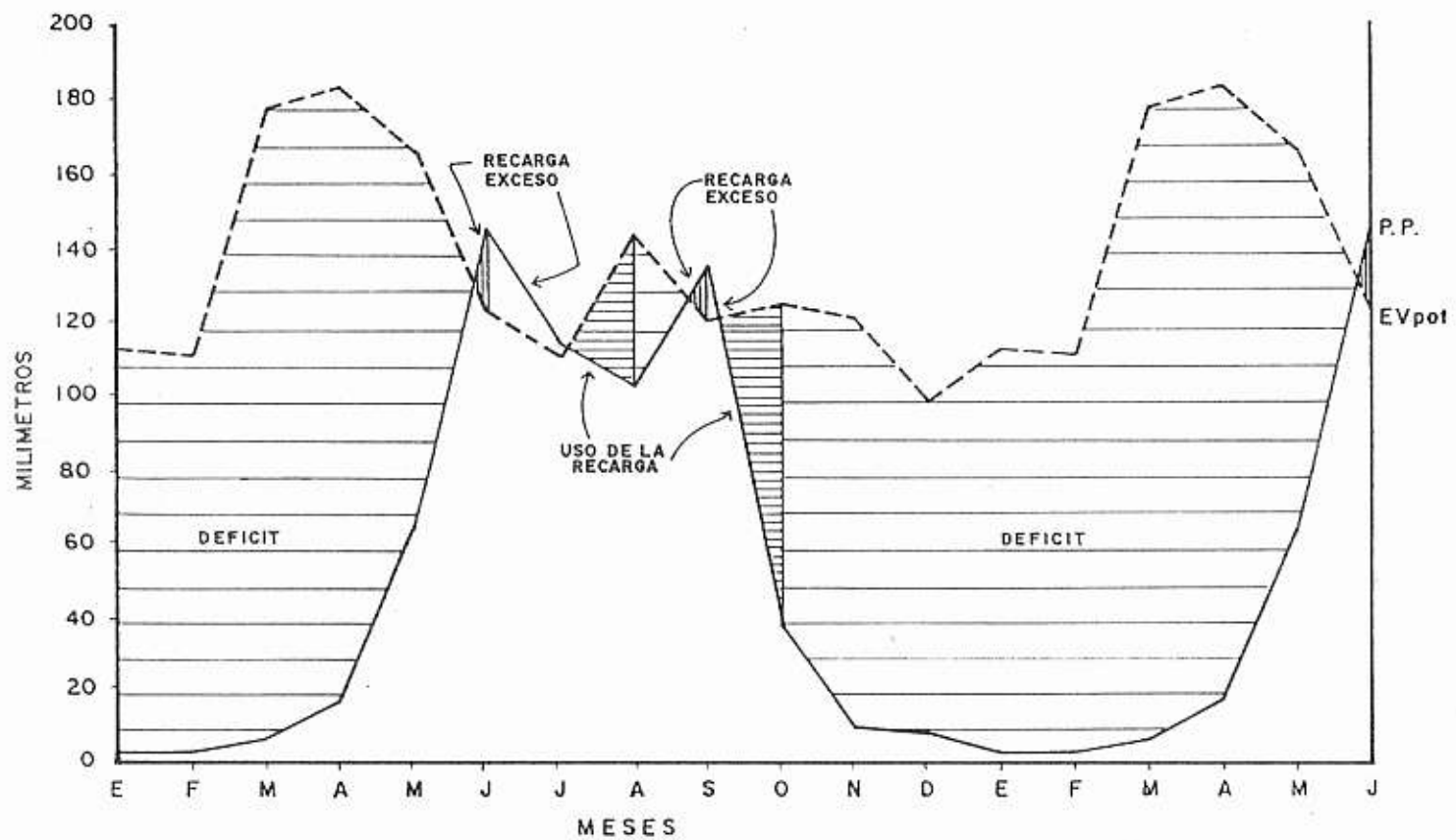
$$DIF = P.P. - EVpot$$

$$EVTPr = \text{EVAPOTRANSPIRACION REAL}$$

$$REC = \text{RESERVA DISPONIBLE DEL SUELO}$$

$$EXC = \text{EXCEDENTE}$$

$$DEF = \text{DEFICIT}$$



GRAFICA 4: BALANCE HIDRICO, ESTACION LA FRAGUA (1977-1986)

d. Evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial es de 4.43 mm/día y la evapotranspiración real es de 1.68 mm/día.

3. Características Hídricas.

La única fuente de agua existente es la administrada por el Distrito de Riego No. 3 la cual es derivada del Río Grande de Zacapa y conducida a través de canales hasta los terrenos de cultivo.

4. Características Edáficas.

Simmons et al (11), indica que los suelos pertenecen a la serie Chicaj arcilla, los cuales se caracterizan por tener drenaje lento, con aireación interna muy deficiente, alta capacidad de retención de humedad, horizontes superficiales franco arcillosos, muy adherentes y expansibles.

B. METODOLOGIA.

Para cumplir con los objetivos planteados este trabajo tuvo tres etapas:

1. Diagnóstico
2. Ensayo
3. Análisis de resultados

1. Diagnóstico

a. Fase de Gabinete.

Durante esta fase se recopiló toda la información acerca del problema que se manifiesta en el área del valle de La Fragua a través de observaciones y revisión de estudios hechos con anterioridad, así como también mapas de distribución de áreas afectadas dentro del mismo.

b. Fase de Campo.

i. Selección del área experimental.

- Ser representativa del problema

- Estar dentro del Distrito de Riego No. 3
- Tener acceso al riego para complementar el método químico de recuperación.
- Presentar facilidades para la realización del trabajo.

ii. Cultivo indicador.

Se estableció el cultivo de Sorghum vulgare L., el que es medianamente tolerante a la salinidad del suelo, para ubicar la distribución de la misma dentro de toda el área experimental.

iii. Muestreo de suelo.

En áreas donde el cultivo de sorgo mostró problemas, se colectaron 4 muestras de la capa superficial, además se realizó una calicata para describir el perfil típico de este suelo, tomando muestras de cada horizonte encontrado.

iv. Muestreo de cultivo.

En la época de floración, se midieron las variables largo y ancho de hoja y altura del 70% de plantas dentro del área afectada. Al final del ciclo se cuantificó el rendimiento.

v. Pruebas de infiltración.

Se realizaron pruebas para determinar la capacidad de infiltración superficial e interna del suelo de mayor problema utilizando cilindros de infiltración.

c. Fase de laboratorio.

Las muestras de suelo obtenidas fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de DIRYA, para ser analizados en sus propiedades indicadas en el cuadro 4.

En términos generales, el diagnóstico permitió identificar 4 niveles de salinidad en el área experimental.

CUADRO 4: ANALISIS DE SUELOS

DETERMINACION	METODO	REFERENCIA
% DE HUMEDAD A 1/3 Y 15 ATM.	OLLAS DE PRESION	RICHARD Y WEAVER
DENSIDAD APARENTE	PROBETA	
DENSIDAD REAL	MARTILLO DE DENSIDADES	
TEXTURA	HIDROMETRO DE BOUYOCOS	
ESTRUCTURA		
Ca y Mg	TITULACION CON E.D.T.A.	CHENG Y BRAY
Na y K	FLAMOMETRIA	REITEMEIER
pH	POTENCIOMETRO	NATIONAL RESEARCH
C.T.I.	SEMI-MICROKJELDAHL	PEACH Y COLABORADORES
P.S.I.		
MATERIA ORGANICA	WALKEY Y BLACK MODIFICADO	WALKEY
CARBONATOS	TITULACION CON ACIDO SULFURICO	REITEMEIER
BICARBONATOS		
CLORUROS	TITULACION CON NITRATO DE PLATA	REITEMEIER
SULFATOS	PRECIPITACION CON CLORURO DE BARIO	BOWER Y HUSS
C.E.	PUNTE WHEATSTONE	
R.A.S.		

1. Alta (PSI 14.11)
2. Ligeramente alta (PSI 12.39)
3. Media (PSI 11.68)
4. Baja (PSI 9.58).

## 2. Ensayo

Tomando en cuenta los resultados del diagnóstico, se seleccionó el área de alta salinidad para la realización del ensayo.

### a. Fase de Campo.

#### i. Factores evaluados.

- Niveles de aplicación: 3.5, 7.0 y 10.5 meq/100g .
- Productos: Sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) Y azufre elemental (S<sub>2</sub>).

Estas enmiendas fueron seleccionadas tomando en cuenta que son de fácil adquisición y manejo. El sulfato de calcio ha dado resultados satisfactorios en otros ensayos de esta naturaleza, pudiéndose adquirir con una pureza de 94 %. El azufre elemental al 98% de pureza, no había sido probado como enmienda de suelos en el país, por lo que fue necesario evaluar su respuesta, tomando en cuenta que el suelo donde se utilizó tiene suficiente cantidad de calcio para desplazar al sodio intercambiable.

Respecto a los niveles de aplicación estos se definieron de acuerdo con la metodología del sodio intercambiable (1) de la siguiente manera:

$$Y = ANL$$

Donde: Y = Cantidad del mejorador en ton/ha.

A = Sodio intercambiable por desplazar en 100g de suelo, en meq/100g.

N = Gramos del mejorador necesarios para proporcionar un miliequivalente de calcio soluble.

L = Coeficiente que depende de la densidad aparente del suelo y la profundidad de recuperación del mismo (coeficiente tabular).

Para el caso del sulfato de calcio:

$$Y = 2.66 \times 0.086 \times 33 = 7.5491 \text{ ton/ha} = 7 \text{ meq/100g.}$$

Para los otros niveles se utilizó el criterio de probar 0.5 y 1.5 del nivel determinado anteriormente.

#### ii. Diseño experimental.

Se utilizó un diseño de bloques al azar en arreglo combinatorio (3x2 con testigo) y tres repeticiones.

- Identificación de tratamientos.

Combinando niveles de aplicación y productos químicos, se identificaron los tratamientos que se presentan en el cuadro 5.

- Delimitación de unidades experimentales.

En cada bloque se delimitaron 7 unidades experimentales, cada una de 9 metros cuadrados separadas entre sí a 0.5 m (Figura 2).

- Aleatorización.

Mediante sorteo se asignó el tratamiento a cada unidad experimental, en la Figura 3 se presenta Croquis del diseño experimental.

#### iii. Manejo del experimento.

- Separación de unidades experimentales.

Se colocó nylon verticalmente entre

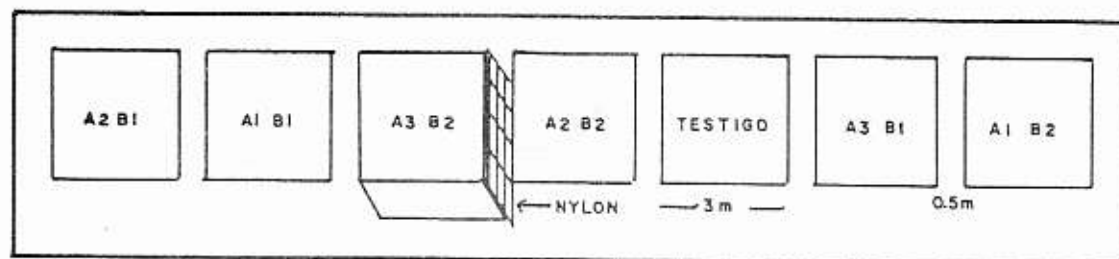
CUADRO 5: IDENTIFICACION DE TRATAMIENTOS

NIVEL	PRODUCTO	TRATAMIENTO
A1	B1	A1 B1 — 3.5 meq-sulfato de calcio
	B2	A1 B2 — 3.5 meq-azufre
A2	B1	A 2 B1 — 7.0 meq-sulfato de calcio
	B2	A 2 B2 — 7.0 meq-azufre
A3	B1	A 3 B1 — 10.5 meq-sulfato de calcio
	B2	A3 B2 — 10.5 meq-azufre

## REFERENCIA:

B1 = Sulfato de calcio

B2 = Azufre



Unidad experimental =  $9\text{m}^2$   
 Bloque =  $63\text{m}^2$

FIGURA 2: DELIMITACION DE UNIDADES EXPERIMENTALES





## BLOQUE B

1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B
7.0 meq CaSO <sub>4</sub>	10.5 meq CaSO <sub>4</sub>	7.0 meq AZUFRE	TESTIGO	10.5 meq AZUFRE	10.5 meq CaSO <sub>4</sub>	3.5 meq AZUFRE

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A
TESTIGO	10.5 meq AZUFRE	3.5 meq AZUFRE	7.0 meq AZUFRE	3.5 meq CaSO <sub>4</sub>	7.0 meq CaSO <sub>4</sub>	10.5 meq CaSO <sub>4</sub>

## BLOQUE A

1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C
3.5 meq AZUFRE	10.5 meq AZUFRE	3.5 meq CaSO <sub>4</sub>	7.0 meq AZUFRE	10.5 meq CaSO <sub>4</sub>	7.0 meq CaSO <sub>4</sub>	TESTIGO

## BLOQUE C

FIGURA 3: CROQUIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

unidades experimentales adyacentes hasta una profundidad de 30 cm para evitar interferencia entre tratamientos, como se muestra en la figura 2.

- Aplicación de enmiendas.

Se volteó el suelo a una profundidad de 30 cm. Posteriormente se aplicaron al voleo e incorporaron las enmiendas.

- Riegos.

Cada 12 ó 15 días se humedeció el suelo, después de aplicadas las enmiendas químicas, hasta completar un período de 110 días.

- Muestreo de suelo.

Finalizando el período de reacción, se muestreó la capa superficial del suelo (0 - 30) cm , en cada unidad. Después de efectuados los análisis de laboratorio se seleccionó la más representativa de un suelo corregido en la que se hizo una calicata de 1 x 1 x 1 m para describir el perfil del suelo.

- Cultivo indicador.

Nuevamente se estableció el cultivo Sorghum vulgare L. para evaluar la respuesta de las enmiendas sobre la altura de la planta, largo, ancho de hoja y rendimiento.

#### iv. Variables de respuesta evaluadas.

- Respecto del suelo

pH

Conductividad eléctrica del extracto de saturación.

Porcentaje de sodio intercambiable.

- Respecto del cultivo

Altura de planta a la época de floración.

Largo de hoja a la época de floración.  
 Ancho de la hoja a la época de floración.  
 Rendimiento.

b. Fase de laboratorio.

Las muestras colectadas en el muestreo inicial y final de suelo se llevaron al laboratorio de DIRYA para ser analizadas en sus propiedades físicas y químicas que se indican en el cuadro 4.

3. Análisis de resultados.

La interpretación de resultados se llevó a cabo analizando por separado los datos de pruebas de laboratorio, efectuadas sobre muestras del diagnóstico y muestreo final del suelo, la respuesta de propiedades físicas y químicas a los diferentes tipos y niveles de enmienda, así como también la respuesta del cultivo indicador a las diferentes enmiendas.

Se elaboraron gráficas con curvas que comparan los resultados de análisis de laboratorio como lo son variaciones de pH, conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable con respecto al tipo de enmienda.

Las variables de respuesta largo y ancho de hoja, altura de planta y rendimiento se procesaron mediante un análisis de varianza de bloques al azar con testigo, utilizando el modelo estadístico siguiente:

$$y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

$y_{ij}$  = Variable respuesta

U = Efecto de la media general

$T_i$  = Efecto del i.ésimo tratamiento

$B_j$  = Efecto del j.ésimo bloque

$E_{ij}$  = Error experimental

Posteriormente se efectuó un análisis de varianza de bloques al azar en arreglo combinatorio sin testigo,

utilizando el modelo estadístico siguiente:

$$y_{ijk} = U + B_i + \alpha_j + \gamma_k + \alpha\gamma_{jk} + E_{ijk}$$

$y_{ijk}$  = Variable respuesta.

$U$  = Efecto de la media general.

$B_i$  = Efecto del  $i$ ...ésimo bloque.

$\alpha_j$  = Efecto de la  $j$ ...ésima modalidad del Factor A.

$\gamma_k$  = Efecto de la  $k$ ...ésima modalidad del Factor B.

$\alpha\gamma_{jk}$  = Efecto de la interacción entre Factores A y B.

$E_{ijk}$  = Error Experimental.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

## A. DEL ANALISIS DEL SUELO.

## 1. Del diagnóstico .

Los resultados de los análisis efectuados en el laboratorio de DIRYA, se presentan en los cuadros 6 y 7.

## a. Características físicas.

Este suelo tiene una textura franco arcillo-arenosa en la capa superficial y franco-arcillosa, en los estratos inferiores (Cuadro 8), lo cual conjuntamente a la presencia de sales propicia condiciones favorables para el establecimiento de capas compactas internamente en el perfil del suelo, debido a la transferencia o migración de los coloides minerales hacia el interior del mismo.

Son suelos pesados, con una estructura de bloques subangulares pequeños, los que se han formado debido la acción dispersante que en alguna manera ejerce el sodio presente.

Son de consistencia muy dura en seco, muy firme en húmedo, y cuando están mojados son adherentes y muy plásticos por su alto contenido de arcilla.

Dada su consistencia, estructura y textura hacen difícil la penetración de raíces, por lo que éstas están ausentes en el perfil, lo que condiciona la existencia de escasos poros de diámetro pequeño y dando a la vez al suelo las características de alta capacidad de retención de humedad limitando con ello la circulación del aire.

En el cuadro 9 puede apreciarse el cálculo de velocidad de infiltración para estos suelos. La gráfica 5 señala el comportamiento de la misma, en la que puede verse que la infiltración básica es 0. Por sus

CUADRO 6: CARACTERISTICAS FISICAS DE SUELO PROBLEMA

PROF. cm.	TEXTURA	%Ar	%L	%A	TENSION		M.O. %	D.A.	COLOR	
					1/3 ATM	15 ATM.			SECO	HUMEDO
00-28	FRANCO ARCILLO ARENOSO	34.24	18.60	47.16	47.24	24.17	4.72	1.045	10YR 2/2	10YR 3/2
29-50	FRANCO ARCILLOSO	34.48	21.72	43.80	45.18	22.65	2.86	1.001	10YR 2/2	7.5YR 4/2
50-66	FRANCO ARCILLOSO	34.06	21.47	43.47	34.71	21.12	0.74	0.987	10YR 5/4	10YR 4/4
66 +	FRANCO ARCILLOSO	29.70	44.63	26.27	33.90	20.51	0.41	0.816	10YR 4/3	5YR 3/2

FUENTE: Analisis de suelo. DIRYA.

31

CUADRO 7: CARACTERISTICAS QUIMICAS DE SUELO PROBLEMA (meq/100 g. suelo).

PROF. cm	C.E. x 10 <sup>3</sup>	C.T.I.	Ca	Mg	Na	K	H	P.S.B.	pH	P.S.I.
00-28	3.37	18.84	14.58	1.14	2.66	0.46	0.00	98.86	8.52	14.11
28-50	1.86	17.24	13.66	1.10	2.10	0.38	0.00	89.34	8.14	12.19
51-66	1.04	13.84	9.52	1.87	1.17	0.36	0.52	94.75	7.74	8.45
66 +		6.06	3.31	1.99	0.46	0.39	0.81	96.32	7.09	7.59

FUENTE: Analisis de suelo. DIRYA.

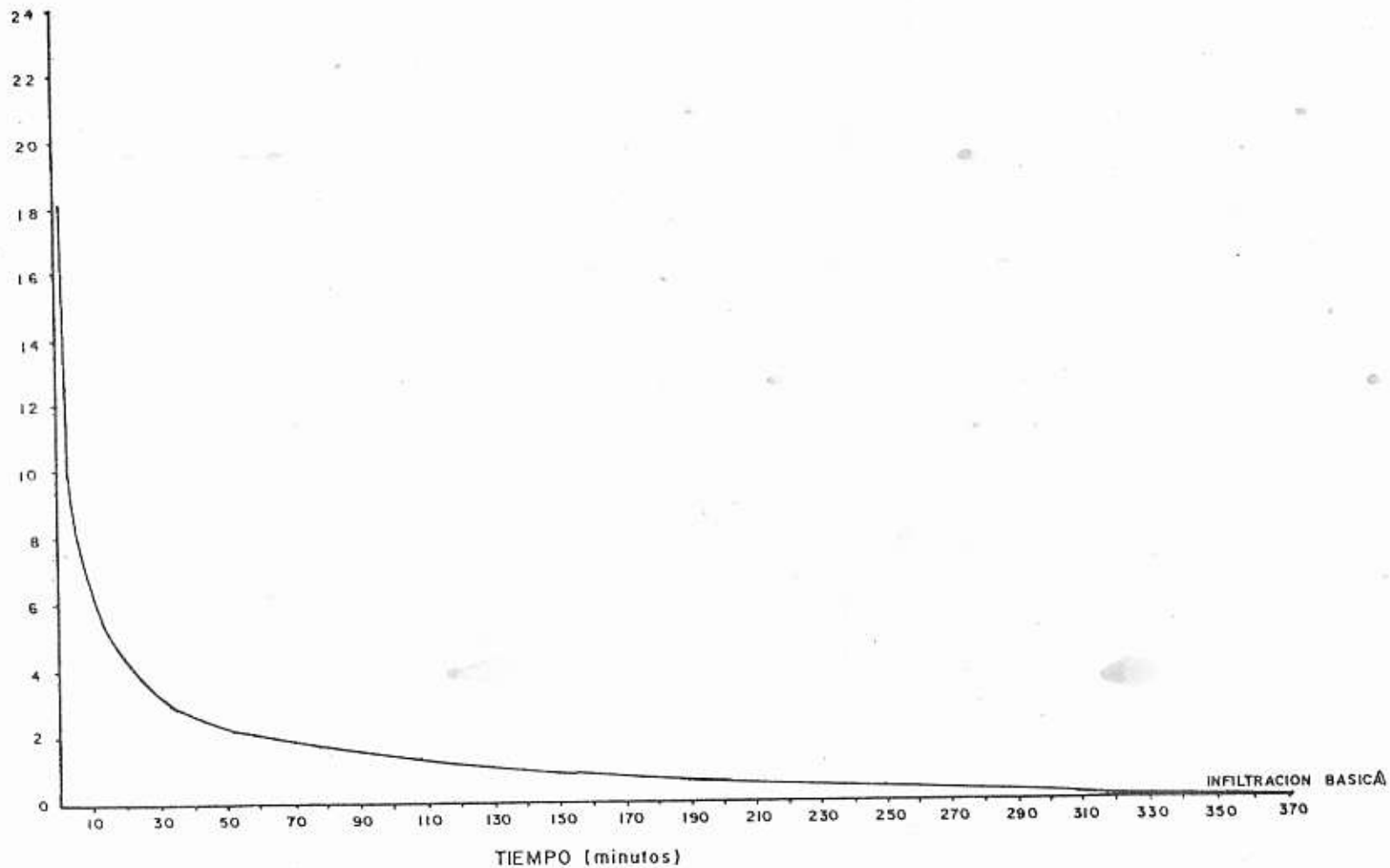
CUADRO 8: DESCRIPCION DE PERFIL DE SUELO PROBLEMA

Localidad:	Distrito de Riego No. 3, La Fragua, Zacapa.
Situación:	95 m. al norte de oficinas de Distrito de Riego.
Altitud:	210 metros sobre el nivel del mar .
Clima:	666 mm. promedio anuales; 26.25° C promedio
Cultivo:	<u>Sorghum vulgare</u> L.
Material Originario:	Ceniza volcánica a elevaciones medianas.
Pedregosidad:	Sin piedras en la superficie.
Erosión:	Eólica suave.
Drenaje:	Escasamente drenado.
Humedad:	Suelo Seco.
Relieve:	Microtopografía de surcos.
Salinidad:	Ligeramente afectado por sales.
Serie:	Chicaj Arcilla.

Profundidad (cm).	DESCRIPCION
0 - 28	Café muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco arcilloso; moteados frecuentes, medianos y definidos (10YR 2/1); bloques subangulares pequeños, débiles, muy duro; firme, adherente y plástico; poros pocos, muy finos; sin presencia de raíces; límite neto y plano.
29 - 50	Negro (10YR 2/1) en húmedo; arcilloso, moteados pocos, medianos; bloques subangulares medios, débiles; muy duro, firme, adherente y plástico; poros pocos, finos; sin presencia de raíces; límite neto e irregular.
51 - 66	Café grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arcilloso; bloques subangulares medios; duro, firme, ligeramente adherente plástico; presencia de concreciones con diámetro de 1/8 a 1/4"; ausencia de raíces; límite gradual y plano.
>67	Café amarillento (10YR 5/6) en húmedo; arcilloso; masivo; duro, firme, no adherente, no plástico; sin presencia de raíces; límite inferior no detectado.

CUADRO 9: VELOCIDAD DE INFILTRACION EN SUELO PROBLEMA

TIEMPO	INTERVALOS DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURA (cm)	DIFERENCIA DE LECTURAS (cm)	INFILTRACION (cm/h)
10:30			19.00		
10:31	1	1	18.50	0.50	16.20
10:33	2	3	18.10	0.40	11.10
10:43	10	13	17.10	1.00	5.72
11:03	20	33	15.40	1.70	5.03
11:23	20	53	14.60	0.80	2.29
11:48	25	78	13.90	0.70	1.80
12:18	30	108	13.20	0.70	1.36
12:40	22	130	12.70	0.50	1.21
13:40	60	190	12.00	0.60	0.60
14:40	60	250	11.70	0.30	0.30
15:40	60	310	11.60	0.10	0.10
16:40	60	370	11.60	0.00	0.00



GRAFICA 5: VELOCIDAD DE INFILTRACION EN SUELO PROBLEMA

condiciones físicas, el movimiento del agua en el suelo es mayormente en sentido horizontal.

b. Características químicas.

El pH de estos suelos varía de neutro a fuertemente alcalino (6.97 a 8.50), siendo el mayor valor correspondiente a los horizontes superficiales. Esta situación está determinada por la presencia de cationes de calcio, que condicionan al  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a aumentar la hidrólisis del sodio intercambiable.

La conductividad eléctrica es inferior al límite crítico (4 mmhos/cm), que en los horizontes inferiores decrece, lo que indica que ha habido remoción de las sales solubles incrementándose así el efecto del sodio intercambiable.

El porcentaje de sodio intercambiable, aunque no sobrepasa el nivel crítico (15) está cercano a él. Los valores mayores están en los horizontes superficiales, en donde el complejo de intercambio tiene relativamente altas concentraciones del ión sodio.

Dadas las características apuntadas anteriormente, tanto físicas como químicas, estos suelos pueden clasificarse como no salinos en proceso de sodificación.

2. Del muestreo final.

Las muestras obtenidas fueron analizadas física y químicamente en el laboratorio de suelos de DIRYA; los resultados obtenidos se resumen en los cuadros 10 y 11.

a. Características físicas.

La textura es franco arcillo-arenosa en la capa superficial y franco arcillosa en horizontes inferiores, o sea que las enmiendas no modifican repentinamente la textura del suelo, se necesita un largo período de tiempo de reacción ya que es una propiedad no cambiante fácilmente.

CUADRO 10:

## CARACTERISTICAS FISICAS DE SUELO ENMENDADO

PUNTO	TEXTURA	% Ar	% L	% A	TENSION		% M.O.	D.A.	COLOR	
					1/3 ATM	15 ATM			SECO	HUMEDO
2A	FRANCO ARCILLOSO	31.81	44.09	24.10	42.53	19.88	4.88	1.043	10YR 2/2	10YR 3/3
3A	FRANCO ARCILLO ARENOSO	33.64	18.78	47.58	38.17	21.88	6.48	1.063	10YR 3/1	10YR 4/1
4A	FRANCO ARCILLOSO	33.62	21.53	44.85	42.26	23.84	5.49	1.012	10YR 2/2	10YR 3/2
5A	FRANCO ARCILLOSO	32.81	26.38	40.81	46.42	19.82	8.14	1.022	10YR 2/2	10YR 3/2
6A	FRANCO ARCILLO ARENOSO	22.54	7.86	69.60	45.59	20.04	7.01	1.015	10YR 3/1	10YR 3/3
7A	FRANCO ARCILLO ARENOSO	28.10	19.52	52.48	45.16	24.19	5.74	1.033	10YR 4/3	10YR 2/2
1B	FRANCO ARCILLOSO	34.06	23.47	41.47	49.64	22.09	7.16	1.012	10YR 3/4	10YR 2/1
2B	FRANCO ARCILLOSO	31.74	25.66	42.34	48.93	20.00	7.50	1.019	10YR 2/2	10YR 3/2
3B	FRANCO ARCILLO ARENOSO	24.88	23.10	52.02	40.12	25.33	7.02	1.021	10YR 2/2	10YR 2/1
5B	FRANCO ARCILLOSO	34.52	25.23	40.25	42.18	20.12	6.14	1.037	10YR 3/1	10YR 2/2
6B	FRANCO ARCILLO ARENOSO	29.35	4.66	66.09	44.56	22.91	8.12	1.019	10YR 4/1	10YR 3/3
7B	FRANCO ARCILLO ARENOSO	32.00	27.66	39.44	38.69	21.83	6.02	1.021	10YR 2/2	10YR 3/2
1C	FRANCO ARCILLOSO	36.94	21.06	42.00	39.81	20.03	6.90	1.022	10YR 2/2	10YR 2/1
2C	FRANCO ARCILLOSO	38.12	24.81	37.07	41.36	23.29	7.44	1.012	10YR 3/2	10YR 2/2
3C	FRANCO ARCILLO ARENOSO	30.20	28.10	41.70	47.64	19.98	7.38	1.001	10YR 2/2	10YR 2/1
4C	FRANCO ARCILLO ARENOSO	30.16	25.40	44.44	36.24	19.64	5.78	1.001	10YR 3/2	10YR 3/1
5C	FRANCO ARCILLOSO	33.64	22.56	43.80	45.17	23.88	6.48	1.018	10YR 3/1	10YR 2/2
6C	FRANCO ARCILLO ARENOSO	25.43	14.12	60.05	48.72	23.18	6.55	1.021	10YR 2/2	10YR 2/1
7C	FRANCO ARCILLO ARENOSO	30.24	20.50	49.26	46.12	23.68	4.99	1.038	10YR 2/2	10YR 3/1

FUENTE: Analisis de suelos. DIRYA.

CUADRO II: CARACTERISTICAS QUIMICAS DE SUELO ENMENDADO

PUNTO	C.Ex10 <sup>3</sup>	C.T.I.	Ca	Mg	Na	K	H		P.S.B.	pH	P.S.I.
2A	1.79	19.23	11.56	3.09	2.51	1.16	0.91		100.00	8.24	13.05
3A	2.42	19.31	14.24	1.08	1.88	1.23	0.88		96.00	7.39	9.74
4A	1.20	19.18	11.46	4.28	1.96	0.60	0.88		95.00	8.02	10.22
5A	2.14	18.94	14.64	2.15	1.40	0.74	0.00		100.00	7.12	7.39
6A	2.83	25.73	16.30	5.24	2.12	0.95	1.12		98.00	7.14	8.24
7A	3.21	25.54	13.60	7.22	2.41	1.40	0.91		94.00	7.01	9.44
1B	2.74	21.17	10.88	6.38	1.83	0.98	1.10		100.00	7.24	8.64
2B	2.28	15.52	11.54	1.17	1.09	0.78	0.01		100.00	6.99	7.04
3B	2.08	21.06	14.55	1.20	2.12	1.12	0.41		92.00	7.98	10.07
5B	1.83	21.55	12.20	5.30	2.60	1.03	0.42		100.00	8.19	12.06
6B	3.43	16.88	12.74	1.54	1.02	0.40	0.07		100.00	7.01	6.93
7B	2.41	18.56	12.59	2.19	1.28	0.72	0.00		97.00	7.24	9.69
1C	2.39	18.79	12.28	3.55	1.84	0.84	0.28		97.00	7.72	9.78
2C	1.60	19.16	12.11	3.10	2.11	0.86	0.98		89.00	7.85	11.01
3C	2.31	23.36	16.09	3.66	1.97	0.98	0.66		96.00	7.10	8.43
4C	2.54	23.45	14.88	5.40	2.16	0.77	0.21		100.00	7.10	9.21
5C	2.39	23.10	12.48	6.91	2.00	0.71	1.00		100.00	6.97	8.66
6C	2.69	20.43	16.20	2.11	1.67	0.45	0.00		100.00	7.00	8.17
7C	3.24	18.48	11.25	3.14	2.53	0.46	1.10		94.00	8.47	13.69

FUENTE : Analisis de suelos. DIRYA.

Se conserva la estructura de bloques subangulares, pero en forma combinada, pequeños y medios, lo que sugiere que las enmiendas a un largo periodo de reacción favorecen la agregación de las partículas del suelo, debido a la disminución del efecto dispersante del sodio

El perfil del suelo (cuadro 12), en sus dos primeros horizontes manifiesta la presencia de algunas raíces finas y medias, considerándose que a un tiempo mayor de acción de las enmiendas, se puede tener una mayor penetración radicular y por ende aumentar el espacio poroso del suelo, favoreciendo la circulación de aire y agua a través del perfil.

El pH de este suelo es neutro, lo que indica que la enmienda tuvo efecto en el desplazamiento del sodio intercambiable.

La conductividad eléctrica de extracto de saturación no tuvo un descenso marcado, pero se conserva dentro de niveles adecuados para no interferir en el desarrollo de los cultivos.

El porcentaje de sodio intercambiable se reduce considerablemente. Lo anterior significa que, aunque el sodio intercambiable no sobrepasa inicialmente el límite crítico puede llevarse a un nivel adecuado, evitando que posteriormente tenga que tratarse un problema de mayor severidad.

## B. DEL ENSAYO DE CAMPO.

### 1. Respuesta química a los diferentes tipos de enmienda.

El sulfato de calcio presentó el mejor desplazamiento de el sodio intercambiable, pero la conductividad eléctrica manifestó leve descenso, incluso se incrementó respecto al testigo; esto debido probablemente al aporte de calcio incluido en la misma enmienda.

El azufre elemental fue eficiente en el

CUADRO 12: DESCRIPCION DE PEREIL DE SUELO ENMENDADO

Localidad:	Distrito de Riego No. 3, La Fragua, Zacapa.
Situación:	95 m al norte de las oficinas del Distrito de Riego.
Altitud:	210 metros sobre el nivel del mar .
Clima:	665 mm promedio anuales. 26.25° C promedio.
Cultivo:	<u>Sorghum vulgare</u> L.
Material originario:	Ceniza volcánica a elevaciones medianas.
Pedregosidad:	Sin piedras en la superficie.
Erosión:	Eólica Leve.
Drenaje:	Escasamente drenado.
Humedad:	Suelo Seco.
Relieve:	Microtopografía de Surcos.
Salinidad:	Ligeramente afectado por sales.
Serie:	Chicaj arcilla.
Profundidad (cm).	DESCRIPCION
0 - 30	Café muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; Franco arcilloso; Bloques subangulares medios; duro, muy firme, adherente y plástico; poros pocos finos, y medios; raíces comunes, finas y medias; límite neto y plano.
31 - 54	Café oscuro (10YR 3/3) en húmedo; arcillo-arenoso; Bloques subangulares medios; duro, firme adherente y plástico; poros pocos, finos; raíces pocas, finas; límite neto y plano.
55 - 71	Café amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; presencia de concreciones (10YR 5/6); arcilloso; Bloques subangulares medios; duro, firme, ligeramente adherente; ausencia de raíces; límite brusco y plano.
>72	Café amarillento (10YR 5/6) en húmedo; arcilloso; masivo; duro, muy firme; adherente, no plástico; sin raíces; límite inferior no detectado.

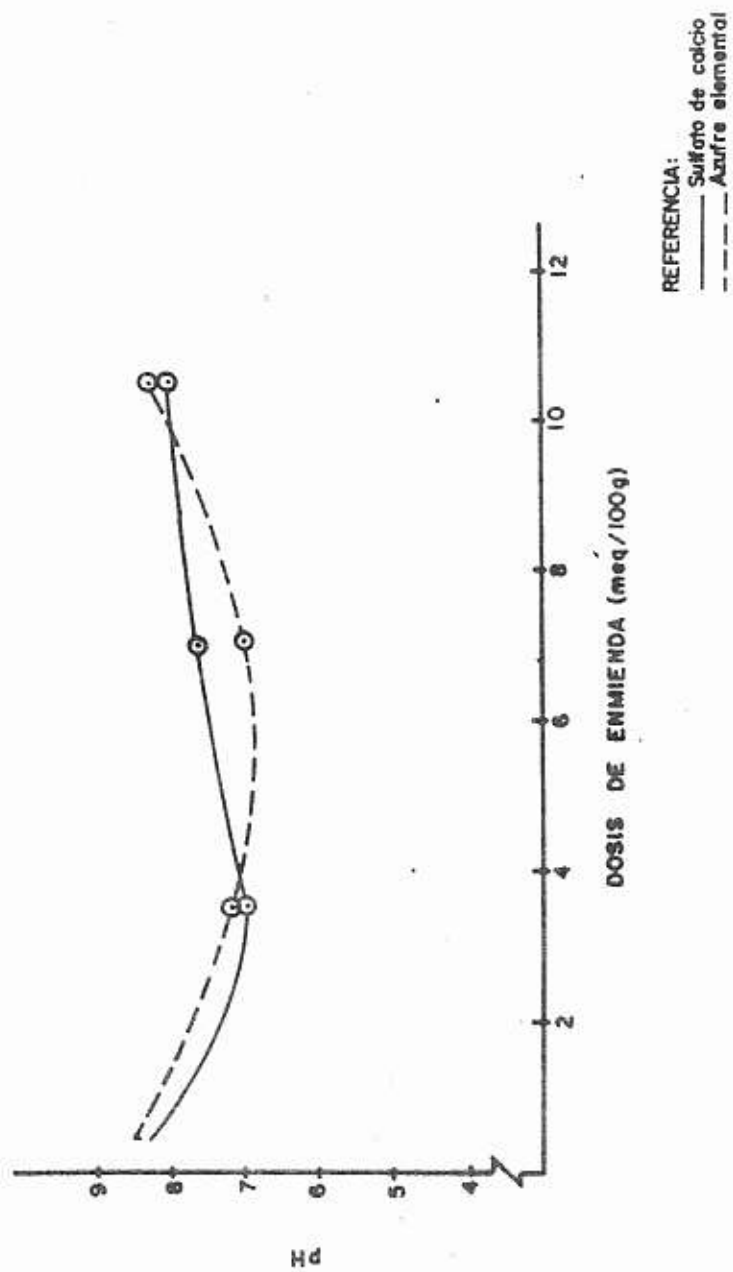
desplazamiento del sodio intercambiable del suelo, sin embargo únicamente desplazó el 25%, lo que comparado con la acción del sulfato de calcio, resulta menos eficiente en éste sentido. La relativa menor eficiencia del azufre puede asociarse a la naturaleza de sus reacciones ya que siendo un mejorador de acción lenta necesita un período mayor de tiempo para actuar completamente. Por otra parte, considerando su acción sobre la conductividad eléctrica, el azufre manifestó una reducción apreciable, siendo en éste aspecto de mayor eficiencia que el sulfato de calcio.

## 2. Respuesta química a los diferentes niveles de enmienda.

El análisis se hizo desde el punto de vista cualitativo mediante la elaboración de gráficas, en las que se relacionó los datos de nivel de enmienda y los valores de pH, PSI y CE, de las muestras de suelo enmendado.

### a. Respuesta del pH, a los diferentes niveles de enmienda.

Los tipos de mejoradores presentaron comportamientos similares. Con dosis de 3.5 meq/100g ambos lograron reducirlo a valores cercanos a 7.0, sin embargo, fue más eficiente el sulfato de calcio con nivel de aplicación de 7.0 meq/100g manteniendo el pH cercano a la neutralidad. Al aumentar el nivel de aplicación de los mejoradores, el pH, mantiene un valor alto, lo que puede estar asociado a la naturaleza del azufre, que necesita mayor tiempo de actividad para manifestar su eficiencia, si se considera que los resultados se obtuvieron en un tiempo relativamente corto. Por su parte el sulfato de calcio aumenta la concentración de sales alcalinas, en el suelo al incluir en su composición al calcio (Gráfica 6).



GRAFICA 6: VARIACION DE pH RESPECTO A DOSIS DE ENMIENDA

- b. Respuesta de la C.E. a los diferentes niveles de enmienda.

El tratamiento de mayor eficiencia corresponde al azufre elemental, con un nivel de aplicación de 7.0 meq/100g llevándolo a valores menores de 2 mmhos/cm aunque con un menor nivel de aplicación se tiene un valor aceptable.

El sulfato de calcio tuvo menor positividad en este sentido, aunque da un valor aceptable con un nivel de aplicación de 7.0 meq/100g (Gráfica 7).

- c. Respuesta del porcentaje de sodio intercambiable a los diferentes niveles de enmienda.

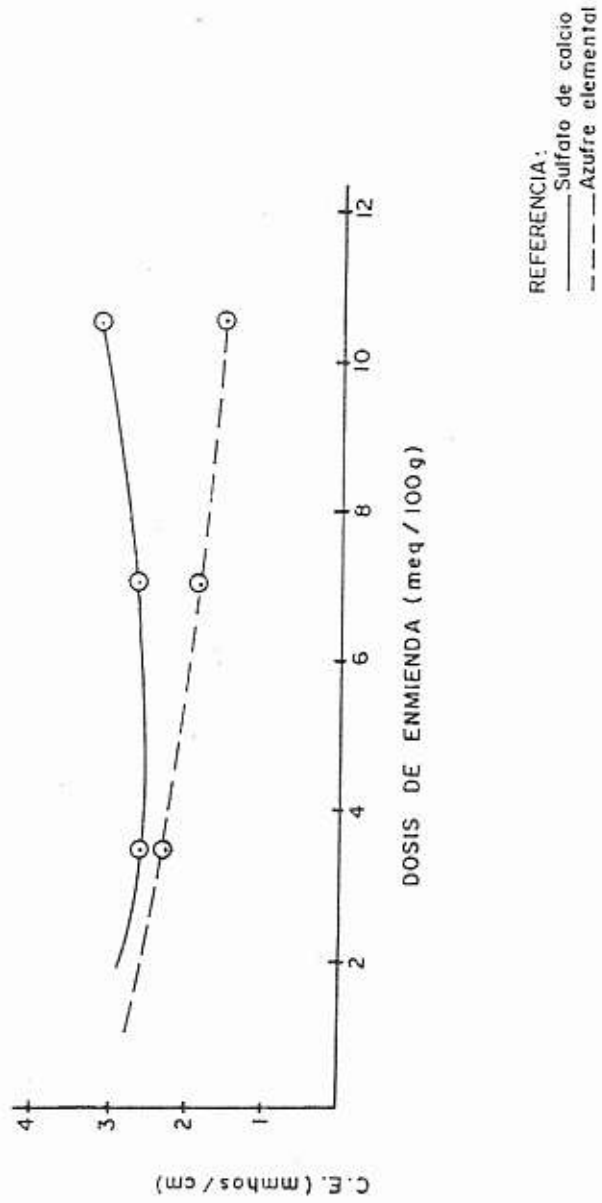
Como puede advertirse en la Gráfica 8, el sulfato de calcio es más eficaz en la sustitución del sodio intercambiable, llevando el PSI, a valores menores de 8 con un nivel de aplicación de 3.5 meq/100g. El azufre elemental presentó una leve disminución del PSI, debido a que necesita movilizar mayor cantidad de calcio del complejo de intercambio para desplazar el sodio intercambiable.

- d. Relación de la conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable con respecto a la enmienda.

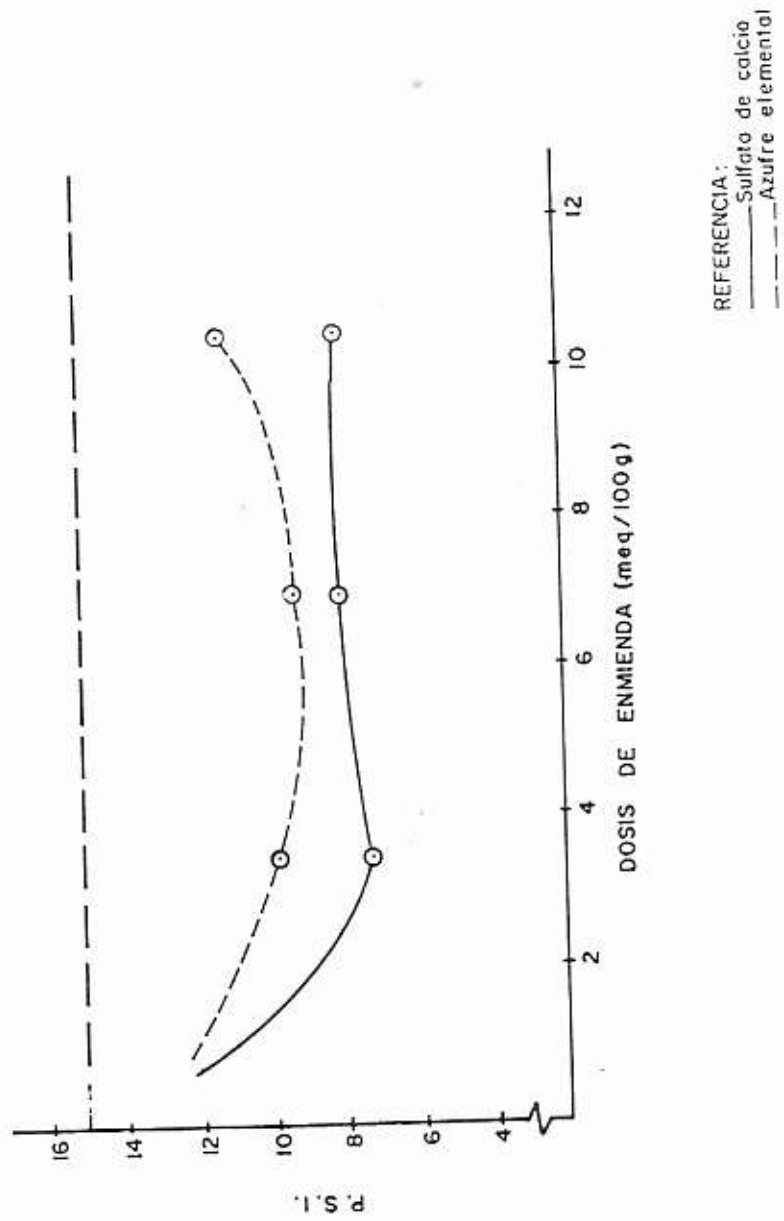
Tomando en cuenta los valores obtenidos de C.E. y PSI, con las diferentes enmiendas, puede contemplarse en la Gráfica 9, la tendencia general adoptada por cada una de las mismas; así también puede verse que el sulfato de calcio con nivel de aplicación de 3.5 meq/100g es efectivo en disminución del PSI, manteniendo una conductividad eléctrica con valor menor al nivel crítico, pero a medida que el nivel de aplicación aumenta, tanto el PSI como la conductividad eléctrica tienden a mantener valores altos.

- e. Relación del pH respecto al PSI.

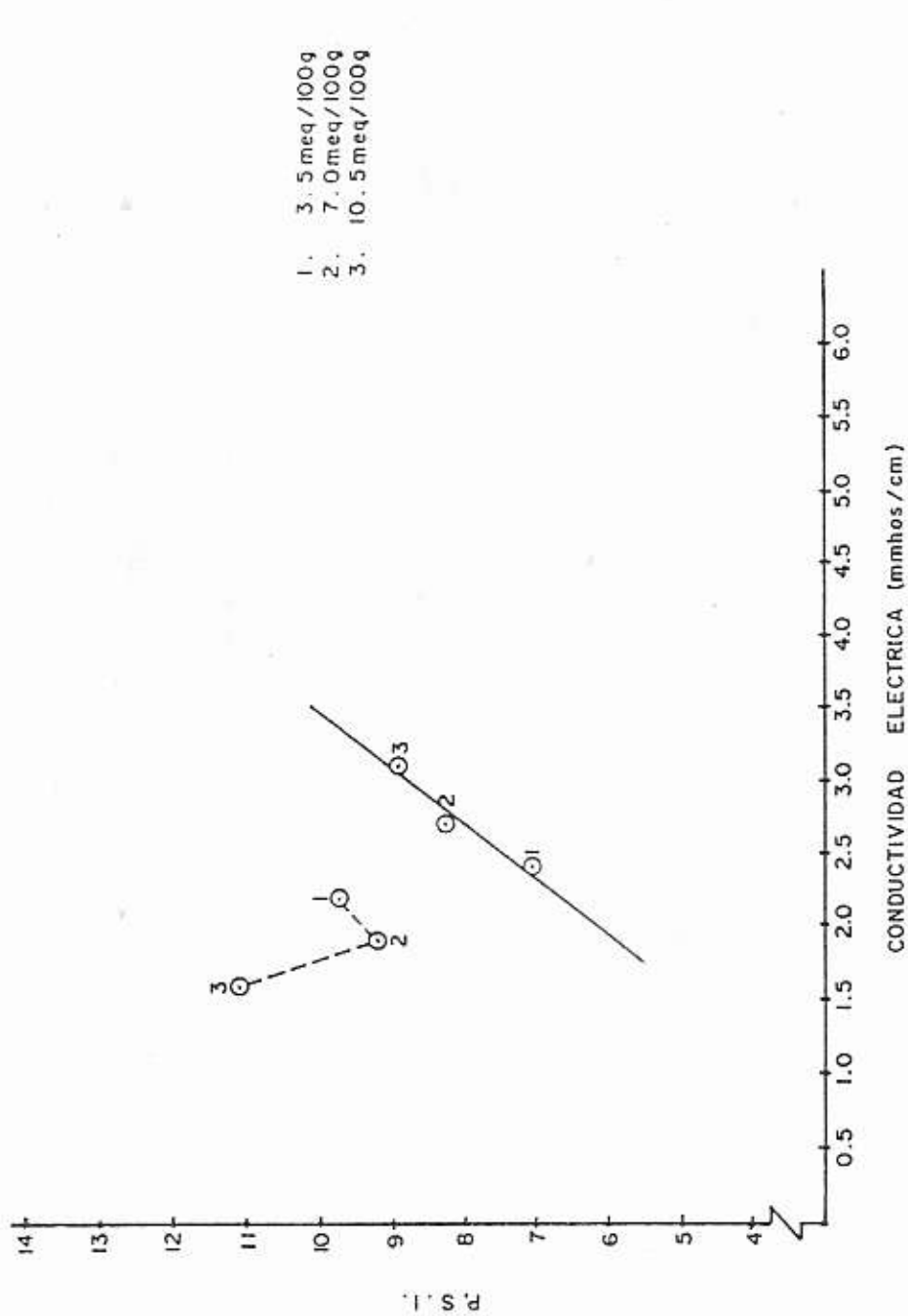
La Gráfica 10, muestra la forma de comportamiento



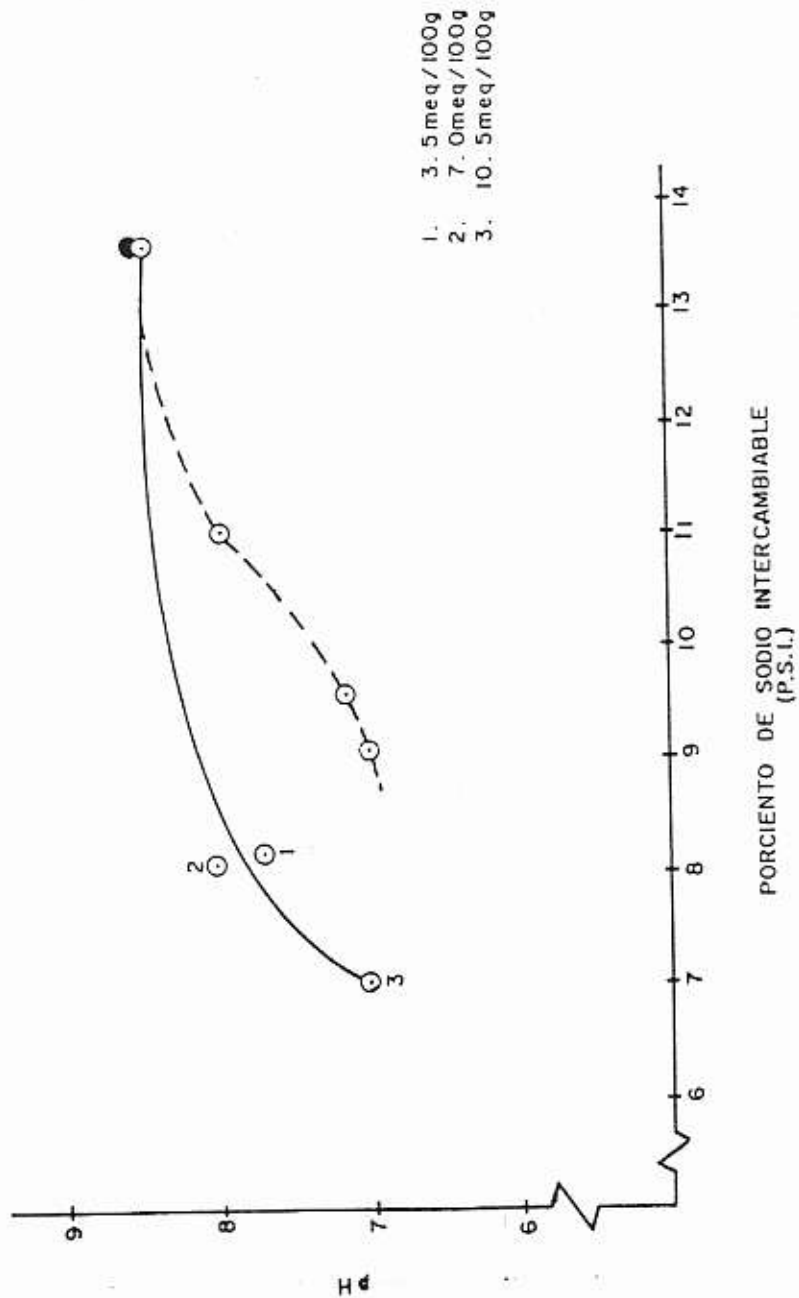
GRAFICA 7: VARIACION DE C.E. RESPECTO A DOSIS DE ENMIENDA



GRAFICA 8: VARIACION DE P.S.I. RESPECTO A DOSIS DE ENMIENDA



GRAFICA 9: RELACION DE LA C.E. Y P.S.I. RESPECTO A DOSIS DE ENMIENDA.



GRAFICA 10: RELACION pH / P.S.I.

del pH, respecto al porcentaje de sodio intercambiable. Puede apreciarse que el sulfato de calcio es positivo en la neutralización del pH y reducción del PSI, en un nivel de aplicación de 7.0 meq/100g ; sin embargo niveles de aplicación mayores o menores del mencionado, mantienen un pH y porcentaje de sodio intercambiable aún mayor.

### 3. Respuesta física a las diferentes enmiendas.

#### a. De la retención de humedad.

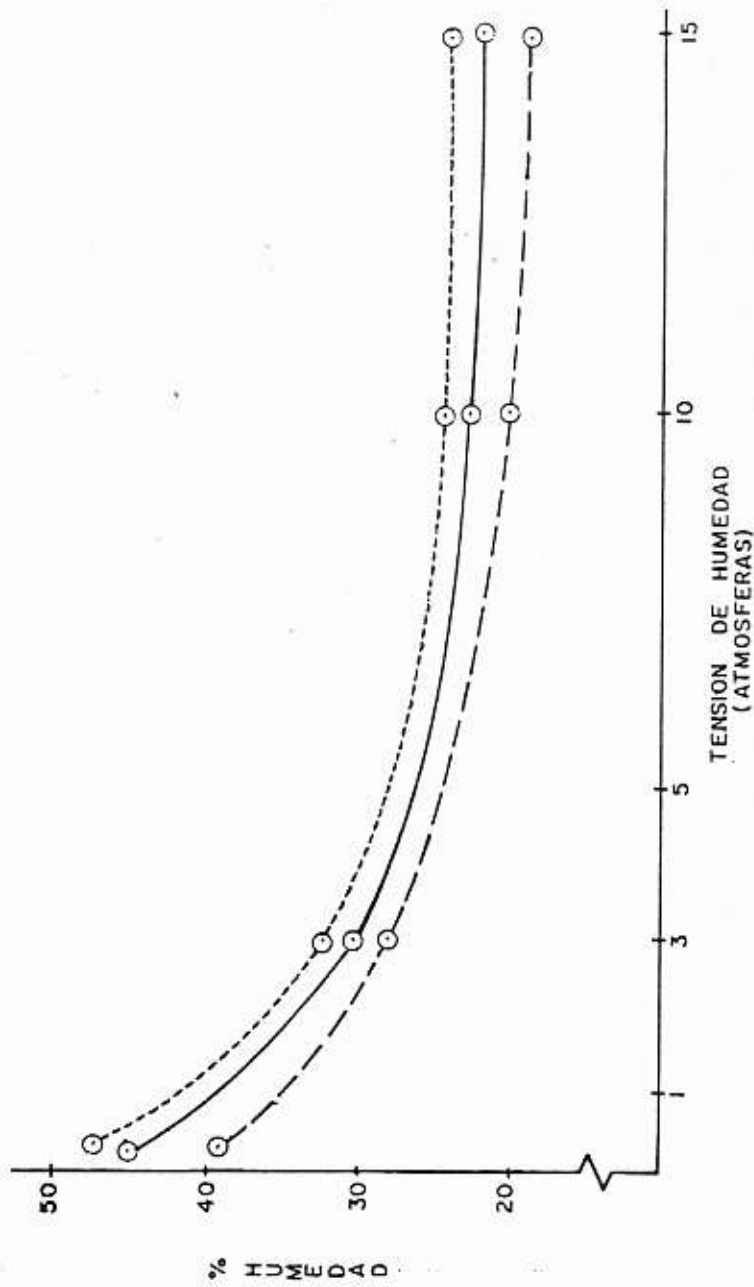
En este caso la Gráfica 11 señala que para los tratamientos del azufre elemental, el porcentaje de humedad a diferentes tensiones tiene un descenso, lo cual es favorable, porque las plantas tendrán mayor disponibilidad de agua retenida a menores tensiones, así también habrá mayor disposición de espacio poroso necesario, para la circulación del aire. El sulfato de calcio, no presenta disminución marcada debido al aumento de la concentración salina de la solución del suelo.

#### b. De la infiltración básica.

En el cuadro 13 puede apreciarse que la lámina de agua infiltrada mejoró respecto de la que se tuvo inicialmente ya que en este caso la infiltración básica tiene valor de 0.33 cm/h. El cálculo de velocidad de infiltración e infiltración básica puede verse en el anexo.

En los cuadros 14 y 15 se resume el cálculo de velocidad de infiltración e infiltración básica que se presentan en la Gráfica 12.

Realizando también el análisis granulométrico del perfil del suelo en el área experimental, se determinó que el horizonte que ofrece mejores condiciones de drenaje es el B. Los análisis y curvas



REFERENCIA:  
 - - - - - Testigo  
 ————— Sulfato de calcio  
 - - - - - Azufre elemental

GRAFICA 11: RELACION TENSION / % DE HUMEDAD

CUADRO 13: REGISTRO DE DATOS DE INFILTRACION EN SUELO ENMENDADO

PROF. (cm)	TIEMPO (min)	LAMINA (mm)
0 - 20	1	0.125
	3	0.265
	12	0.565
	24	0.835
	44	1.160
	69	1.480
	94	1.750
	124	2.030
	154	2.270
	188	2.525
	258	2.965
	318	3.305

FUENTE: Pruebas en area experimental

VELOCIDAD DE INFILTRACION :  $7.561(t)^{-0.541}$

INFILTRACION BASICA : 0.33 cm/hora

CUADRO 14: CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION

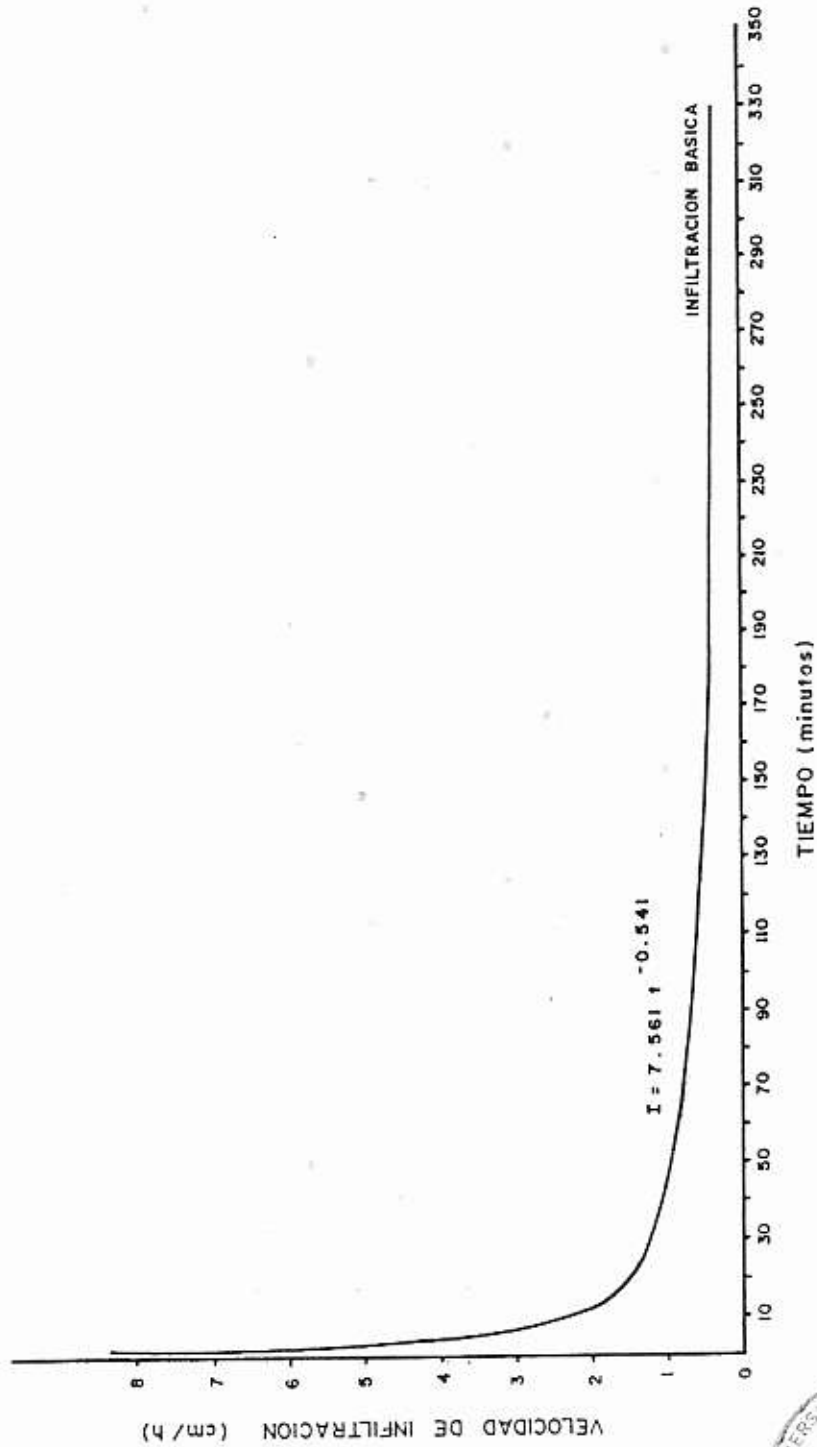
TIEMPO	INTERVALOS DE TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	LECTURA (cm)	DIFERENCIA DE LECTURAS (cm)	INFILTRACION (cm/h)
9:40			14.000		
9:41	1	1	13.875	0.125	7.500
9:43	2	3	13.735	0.140	4.150
9:52	9	12	13.435	0.300	2.000
10:04	12	24	13.165	0.270	1.350
10:24	20	44	12.840	0.325	0.975
10:49	25	69	12.520	0.320	0.768
11:14	25	94	12.250	0.270	0.648
11:44	30	124	11.970	0.280	0.560
12:14	30	154	11.730	0.240	0.480
12:48	34	188	11.475	0.255	0.450
13:58	70	258	11.035	0.440	0.377
14:58	60	318	10.695	0.340	0.340

CUADRO 15: OBTENCION DEL MODELO DE KOSTIAKOW-LEWIS PARA VELOCIDAD DE INFILTRACION UTILIZANDO EL METODO DE LOS PROMEDIOS

INFILTRACION (I)	T. ACUMULADO (t)	LOG (I)	LOG (t)	SUMA LOG (I)	SUMA LOG (t)
7.500	1	0.8751	0		
4.150	3	0.6180	0.4771		
2.000	12	0.3010	1.0792		
1.350	24	0.1303	1.3802		
0.975	44	-0.0110	1.6435		
0.768	69	-0.1146	1.8388	1.7988	6.4188
0.648	94	-0.1884	1.9731		
0.560	124	-0.2518	2.0934		
0.480	154	-0.3188	2.1875		
0.450	188	-0.3468	2.2742		
0.377	258	-0.4237	2.4116		
0.340	318	-0.4685	2.5024	-1.9980	13.4422

$$I = 7.561(t)^{0.541} \quad ; \quad \begin{array}{l} I = \text{Velocidad de infiltracion (cm/h).} \\ t = \text{Tiempo de infiltracion (min).} \end{array}$$

$$I_b = K(-600n)^n \quad ; \quad \begin{array}{l} I_b = \text{Infiltracion basica (cm/h).} \\ K \text{ y } n = \text{Parametros del modelo KOSTIAKOW-LEWIS} \end{array}$$



GRAFICA 12: VELOCIDAD DE INFILTRACION EN SUELO ENMENDADO



granulométricas se dan a conocer en el anexo.

c. Del perfil del suelo.

Lo más importante en la descripción es la presencia de raíces finas y medias hasta una profundidad de 35 centímetros y una mayor disponibilidad de poros finos y medios con los tratamientos de sulfato de calcio, favoreciendo la circulación del agua.

C. RESPUESTA DEL CULTIVO INDICADOR A LAS DIFERENTES ENMIENDAS.

La recuperación de éstos suelos implica un mejoramiento de sus características físicas y químicas para que se de un buen desarrollo y rendimiento de los cultivos. Por ello es necesario analizar la respuesta del cultivo a las enmiendas aplicadas.

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

Las variables analizadas para el desarrollo del cultivo Sorghum vulgare L., fueron largo de hoja, ancho de hoja, altura de planta y también se evaluó el rendimiento. Inicialmente para cada variable se hizo un análisis de varianza de bloques al azar con testigo (Cuadros 16, 17, 18 y 19), posteriormente se efectuó un análisis de varianza de bloques al azar en arreglo combinatorio.

a. Respuesta del largo de hoja a las diferentes enmiendas.

Existen diferencias altamente significativas entre productos químicos. No hay diferencias significativas entre niveles de aplicación. Teniendo un promedio mayor, el sulfato de calcio, en su influencia sobre el largo de hoja, es muy eficiente en cualquier nivel de aplicación (Cuadro 20).

b. Respuesta del ancho de hoja a las diferentes enmiendas.

Hay diferencias altamente significativas entre tipos de enmienda (Cuadro 21), sin significancia entre niveles de aplicación. El promedio mayor es dado por el sulfato

CUADRO 16: ANALISIS DE VARIANZA CON TESTIGO (Largo de hoja (cm)).

F.V.	G.L.	SUM. CUADR.	CUAD. MED.	F.C.	F.T.		TRAT.	PROMEDIO
					5%	1%		
BLOQUE	2	18.60938	9.305	2.106	3.00	4.82	1	73.3800
TRATAM.	6	207.35160	34.559	7.822			2	69.6433
ERROR	12	53.01563	4.418				3	70.2000
TOTAL	20	278.97660					4	65.6466
COEFICIENTE DE VARIACION: 3.1238%				A= TRATAMIENTO			5	64.9100
							6	64.6633
							7	63.5567

CUADRO 17: ANALISIS DE VARIANZA CON TESTIGO (Ancho de hoja (cm)).

F.V.	G.L.	SUM. CUADR.	CUAD. MED.	F.C.	F.T.		TRAT.	PROMEDIO
					5%	1%		
BLOQUE	2	0.2439	0.122	0.758	3.0	4.82	1	8.5400
TRATAM.	6	3.3459	0.558	3.468			2	8.3733
ERROR	12	1.9298	0.161				3	7.9200
TOTAL	20	5.5197					4	7.6067
COEFICIENTE DE VARIACION: 5.0922%				A= TRATAMIENTO			5	7.7200
							6	7.3833
							7	7.5833

CUADRO 18: ANALISIS DE VARIANZA CON TESTIGO (Altura de planta (cm)).

F.V.	G.L.	SUM. CUADR.	CUAD. MED.	F.C.	F.T.		TRAT.	PROMEDIO
					5%	1%		
BLOQUE	2	3.75781	1.88	0.267	3.0	4.82	1	79.4433
TRATAM.	6	679.14850	113.19	16.070			2	79.2667
ERROR	12	84.52344	7.04				3	78.6433
TOTAL	20	767.42970					4	76.0233
COEFICIENTE DE VARIACION: 3.6040%				A= TRATAMIENTO			5	70.0433
							6	67.9766
							7	65.9800

CUADRO 19: ANALISIS DE VARIANZA CON TESTIGO (Rendimiento)

F. V.	G.L.	SUM. CUADR.	CUAD. MED.	F.C.	F. T.		TRAT.	PROMEDIO
					5%	1%		
BLOQUE	2	0.07125	0.036	0.436	3.00	4.82	1	2.8419
TRATAM.	6	1.89145	0.315	3.862			2	2.5233
ERROR	12	0.97995	0.082				3	2.6869
TOTAL	20	2.94216					4	2.6455
COEFICIENTE DE VARIACION : 11.7038%				A= TRATAMIENTO			5	2.3418
							6	2.0623
							7	1.9856

CUADRO 20: ANALISIS DE VARIANZA SIN TESTIGO (Largo de hoja (cm))

F.V.	G.L.	SUM. CUADR.	CUAD. MED.	F.C.	F. T.		A	B	PROMEDIOS
					5%	1%			
BLOQUE	2	27.28125	13.641	3.102			1	1	72.380000
TRATAM.	5	165.10160	33.020	7.509	3.33	5.64	1	2	69.643330
A	1	151.32810	151.328	34.411	4.96	10.04	1	3	70.200010
B	2	9.97656	4.988	1.134	4.10	7.56	2	1	65.406670
AB	2	3.79688	1.898	0.432			2	2	64.910010
ERROR	10	43.97657	4.398				2	3	64.510000
TOTAL	17	236.35940					B		
COEFICIENTE DE VARIACION : 3.0911%				A= PRODUCTO B= DOSIS			1		68.893330
							2		67.276660
							3		67.355010
							A		
							1		70.741110
							2		64.942230
							TOTAL		67.841660

de calcio, por lo que estadísticamente, con cualquier nivel de aplicación éste es más positivo, por su efecto sobre el ancho de hoja.

- c. Respuesta de la altura de planta a las diferentes enmiendas.

En el cuadro 22, puede notarse que existen diferencias altas significativas entre tipos de enmienda y entre dosis. Mediante la prueba de Tukey se determinó que el tratamiento de 3.5 meq/100g de sulfato de calcio es el mejor tomando en cuenta su efecto sobre la altura de la planta.

- d. Respuesta del rendimiento de las diferentes enmiendas.

En el cuadro 23, puede contemplarse que hay diferencias significativas sobre tipos de enmienda, sin diferencias entre niveles de aplicación. Estadísticamente los tratamientos hechos con sulfato de calcio, dan los mejores resultados desde el punto de vista del rendimiento.

2. Interpretación de las manifestaciones cualitativas y rendimiento del cultivo.

En general las manifestaciones del desarrollo del cultivo indicador tuvieron poca variación como consecuencia del efecto de las diferentes enmiendas y niveles de aplicación de éstas, respecto de las observadas inicialmente para el cultivo testigo.

Puede mencionarse que el largo de la hoja, ancho de hoja y rendimiento, mostraron una variación positiva con los niveles de aplicación de sulfato de calcio y azufre elemental, respecto del testigo, sin embargo debido a que se tiene un promedio mayor para el sulfato de calcio, éste es mejor en lo que respecta al efecto sobre las variables mencionadas.

Generalizando, puede decirse que las variables estudiadas mostraron poca variación respecto de las observadas en el cultivo testigo, sin embargo el cultivo establecido en suelo enmendado tuvo un adelanto de 5 días para la época de floración.

CUADRO 21: ANALISIS DE VARIANZA SIN TESTIGO (Altura de planta) cm

F.V.	G.L.	SUM. CUADR.	CUAD. MED.	F.C.	F.T.		A	B	PROMEDIOS	
					5%	1%				
BLOQUE	2	3.75000	1.875	0.249			1	1	79.443340	
TRATAM.	5	474.57820	94.916	12.615	3.33	5.64	1	2	79.266660	
A	1	320.28910	320.289	42.568	4.96	10.04	1	3	78.643330	
B	2	88.75000	44.375	5.898	4.10	7.55	2	1	76.023340	
AB	2	65.53906	32.760	4.355			2	2	70.043340	
ERROR	10	75.24219	7.524				2	3	65.976670	
TOTAL	17	553.57030					B			
COEFICIENTE DE VARIACION: 3.6623%				A = PRODUCTO		B = DOSIS				
						1				77.733330
						2				74.655000
						3				72.310000
						A				
						1				79.117780
						2				70.681110
						TOTAL				74.899450

CUADRO 22: ANALISIS DE VARIANZA SIN TESTIGO (Ancho de hoja (cm))

F.V.	G.L.	SUM. CUADR.	CUAD. MED.	F.C.	F.T.		A	B	PROMEDIOS	
					5%	1%				
BLOQUE	2	0.217285	0.109	0.874			1	1	8.540000	
TRATAM.	5	3.047974	0.610	4.887	3.33	5.64	1	2	8.373334	
A	1	2.254273	2.254	18.073	4.96	10.04	1	3	7.920000	
B	2	0.668823	0.334	2.681	4.10	7.55	2	1	7.606667	
AB	2	0.124878	0.062	0.501			2	2	7.720000	
ERROR	10	1.247315	0.125				2	3	7.383333	
TOTAL	17	4.512573					B			
COEFICIENTE DE VARIACION: 4.4571%				A = PRODUCTO		B = DOSIS				
						1				8.073333
						2				8.046666
						3				7.651667
						A				
						1				8.277778
						2				7.570001
						TOTAL				7.923890

CUADRO 23: ANALISIS DE VARIANZA SIN TESTIGO (Rendimiento)

F.V.	G.L.	SUM. CUADR.	CUAD. MED.	F.C.	F.T.		A	B	PROMEDIOS
					5%	1%			
BLOQUE	2	0.09255	0.046	0.485			1	1	2.841933
TRATAM.	5	1.17062	0.234	2.454	3.33	5.64	1	2	2.523267
A	1	0.49593	0.496	5.198	4.96	10.04	1	3	2.686933
B	2	0.48193	0.241	2.526	4.10	7.55	2	1	2.652133
AB	2	0.19276	0.096	1.010			2	2	3.341767
ERROR	10	0.95409	0.095				2	3	2.062300
TOTAL	17	2.21227					B		
COEFICIENTE DE VARIACION: 12.2668%				A = PRODUCTO					
				B = DOSIS					
							1		2.747033
							2		2.432517
							3		2.374617
							A		
							1		2.684044
							2		2.352067
							TOTAL		2.51806

## VII. CONCLUSIONES.

## A. RESPECTO DE LOS MEJORADORES Y NIVELES DE APLICACION.

Las enmiendas  $S_2$  y  $CaSO_4$  sustituyeron el sodio intercambiable del suelo, favoreciendo su rehabilitación; sin embargo hay diferencias entre ambos que determinan que cada una sea eficiente en la corrección de una característica en particular, no así en otra. Esto quiere decir que no hay enmienda que sea ideal en la corrección total del suelo.

El azufre elemental, es eficiente en la disminución de la conductividad eléctrica, a pesar de que en estos suelos no sobrepasa el nivel crítico. Manifestó su acción de disminución llevándola de 3.24 mmhos/cm a 1.6 mmhos/cm con un nivel de aplicación de 10.5 meq/100g aunque con un nivel menor de aplicación ya se tiene un valor adecuado.

Esta enmienda presentó mediano desplazamiento del sodio intercambiable, reduciendo el PSI únicamente a valores de alrededor de 10.

Fue sin duda la mejor en la disminución del contenido de humedad del suelo retenida a altas tensiones, aumentando en 6 por ciento la disponibilidad de agua para las plantas.

El sulfato de calcio, en menor grado, disminuyó la conductividad eléctrica, pero resultó muy efectivo en el desplazamiento del sodio intercambiable y neutralización del pH con un nivel de aplicación de 7.0 meq/100 g.

Apreciando lo anterior y recalcando en que éstos suelos no son salinos y que actualmente se encuentran en un proceso de sodificación, se determina que el mejorador de mayor efectividad es el sulfato de calcio con un nivel de aplicación de 7.0 meq/100g, aunque lo ideal es utilizar una combinación de ambas enmiendas.

## B. RESPECTO DE LA RESPUESTA BIOLÓGICA DEL CULTIVO.

El desarrollo de un cultivo es una manifestación indirecta de problemas existentes en el suelo. Al pretender la recuperación de un suelo problema, se desea que éste llegue a ser adecuado desde el punto de vista físico y químico para que el cultivo encuentre un medio adecuado a su desarrollo y producción.

En el presente caso el cultivo Sorghum vulgare L. observado en sus variables largo de hoja, ancho de hoja, altura de planta y rendimiento tuvieron una respuesta positiva para ambos mejoradores, habiendo sido el mejor correspondiente al sulfato de calcio.

Debido a que el cultivo responde positivamente al sulfato de calcio en cualquiera de sus niveles de aplicación y considerando que éste dio mejores resultados en cuanto a la respuesta física y química del suelo, se le considera como el mejorador efectivo con un nivel de aplicación de 7.0 meq/100g.

## VIII. RECOMENDACIONES

Debe incrementarse los estudios para ubicar la distribución espacial de las áreas afectadas dentro del Distrito de Riego y el país en general, así también el grado de afectación que presentan. Estudiar el origen del problema de sales y/o sodio intercambiable para que el control sea efectivo, combatiendo las causas y no los efectos.

Implementar estudios como el presente, probando otros productos o métodos y utilizar cultivos indicadores que sean medianamente sensibles a la salinidad. Incluso en el área experimental empleada para el presente ensayo se espera que los mejoradores utilizados produzcan algún efecto posterior, por lo que es conveniente, empleando el cultivo indicador, realizar un análisis para determinar la conveniencia de las enmiendas desde el punto de vista económico; considerando que el costo de sulfato de calcio para la recuperación de una hectárea de terreno, utilizando 7 meq/100g; es de Q. 3,570.72

Para el caso del valle de La Fragua, deben hacerse estudios de capas impermeables en el suelo y diseñar drenajes para evacuar las aguas, principalmente de las colas de riego, que son las que tienden a acumular la mayor cantidad de sales en áreas específicas. Esto tiene razón de ser en vista de que la circulación del agua dentro del suelo es mayormente en sentido horizontal.

El problema que se manifiesta específicamente en el valle de La Fragua, en cuanto a suelos que se encuentran en proceso de sodificación, puede eliminarse empleando un método químico. Debe utilizarse sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) a razón de 7.0 meq/100g de suelo y complementarse con láminas de agua que propicien el lavado de sales desplazadas fuera del área afectada.

Probar un método que combine ambas enmiendas en forma alternada. Utilizar inicialmente sulfato de calcio con dosis de 7.0 meq/100g seguido al período de reacción de éste, aplicar azufre elemental con dosis de 7.0 meq/100g ambos acompañados por láminas de agua para evacuar las sales desplazadas del área afectada. Este método se fundamenta en que cada enmienda es complementaria de la otra en la recuperación del suelo afectado por acumulación de sodio intercambiable.

## IX. BIBLIOGRAFIA

1. ACEVES NAVARRO, E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 40 p.
2. ACEVES NAVARRO, L. 1981. Los suelos ensalitrados y los métodos para su recuperación. México, Universidad Autónoma de Cahpingo. 224 p.
3. ARAGON CASTILLO, B.B. 1983. Enmiendas de suelos salino-sódicos del área de Placetas anivel de laboratorio y análisis preliminar del problema en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 102 p.
4. CRUZ, J.R. DE LA. 1976. Clasificación de zonas de vida en Guatemala, basado en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
5. EGURROLA GIRON, A.L. 1988. Evaluación de enmiendas de suelos s<sup>o</sup>dicos del área de Amapala (Asunción Mita, Jutiapa) bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 64 p.
6. ESTADOS UNIDOS. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA. 1985. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salino-sódicos. Traducido por N. - Sánchez Durán. México, Editorial L.A. Richards. 172 p.
7. FERNANDEZ, C. Estudio de la calidad del agua de riego en el canal principal de la Unidad de riego de La Fragua. Guatemala.  
  
Sin publicar.
8. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Tarjetas de Control de los años 1977-1986. Estacion tipo A, La Fragua.-  
  
Sin publicar.
9. HERNANDEZ DIAZ, P.D. 1980. Efectos de fertilización nitrogenada y diferentes formas de riego, aplicadas al cultivo de sorgo, - en un suelo Chicaj del valle de La Fragua. Tesis Ing. Agr. -- Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 72 p.

10. MEXICO. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. DIRECCION GENERAL DE DISTRITOS DE RIEGO. 1976. Tolerancia de los Cultivos a las sales. SARH. Memorandum Técnico no. 372. 42 p.
11. SIMMONS, C.S.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.

vo. Bo.  
*Patuallo*



XI. ANEXO.

A. ANALISIS GRANULOMETRICO DEL PERFIL DEL SUELO.

B. CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION E INFILTRACION BASICA.

## ANALISIS GRANULOMETRICO DEL PERFIL DEL SUELO.

De acuerdo a los resultados del análisis de las curvas granulométricas (Gráficas 13, 14, 15 y 16) de los diferentes horizontes del perfil del suelo, encontrados en el pozo de observación en el área de estudio, se puede mencionar lo siguiente:

- A. Los materiales de todo el perfil son muy heterogéneos, incrementándose la heterogeneidad a medida que se profundiza.
  
- B. El 50% del material de los horizontes es de un tamaño menor a los 2.8 milímetros.
  
- C. Utilizando el diámetro del 10% de partículas, se determinó que aproximadamente la permeabilidad se encuentra entre 1 y 10 cm/día (Gráfica 17), rango dentro del cual se encuentra el valor de infiltración básica determinada a partir del Cuadro 26.

Utilizando la información anterior, se puede indicar que el estrato que ofrece mejores condiciones de drenajes es el horizonte B.

**ANALISIS GRANULOMETRICO = MECANICO**

LOCALIZACION: LA FRAGUA, ZACAPA MUESTRA: 1  
 PROFUNDIDAD: 0 - 39 cm FECHA: Julio - 1990  
 REALIZADO POR: EDWARD AMED NORIEGA

PESO DE MUESTRA SECA: 775 gr

CUADRO 24: ANALISIS DE TAMIZADO DEL HORIZONTE A

TAMIZ No.	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA ACUMULADO
1	12.50	00.00	00.00	100.00
2	9.50	1.85	0.24	99.76
3	6.30	58.10	7.50	92.26
4	4.75	83.00	10.71	81.55
5	3.35	119.60	15.43	66.12
6	2.36	106.12	13.69	52.43
7	1.70	79.25	10.23	42.20
8	1.18	79.10	10.20	32.00
9	0.85	56.00	7.23	24.77
10	0.60	49.30	6.36	18.41
11	0.43	40.10	5.17	13.24
12	0.30	28.50	3.68	9.56
13	0.21	23.40	3.02	6.58
14	0.15	16.30	2.10	4.50
=	=	34.40	4.44	0.00

## ANALISIS GRANULOMETRICO - MECANICO

LOCALIZACION: LA FRAGUA, ZACAPA MUESTRA: 2  
 PROFUNDIDAD: 39 - 75 cm FECHA: Julio-1990  
 REALIZADO POR: EDWARD AMED NORIEGA

PESO DE MUESTRA SECA: 950 gr

**CUADRO 25: ANALISIS DE TAMIZADO DEL HORIZONTE B**

TAMIZ No.	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA ACUMULADO
1	12.50	0.00	0.00	100.00
2	9.50	19.40	2.04	91.74
3	6.30	59.10	6.22	97.96
4	4.75	172.30	18.14	73.60
5	3.35	153.95	16.21	57.39
6	2.36	120.60	12.69	44.70
7	1.70	83.05	8.74	35.96
8	1.18	80.25	8.45	27.51
9	0.85	62.50	6.58	20.93
10	0.60	49.40	5.20	15.73
11	0.43	40.60	4.27	11.46
12	0.30	37.25	3.92	7.54
13	0.21	26.00	2.74	4.86
14	0.15	16.00	1.68	3.22
*	*	29.60	3.12	0.00

## ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO

LOCALIZACION: LA FRAGUA, ZACAPA MUESTRA: 3  
 PROFUNDIDAD: 75-119 cm FECHA: Julio-1990  
 REALIZADO POR: EDWARD AMED NORIEGA

PESO DE MUESTRA SECA: 875 gr

CUADRO 26: ANALISIS DE TAMIZADO DEL HORIZONTE BC

TAMIZ No.	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA ACUMULADO
1	12.50	0.00	0.00	100.00
2	9.50	0.00	0.00	100.00
3	6.30	20.70	2.37	97.63
4	4.75	60.00	6.86	90.79
5	3.35	101.30	11.58	79.19
6	2.36	116.40	13.30	65.89
7	1.70	92.40	10.56	55.33
8	1.18	86.10	9.84	45.49
9	0.85	62.40	7.13	38.36
10	0.60	58.50	6.69	31.87
11	0.43	53.60	6.13	25.54
12	0.30	44.20	5.05	20.49
13	0.21	40.50	4.63	15.86
14	0.15	34.30	3.92	11.95
*	*	104.60	11.95	0.00

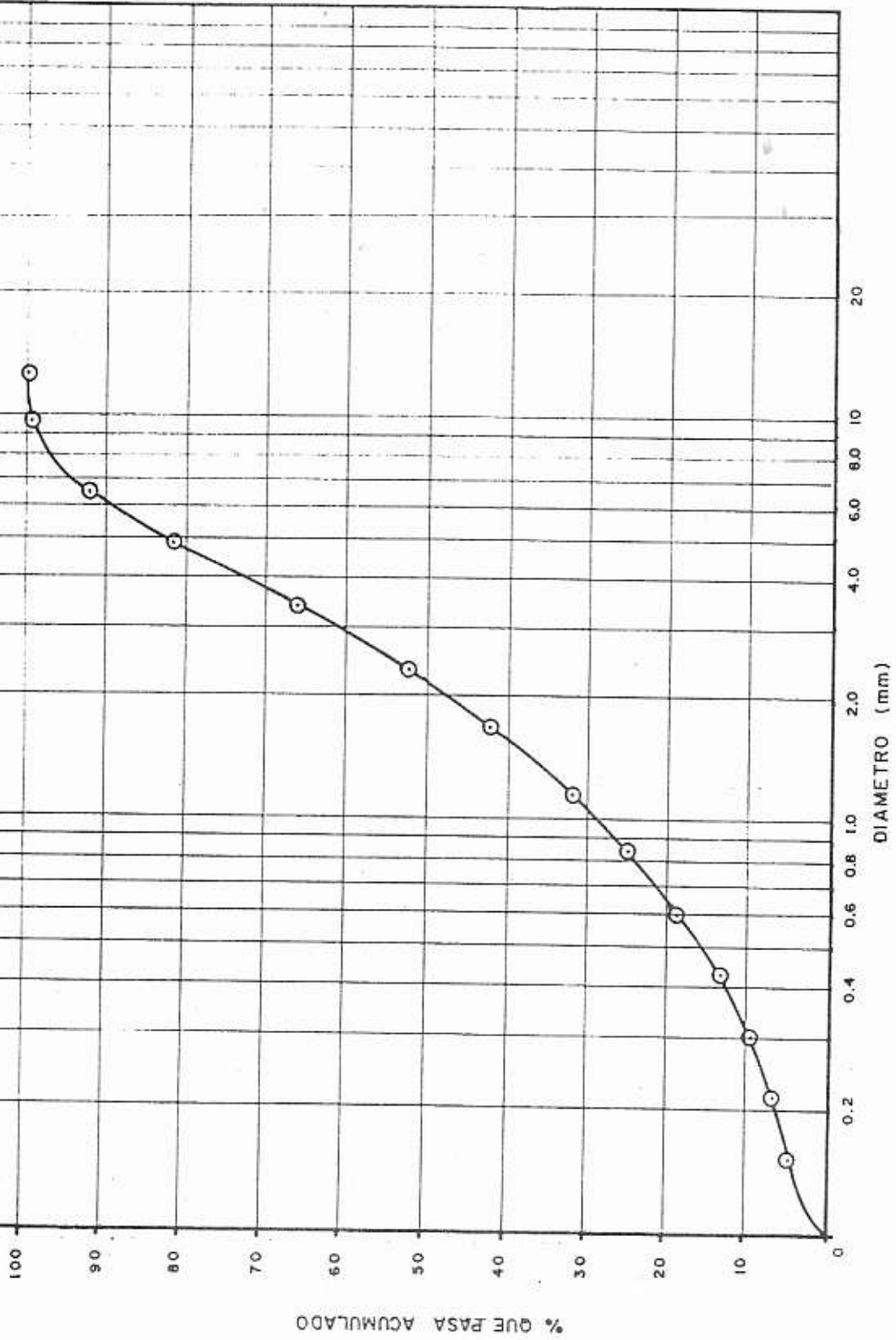
## ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO

LOCALIZACION: LA FRAGUA, ZACAPA MUESTRA: 4  
 PROFUNDIDAD: 119 cm FECHA: Julio-1990  
 REALIZADO POR: EDWARD AMED NORIEGA

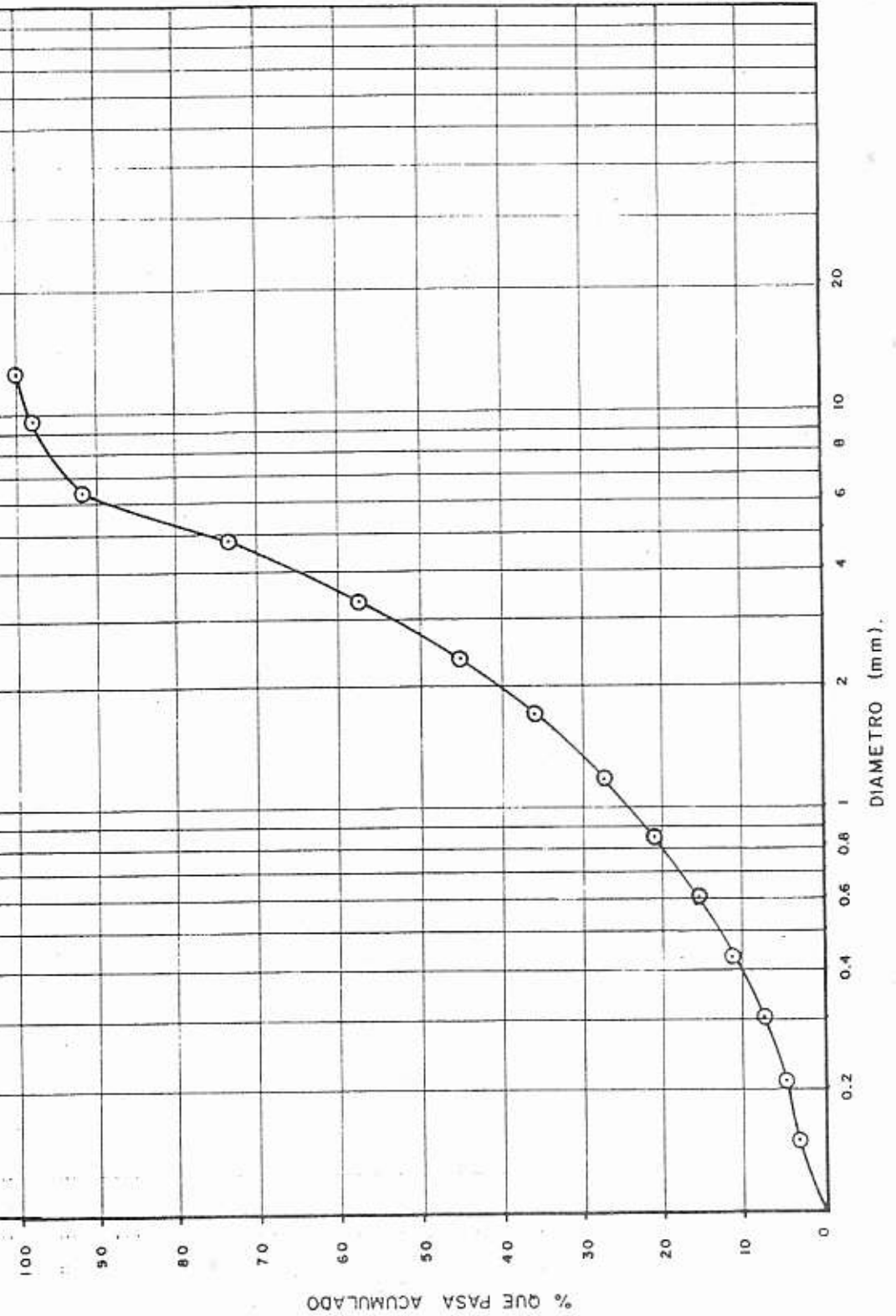
PESO DE MUESTRA SECA: 825 gr

CUADRO 27: ANALISIS DE TAMIZADO DEL HORIZONTE C

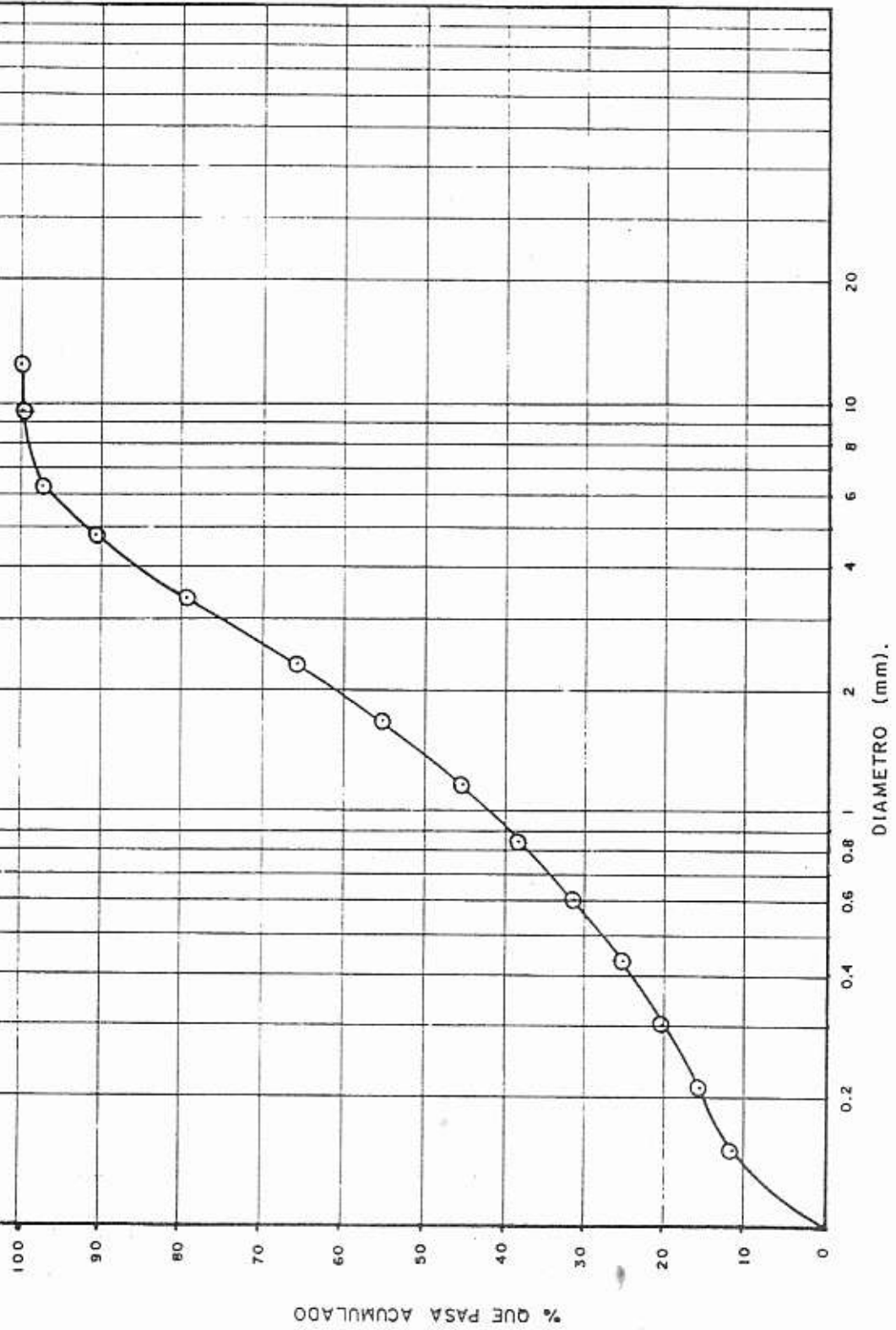
TAMIZ No.	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA ACUMULADO
1	12.50	0.00	0.00	100.00
2	9.50	0.00	0.00	100.00
3	6.30	26.90	3.26	96.74
4	4.75	82.10	9.95	86.79
5	3.35	105.50	12.79	74.00
6	2.36	89.00	10.79	63.21
7	1.70	62.90	7.62	55.59
8	1.18	58.90	7.14	48.45
9	0.85	43.10	5.22	43.23
10	0.60	41.00	4.97	38.26
11	0.43	36.70	4.45	33.81
12	0.30	31.20	3.78	30.03
13	0.21	32.90	3.99	26.04
14	0.15	38.20	4.63	21.41
Σ	Σ	176.60	21.41	0.00



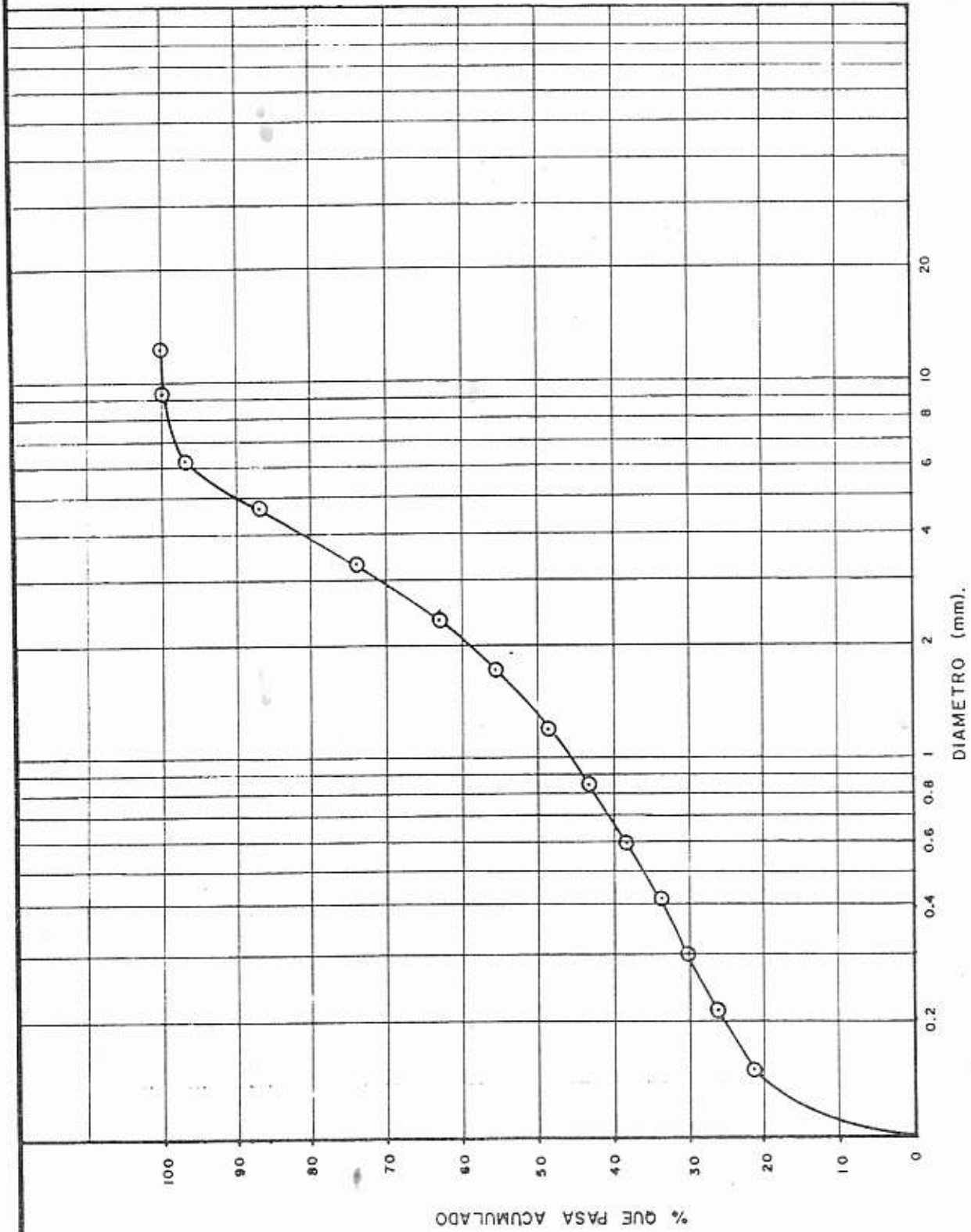
GRAFICA 13: CURVA GRANULOMETRICA DEL HORIZONTE "A"



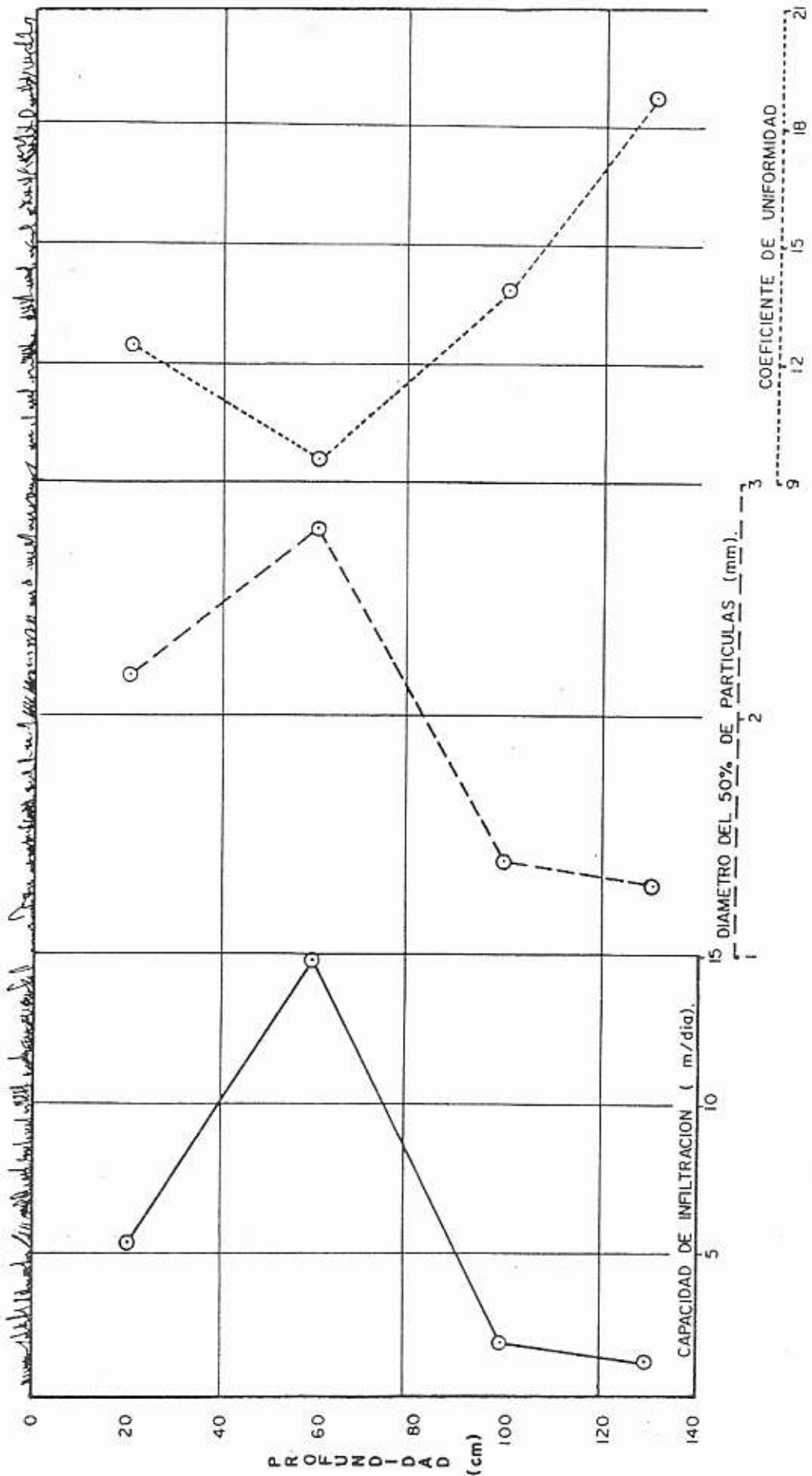
GRAFICA 14: CURVA GRANULOMETRICA DEL HORIZONTE "B"



GRAFICA 15: CURVA GRANULOMETRICA DEL HORIZONTE "BC"



GRAFICA 16: CURVA GRANULOMETRICA DEL HORIZONTE "C"



GRAFICA 17: PARAMETROS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO

CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACION  
E INFILTRACION BASICA

A. VELOCIDAD DE INFILTRACION.

Se obtuvo a partir de los datos registrados en el Cuadro 13 y ordenados en Cuadro 14, en el que la velocidad de infiltración para cada intervalo de tiempo se determinó de la manera siguiente:

$$I = (\text{diferencia de lecturas} \times 60) / (\text{intervalo de tiempo}).$$

B. KOSTIAKOW-LEWIS.

Utilizando la información del Cuadro 15 se calculó dicho modelo por el método de los promedios así:

$$\begin{array}{lcl} \text{Ecuación : 1} & 1.7988 = 6 \log K. + n & (6.4188) \\ \text{" : 2} & - 1.9980 = 6 \log K. + n & (13.4422) \end{array}$$

Multiplicando la ecuación 2 por (-1) y luego restando.

$$\begin{array}{rcl} 1.7988 & = & 6 \log K. + n \quad (6.4188) \\ \underline{1.9980} & = & \underline{6 \log K. - n} \quad (13.4422) \\ 3.7968 & = & 0 \quad - n \quad (7.0234) \\ n & = & 0.541 \end{array}$$

Sustituyendo en valor de n, en la ecuación 1, tenemos

$$\begin{array}{lcl} 1.7988 & = & 6 \log K. + (-0.541) \quad (6.4188) \\ K & = & 7.561 \end{array}$$

El modelo de KOSTIAKOW-LEWIS, queda de la manera siguiente

$$I = 7.561 (t)^{-0.541}$$

Donde: I = Velocidad de infiltración en cm/hora.  
t = Tiempo de infiltración en minutos.

### C. INFILTRACION BASICA

Esta se obtuvo mediante la fórmula

$$I_b = K(-600 n)^n$$

$$I_b = 0.33 \text{ centímetros/hora}$$



LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE ENMIENDAS DE SUELOS EN PROCESO DE SODIFICACION, EN EL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA, BAJO CONDICIONES DE CAMPO".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: EDWARD AMED NORIEGA AVILA

CARNET No. 79-15359

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:

Ingenieros Agrónomos Salvador Castillo, Victor Hugo Méndez y Alfredo Mejicanos.

El Asesor y Autoridades de la Facultad de Agronomía hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.

Ing. Agr. ~~Victor Rolando Aragón~~  
ASESOR

Vo.Bo. Ing. Agr. Hugo Tobías  
DIRECTOR IIA



IMPRIMASE

Ing. Agr. Anibal Martínez  
DECANO

