

EFFECTO DE LA SALINIZACION DEL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO Y  
PRODUCCION DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Tesis de Grado  
para  
Magister Scientiae

Jorge Eliecer Colmenares Mora



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales  
Turrialba, Costa Rica  
Julio, 1972

EFFECTO DE LA SALINIZACION DEL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO Y  
PRODUCCION DEL FRIJOL ( Phaseolus vulgaris L.)

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para optar el grado

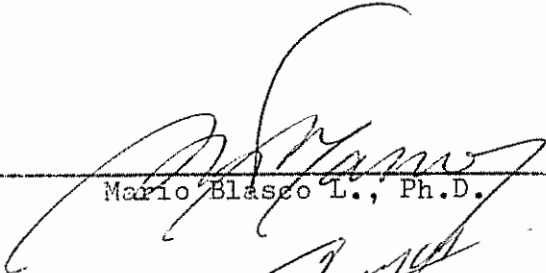
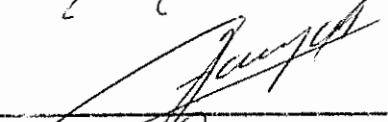
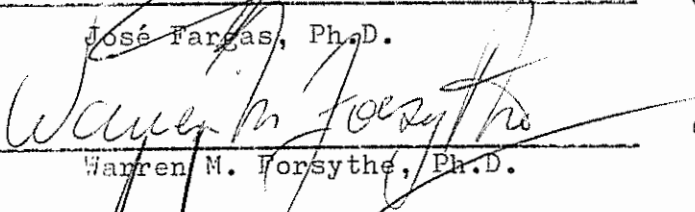
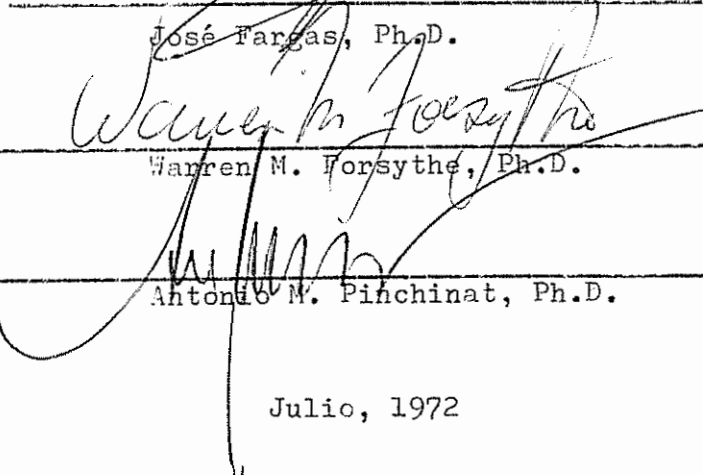
de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A.

APROBADA:

 ----- Mario Blasco L., Ph.D.	Consejero
 ----- José Fargas, Ph.D.	Comité
 ----- Warren M. Forsythe, Ph.D.	Comité
 ----- Antonio M. Pinchinat, Ph.D.	Comité

Julio, 1972

A la memoria de mi padre

A mi madre

A mi querida esposa

A mis hermanos

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece en forma especial al Dr. Mario Blasco L., consejero principal a cuyo estímulo, orientación y cooperación se debe la feliz terminación de este trabajo.

A los doctores José Fargas, Warren M. Forsythe y Antonio Pinchinat, miembros del comité consejero, cuya colaboración y observaciones en los aspectos de sus respectivas especialidades permitieron un mejor enfoque del tema, al Dr. Kozen Igue, ex-miembro del comité consejero y al Dr. H. W. Fassbender.

Al Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas por haber otorgado la beca que hizo posible la realización de los estudios y la permanencia en este Centro.

A la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) por haber concedido la licencia de trabajo correspondiente.

A Italia, su esposa por su colaboración en las determinaciones de laboratorio, elaboración de las figuras del trabajo y por su constante estímulo y cariñosa dedicación.

Al personal del departamento de estadística por su valiosa colaboración.

A mis profesores, compañeros, amigos y a toda aquella persona que en una u otra forma colaboraron en la terminación de este trabajo.

## BIOGRAFIA

El autor nació en Bogotá (Colombia) el 29 de diciembre de 1942.

Realizó sus estudios secundarios en el Externado Nacional "Camilo Torres" de la capital colombiana, obteniendo el título de bachiller en 1960.

En 1961 ingresó a la Facultad de Agronomía de Palmira (Universidad Nacional de Colombia) en donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en el año de 1966.

Desde este mismo año ingresó a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), en donde prestó sus servicios como Ingeniero Agrónomo adjunto al programa de reconocimiento detallado de los suelos del Valle del Cauca - supervisor técnico del Programa de Fertilizantes FAO-CVC y finalmente en la clasificación y reconocimiento de los suelos salinos del Valle del Cauca.

En enero de 1971 ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, obteniendo el grado de Magister Scientiae en julio de 1972.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1 Efecto de las sales sobre los suelos .....	3
2.2 Efecto del sodio en los suelos .....	5
2.3 Diagnóstico de suelos salinos y sódicos .....	8
2.4 La salinidad en relación con las plantas .....	8
2.5 Respuesta del frijol a sales y sodio .....	12
2.6 Disponibilidad de agua en suelos salinos y sódicos .	16
2.6.1 Métodos para evaluar el agua en el suelo ....	18
2.7 Las formulaciones matemáticas del intercambio iónico	
en suelos salinos .....	19
2.7.1 Intercambio aniónico en suelos salinos .....	21
3. MATERIALES Y METODOS .....	23
3.1 Suelo .....	23
3.1.1 Localización y características .....	23
3.1.2 Muestreo y análisis preliminares .....	24
3.1.3 Preparación del suelo .....	26
3.2 Labores en el invernadero .....	27
3.2.1 Arreglo experimental .....	27
3.2.2 Variedad de frijol. Siembra .....	28
3.2.3 Control de la humedad del suelo .....	28
3.2.4 Cosecha y recolección de datos .....	29
3.3 Determinaciones posteriores a la cosecha .....	29
3.3.1 Determinaciones físicas .....	29
3.3.2 Determinaciones químicas .....	30
3.3.3 Análisis foliares .....	31
3.3.4 Cálculo de actividades iónicas y potenciales	
químicos (Intensidad) .....	32
3.4 Análisis estadístico de los resultados .....	33
4. RESULTADOS .....	36
4.1 Efecto de las sales sobre la producción .....	36
4.1.1 Salinización de los suelos y comportamiento	
de las plantas en el invernadero .....	36
4.1.2 Respuesta de la producción a los efectos de	
salinidad .....	38
4.2 Concentración iónica en suelos y plantas .....	42

	<u>Página</u>
4.3 Actividad iónica y potenciales químicos del suelo .	47
4.4 Variación de las propiedades químicas del suelo después de la cosecha .....	52
4.5 Comportamiento de algunas propiedades físicas del suelo .....	52
4.5.1 Capacidad de retención de humedad y espacio aéreo.....	52
4.5.2 Comportamiento de la succión osmótica y la succión total .....	59
4.5.3 Efecto de la penetrabilidad del suelo .....	59
5. DISCUSION .....	63
6. CONCLUSIONES .....	69
7. RESUMEN .....	71
7a. SUMMARY .....	73
8. LITERATURA CITADA .....	75
9. APENDICES.....	82

## LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro N<sup>o</sup></u>		<u>Página</u>
1	Rendimiento en gramos de frijol, número de vainas y de granos por planta .....	40
2	Análisis de variancia de los valores de rendimiento en gramos .....	41
3	Resumen de los resultados analíticos en ppm .....	43
4	Actividad iónica en soluciones de suelo en mol/litro x 10 <sup>-2</sup> .....	50
5	Potenciales químicos de Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> y K <sup>+</sup> .....	51
6	Cálculo de la succión osmótica y la succión total en bares para los tratamientos empleados .....	61
7	Cálculo de la succión osmótica y succión total en macetas, en bares, entre los límites de humedad establecidas en el ensayo, para los tratamientos de máxima y mínima producción en cada sal .....	62



## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura N<sup>o</sup></u>		<u>Página</u>
1	Curvas de salinización del suelo .....	37
2	Líneas de regresión de curvas de salinización ...	37
3	Respuesta en rendimiento a concentración salinas medidas en términos de conductividad eléctrica ...	39
4a	Curvas de desorción, porosidad y espacio aéreo para suelos sin adición de sales .....	54
4b	Curvas de desorción, porosidad y espacio aéreo en tratamientos contrastantes de NaCl .....	55
4c	Curvas de desorción, porosidad y espacio aéreo en tratamientos contrastantes de CaCl <sub>2</sub> .....	56
4d	Curvas de desorción, porosidad y espacio aéreo en tratamientos contrastantes de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	57
5e	Curvas de desorción, porosidad y espacio aéreo en tratamientos contrastantes de MgSO <sub>4</sub> .....	58

## 1. INTRODUCCION

Uno de los problemas graves que pueden presentarse en los suelos, es la acumulación de sales solubles, un exceso de sodio intercambiable o ambas cosas a la vez. En suelos explotados bajo condiciones de riego, la salinidad es una amenaza constante a la producción, especialmente cuando las condiciones climáticas y morfológicas la estimulan y cuando el manejo del riego y del suelo es deficiente, pudiendo presentarse cambios económicos y sociales de importancia, debido al deterioro de los suelos y fracasos que conducen al abandono de las tierras.

Las regiones en donde el problema de la salinidad se hace más notorio son, por norma general, aquellas localizadas en zonas áridas o semiáridas, sujetas a intensa evaporación. En numerosos casos tales áreas están formadas por suelos de origen aluvial, lo cual las hace fácilmente sujetables a irrigación o sufren directamente los efectos de acumulaciones cercanas de agua salina. Varios países de América Tropical afrontan en la actualidad progresivos procesos de salinización en algunos de sus suelos, lo cual los ha obligado al establecimiento de programas definidos, tendientes a la erradicación, control y prevención del problema o a la selección de cultivos tolerantes a las sales.

Las sales afectan las plantas a través de efectos tóxicos, osmóticos y desbalanceamiento en la nutrición mineral. Entre los cultivos considerados susceptibles a los efectos de la salinidad se encuentra el frijol, precisamente una de las bases dietéticas de alto porcenta-

je de la población latinoamericana y por cuya tecnificación se labora árdamente en la actualidad.

Se planeó el presente trabajo, como una contribución a la investigación de los efectos que diversas sales ejercen sobre el cultivo del frijol, cuando se encuentran presentes en la solución del suelo, determinando sus influencias sobre el crecimiento y producción. Sus objetivos fueron:

1) Relacionar el efecto de diversas concentraciones de sales, evaluando su concentración en términos de conductividad eléctrica, sobre la producción de frijol.

2) Evaluar la producción y desarrollo de plantas de frijol en suelos con diferentes conductividades eléctricas del extracto de saturación, producidas por las sales.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Efecto de las sales sobre los suelos

Las proporciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  en la corteza terrestre varían entre 2 y 3 %, mientras las de  $\text{Cl}^-$  y S oscilan entre 0,05 y 0,07 %, las cuales por meteorización pasan a la solución del suelo, de acuerdo con Clarke citado por Villagarcía (82).

Por falta de lavados, estas sales más las que contiene el agua de riego, se depositan en el área radical a causa de la evapotranspiración, el drenaje deficiente, el nivel freático alto o condiciones de baja permeabilidad, esto último causado por texturas muy finas o por formación de costras endurecidas impermeables de arcilla, caliche o sílice (70).

### Características de los suelos salinos

Los suelos salinos contienen sales solubles en cantidades tales que interfieren en el crecimiento de las plantas. Por definición, la conductividad eléctrica del extracto de saturación ( $\text{CE}_e$ ) es mayor de 4 mmho/cm el porcentaje de  $\text{Na}^+$  intercambiable (PSI) es menor de 15; el pH del suelo saturado es menor de 8,5 y tales suelos corresponden al "álcali blanco" de Hilgard o al "solonchak" de los científicos rusos (2).

El  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Mg}^{++}$  son los cationes predominantes en los suelos normales de regiones áridas, pero a medida que se depositan las sales solubles de las aguas de riego, se presentan cambios de composición (70).

Comparando suelos salinos con no salinos, Wiegand (86) halló que en cuanto a las características físicas y químicas, las variables más notables fueron: toma acumulativa de iones, proporción final de absorción de iones, conductividad eléctrica del extracto de saturación, porcentaje de  $\text{Na}^+$  intercambiable, porcentaje de arcilla, posición topográfica relativa, porcentaje de arena, pendiente superficial y capacidad de intercambio catiónico.

#### Efecto de las sales sobre las propiedades químicas

Las sales que se encuentran más comúnmente en el perfil de un suelo salino son casi siempre una mezcla de los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y aniones de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{NO}_3^-$  (13). El pH es un factor de importancia en los suelos afectados por salinidad y existe cierta relación, no muy constante, entre su valor y algunas propiedades químicas (70). Babcock (4), demostró que las propiedades de intercambio de los suelos afectados por sales, pueden ser muy diferentes de los considerados normales. Por otra parte Misra (58), demostró que cuando un suelo alcalino se lava repetidamente con soluciones diluídas de  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{CaSO}_4$ , el complejo de cambio se enriquece con cationes divalentes y suceden procesos muy diferentes a los que se observan en suelos normales.

Kelley (45), indica que la determinación cuantitativa de bases intercambiables en suelos de climas áridos, es y, generalmente excede, a la capacidad de cambio. La conductividad eléctrica del extracto de saturación está asociada con el total de sólidos extractables, observándose que cuando es de 2 mmho/cm a 25 C puede perjudicar a las plantas más sensibles.

### Efecto de las sales sobre las propiedades físicas

Los suelos salinos presentan generalmente una estructura favorable y son fácilmente permeables al agua y al aire. Es típico de los suelos salinos poseer una superficie desigual, cubierta de pequeñas manchas prominentes y en las cuales permanece la sal sobre áreas que se conservan húmedas más tiempo, después de la iniciación de la sequía (70). Un suelo salino a capacidad de campo o en el punto de marchitamiento tiene una concentración de sales que equivale a dos y cuatro veces más que la determinada en el extracto de saturación, dependiendo de la textura (61). Los suelos arcillosos retienen mayor cantidad de agua que los arenosos, por cuanto tienen muchas partículas más por unidad de volumen, de tal forma que al concentrarse la solución el incremento en la succión osmótica será más apreciable en los de textura gruesa (35). Massey y Windsor (54), estudiaron suelos con diferente capacidad de retención de agua y densidad aparente en relación con la salinidad, encontrando altas correlaciones negativas entre los procesos de salinización y el crecimiento de plantas, con graves efectos debidos a la textura.

#### 2.2. Efectos del sodio en los suelos

Los suelos sódicos contienen suficiente  $\text{Na}^+$  intercambiable para interferir en el crecimiento de las plantas, pero su contenido de sales es bajo (2). De acuerdo con el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, un suelo es sódico cuando el contenido de  $\text{Na}^+$  intercambiable es mayor de 15%, la conductividad eléctrica del extracto de saturación es menor de 4 mmho/cm a  $25^{\circ}\text{C}$  y el pH del suelo saturado

generalmente es mayor de 8,5 llegando a veces hasta 10. Corresponde al denominado "solonetz" por los rusos (70).

Cuando el  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Mg}^{++}$  se precipitan como sales de sulfato favorecidas por el predominio de sales alcalinas de  $\text{Na}^+$ , se produce aumento de este último en el complejo de intercambio, si el  $\text{Na}^+$  se halla en proporciones cercanas al 50% de los cationes del suelo, mostrando entonces marcada influencia sobre las propiedades físicas y químicas (13).

Entre los efectos que produce el  $\text{Na}^+$  sobre las propiedades químicas, Babcock (4) observó la dificultad para determinar la capacidad de intercambio catiónico debido a procesos de adsorción de  $\text{Na}^+$ , el cual puede ser intercambiable con isótopos de  $\text{Na}^+$ , pero no con  $\text{Ca}^{++}$  o  $\text{NH}_4^+$ . Bower (18) encontró también que en suelos con carbonatos de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , la determinación de la capacidad de intercambio es baja a causa de que por disolución de estas sustancias en la solución de saturación (acetato de sodio) se previene la completa remoción del  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  intercambiables. Comprobó además, que la determinación de la capacidad de intercambio catiónico con acetato de amonio se incrementa entre 3,5 y 7,5%, lo cual reafirma lo establecido por Kelley (46), según el cual las soluciones neutras conducen a errores en la determinación del porcentaje de  $\text{Na}^+$  intercambiable y la capacidad de intercambio en suelos alcalinos afectados por  $\text{Na}^+$ .

Cuando existen sales en solución o cuando se suministra un catión divalente, el efecto del  $\text{Na}^+$  se reduce (2). Schofield y Taylor (72), idearon un método para calcular el "déficit de calcio" o sea la cantidad de  $\text{Ca}^{++}$  o yeso, que debe suministrarse, para saturar el suelo con

cationes divalentes y prevenir así el deterioro de la estructura, mientras se lava para eliminar el  $\text{Na}^+$  y las sales, pero Bower (21), señala que no se requieren lavados hasta que el contenido de  $\text{Na}^+$  supera a 2 meq/100 g de suelo.

Cuando el contenido de  $\text{Na}^+$  sobrepasa de 10 a 20%, el suelo tiende a volverse disperso, especialmente bajo condiciones de baja salinidad (19), y si la estructura es fina, puede formarse una capa densa de suelo, de baja permeabilidad, con estructura prismática o columnar, sobre el cual hay acumulación de materia orgánica dispersa y disuelta (13). Por su parte Pearson (60), señala que debido al exceso de sodio intercambiable, se produce dispersión en los coloides, disminuyendo la porosidad y con ello la capacidad de movimiento de agua y aire y el crecimiento radicular, indicando además que si en la solución del suelo hay más sodio que calcio, las plantas pueden acumularlo en cantidades perjudiciales, aun cuando el porcentaje de sodio no sea de 15%.

A causa de los efectos de compactación, las plantas se ven sujetas a dificultades en la toma de agua y nutrimentos, de acuerdo con la habilidad de cada una para penetrar en el suelo y extraerlos sin absorber cantidades tóxicas de los iones presentes. Por tal razón, Wadleigh, Gaugh y Strong (85), consideraron conveniente estudiar la habilidad de las raíces de diferentes cultivos, en forma comparativa, para penetrar en un suelo con un contenido específico de sales y su capacidad para extraer agua. Hallaron que pocas raíces de frijol penetraron en una capa de suelo con 0,1% de  $\text{NaCl}$ , no se halló ninguna en una capa de 0,25% y aunque la alfalfa y el algodón mostraron mejor habilidad, se observó en general



que la capacidad de las raíces para absorber agua disminuía al aumentar la salinidad.

Taylor y Gardner (77) y posteriormente Taylor, Roberson y Parker (76) encontraron, igualmente, que la penetración de las raíces se reducía cuando la resistencia del suelo a un penetrómetro estático se elevaba entre 25 y 30 bares, sin penetración a resistencias mayores independientemente del material, mientras a capacidad de campo y 19 bares de resistencia se observó buen enraizamiento.

### 2.3. Diagnóstico de suelos salinos y sódicos

La secuencia de las determinaciones para el diagnóstico de un suelo afectado por sales, de acuerdo con el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (70), es:

- a) concentración total de sales, medida a través de la conductividad eléctrica del extracto de saturación;
- b) porcentaje de  $\text{Na}^+$  intercambiable;
- c) conductividad hidráulica;
- d) rata de adsorción de  $\text{Na}^+$ .

Otras determinaciones como pH, porcentaje de saturación de agua, capacidad de intercambio de cationes, contenido de iones tóxicos, textura, proporcionan información adicional.

### 2.4. La salinidad en relación con las plantas

Se ha señalado que los suelos salinos son fisiológicamente secos por dos razones: 1) la concentración osmótica de las sales incrementa el potencial negativo de agua, en tal forma que las raíces deben tomar agua contra una gradiente disminuida; 2) los niveles de concentración de sales

que toleran las plantas varía con las especies notablemente (75).

Las sales afectan a las plantas directamente: 1) por acumulación de iones tóxicos en los tejidos; 2) por incremento en la presión osmótica de la solución del suelo y 3) por alteraciones en la nutrición mineral (2). Numerosos investigadores han demostrado que las raíces se desarrollan menos en suelos salinos que en normales (19, 64, 76, 77) y a medida que el suelo se torna más salino, se observa pronunciado enanismo y grave descenso en los rendimientos (80). Eaton (30) señaló que a menor salinidad hay mayor pérdida de agua por las plantas, indicando que el concepto límite de tolerancia para cualquier planta parece ser un concepto intangible, ya que la muerte tiene lugar lentamente sobre un rango de concentraciones, pero en días cálidos las plantas pueden morir rápidamente.

Lunin y Gallatin (49) indicaron que en un suelo salinizado, la composición de la solución del suelo tiene mayor efecto sobre la composición catiónica de las plantas que la concentración de cationes intercambiables.

Gaugh y Wadleigh (38) demostraron la reducción progresiva del crecimiento en frijoles cultivados en soluciones de salinidad progresiva y los efectos equivalentes de las sales de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  de acuerdo con el anión presente ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ), según lo cual dedujeron que es más importante la concentración total de solutos que la naturaleza química de los mismos. Hayward, Long y Uhvits (43) obtuvieron resultados similares, pero indicaron además que el efecto de la concentración total

puede estar modificado por la composición de la solución salina, pues a igual presión osmótica los cloruros fueron más tóxicos y redujeron más el crecimiento que los sulfatos, independientemente de la sal y las plantas morían cuando la succión osmótica pasaba de 3 bares.

Riley y Barber (71) observaron mayores acumulaciones de sales en la interfase suelo-raíz a medida que aumentaba la concentración salina en la solución del suelo y la rata de transpiración, a causas de que era más rápido el movimiento de las sales hacia las raíces, que la capacidad de absorción de éstas. En general concentraciones isosmóticas de sales tienen efectos similares en el crecimiento de las plantas, pero cantidades excesivas de ciertos iones pueden ser tóxicas o tener efecto desfavorable sobre la nutrición o las condiciones físicas del suelo (3). Los científicos soviéticos conceden considerable importancia a la composición aniónica de las sales en relación con el crecimiento de las plantas, en tanto que los norteamericanos hacen mayor énfasis en la composición catiónica, aduciendo que los cationes son los que toman parte en las reacciones de intercambio en el suelo y por tanto controlan sus propiedades físicas y químicas, tal como lo comenta Allison (2).

La reducción en el desarrollo por efecto de la presión osmótica del medio radicular, se atribuye al déficit en la absorción de agua, aunque Bernstein (12) indica que la capacidad de absorción de agua no se afecta y que tal déficit se debe al proceso de adaptación de las células para soportar las condiciones adversas.

Ciertos iones ejercen efectos específicos sobre el crecimiento, independientemente de la presión osmótica, los cuales pueden ser de natu-

raleza tóxica o nutricional, tal como sucede con el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Bo}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y otros (70). Correspondiendo a ciertos niveles, la concentración de sales dentro de las células alteran la relación de la reacción metabólica de acuerdo con la especie, lo cual causa ciertas distorsiones al nivel celular. Estos efectos pueden ser visibles en forma de áreas necróticas, quemadura apical o de los bordes e inaptitud de la planta para cumplir su ciclo normal (41).

En relación con la nutrición, la respuesta de las plantas a la salinidad se complica por numerosos factores. Un exceso de  $\text{Na}^+$  generalmente es acompañado de bajo contenido de  $\text{Ca}^{++}$  y tiene efecto antagónico en la absorción de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{K}^+$  (3), pero Bernstein (11) encontró que para un porcentaje bajo de salinidad, manteniendo buenas condiciones físicas en el medio radicular, el porcentaje de  $\text{Na}^+$  afecta más las plantas que a porcentajes altos de salinidad, lo que indica que no hay efecto aditivo de sales y  $\text{Na}^+$ .

El  $\text{Cl}^-$  puede concentrarse en proporciones de 10.000-20.000 ppm de la materia seca cuando la concentración en el suelo es de 700 a 1.500 ppm ocasionando quemazones y aun la muerte (2). De acuerdo con Awad (3) cultivos sensibles al  $\text{Cl}^-$  muestran efectos a niveles relativamente bajos (2.000 - 10.800 ppm) mientras los tolerantes soportan aun 40.000 ppm y además el  $\text{CaCl}_2$  induce mayor absorción de  $\text{Cl}^-$  que el  $\text{NaCl}$  en frutales de hueso.

Concentraciones de  $\text{Na}^+$  menores de 500 ppm en las hojas producen efectos semejantes a los del  $\text{Cl}^-$ , aunque la respuesta de las plantas al  $\text{Na}^+$  intercambiable es complicada por numerosos factores, tales

como efectos tóxicos directos en especies sensibles, efectos indirectos por deterioro de la estructura del suelo y efectos nutricionales (2). Otros constituyentes de las sales pueden interferir en la nutrición normal de los cultivos, tal como sucede con el  $\text{SO}_4^{=}$  en exceso el cual reduce la toma de  $\text{Ca}^{++}$  y este a vez puede restringir la toma de  $\text{K}^+$  en frijol.

Según Richards (70) de acuerdo con la resistencia a la salinidad los cultivos pueden clasificarse así:

0 - 2 mmho/cm = salinidad muy baja, efectos casi nulos sobre el rendimiento.

2 - 4 mmho/cm = salinidad ligera, cultivos sensibles se afectan.

4 - 8 mmho/cm = salinidad media, la mayoría de los cultivos se ven afectados.

8 - 16 mmho/cm = salinidad fuerte, solo los cultivos tolerantes prosperan.

16 mmho/cm = salinidad muy fuerte, muy pocas plantas se desarrollan.

## 2.5. Respuesta del frijol a sales y sodio

El frijol es considerado por muchos investigadores como una de las plantas más sensibles a la salinidad (3,60,70,82,85). Bower (21) indica que la salinidad puede reducir los rendimientos en 25% sin que se hayan hecho perceptibles los síntomas. Bernstein (10) especifica además la sensibilidad al efecto del  $\text{Na}^+$ , indicando que en suelos sódicos puede afectarse severamente aun antes de que las condiciones físicas del suelo se hayan deteriorado, y la producción en tales suelos es de-

ficiente a causa del escaso desarrollo de las plantas y a la reducción de la floración.

Ravikovitch y Porath (64) estudiando el comportamiento del frijol en relación con la salinidad encontraron que la germinación se retardó algo en suelo levemente salino y en forma notable a media salinidad. Prisco y O'Leary (62) estudiando los efectos tóxicos y osmóticos de la salinidad producida por NaCl y Carbowax 1.540 (etilen glicol) sobre la germinación, hallaron que las semillas sujetas a succiones osmóticas de 0 a 8 bares producidos por NaCl sufrieron principalmente efecto osmótico y que a 12 bares el efecto fue osmótico y tóxico.

En estado más avanzado de crecimiento las plantas se ven afectadas de variadas formas. Pearson (59), encontró que el aumento de sodio en solución incrementa la absorción por la planta acumulándose principalmente en el tallo y raíces secundarias, señalando que cuando se absorbían cantidades altas de  $\text{Na}^+$ , cerca del 50% pasaba a las hojas.

Lunin, Gallatin y Batchelder (50) hallaron que la salinización no tuvo efecto apreciable sobre el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  intercambiables, pero sí sobre  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  y al igual que otros investigadores (37,47,51) señalaron la notable influencia sobre la transpiración y el grado de absorción de agua. Ravikovitch y Porath (64) indican que las plantas de frijol, se tornan pequeñas, con menor número de hojas, de peciolo más cortos y más pequeños, pero la adición de nutrientes promueve el desarrollo de las plantas y la adaptación al suelo salino.

Lunin, Gallatin y Batchelder (50) encontraron aumento en la producción de vainas con niveles de salinidad baja, respecto al testigo, lo

cual atribuyeron a un ajuste en el crecimiento vegetativo por la salinidad, resultando en un estímulo del desarrollo reproductivo.

En relación con los efectos osmóticos sobre las plantas de frijol, Meiri y Poljakoff-Mayber (55) indican que el balance hídrico foliar fue desfavorablemente afectado por el aumento en la salinidad del sustrato y el aumento en la concentración del jugo celular fue semejante al de los contenidos de sustancias orgánicas e inorgánicas, correspondiendo el mayor papel al  $\text{Cl}^-$ . Kirkham, Gardner y Gerloff (47) demostraron que el desarrollo y el grado de ajuste osmótico de las plantas de frijol, eran función de la cantidad de exposición al medio salino, ya que la toma de agua se redujo notablemente y en proporción al grado de exposición. Wadleigh y Gaugh (85) encontraron tensiones osmóticas de 7-8 bares, con limitantes para la absorción de agua por el frijol.

La composición de las plantas de frijol varía con la presencia de sal. Usualmente contienen más calcio que otras especies, por tanto la absorción de este elemento será responsable de las variaciones en la concentración de calcio en el medio. En base a meq/g de materia seca, de acuerdo con un estudio realizado por Gaugh y Wadleigh (39) el contenido de  $\text{Ca}^+$  en las hojas fue 3,3 veces más que el de  $\text{Mg}^{++}$ , aproximadamente el doble del  $\text{K}^+$  y 87 veces el de  $\text{Na}^+$ , a la vez que observaron que la adición de  $\text{NaCl}$  o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  produjo pequeñas variaciones en el contenido de  $\text{Na}^+$ , lo cual concuerda con lo expresado por Collander, citado por los mismos autores (39) quien concluyó que el  $\text{Na}^+$  es el ion que las plantas excluyen mejor. Gaugh y Wadleigh (39) determinaron también que las plantas mostraron capacidad para acumulación selectiva de

$\text{Cl}^-$  sobre  $\text{SO}_4^{=}$ , lo cual atribuyen a la mayor movilidad del  $\text{Cl}^-$ .

Para evaluar el grado de tolerancia del frijol a la salinidad o la adaptación al medio salino, Meiri, Mor y Poljakoff-Mayber (56) utilizaron solución Hoagland, a la cual añadieron NaCl hasta producir 2,8 bares de succión osmótica, observándose que la salinidad redujo la transpiración, en parte a causa de la menor área foliar y comprobaron que al pasar las plantas a recipientes con agua no salina recuperaron la capacidad de transpiración casi hasta el nivel del testigo. Gale, Kohl y Hagan (37) por su parte, encontraron que la concentración osmótica del jugo celular de plantas de frijol se ajustó a la concentración de la solución del suelo salino y el turgor fue similar al de las plantas testigo, aunque la transpiración se redujo. El cierre de los estomas fue inicialmente responsable de cerca del 30% de la reducción en la fotosíntesis de los frijoles cultivados en soluciones salinas lo cual atribuyen a interferencia en la difusión de  $\text{CO}_2$ , ya que podían recuperarse aumentando la concentración del  $\text{CO}_2$  en el aire, sin embargo a mayores estados de crecimiento la salinidad afectó la reacción lumínica en tal grado, que la elevación en la concentración de  $\text{CO}_2$  no tuvo efecto.

En conclusión, Bernstein (12) señaló que bajo condiciones de baja transpiración durante la exposición a la salinidad, no hay gran efecto acumulativo de sal en las hojas, lo cual representa un proceso de adaptación. Observó también que las mayores diferencias en composición iónica fueron para  $\text{Cl}^-$  y  $\text{K}^+$  en las plantas; el  $\text{Cl}^-$  fue tomado casi todo durante la noche; el contenido de  $\text{K}^+$  fue mayor en los tratamientos salinos que en el testigo y finalmente, de acuerdo con el tiempo de exposición,



el  $\text{Cl}^-$  desplaza mayor cantidad de aniones, sin gran variación en la composición catiónica.

## 2.6. Disponibilidad de agua en suelos salinos y sódicos

Si el agua en la planta es deficiente por excesiva evaporación o limitada disponibilidad en el suelo, se disminuye el ritmo de crecimiento (67). Es bien sabido que el porcentaje de humedad del suelo no puede mantenerse constante y que hay dos grupos de fuerzas contribuyendo al descenso de la energía de la humedad del suelo: 1) fuerzas que inducen tensión sobre el agua en el suelo (hidrostáticas, gravitacionales, adsorptivas); 2) las fuerzas osmóticas debidas a los sólidos disueltos en la solución del suelo (83). Wadleigh y Ayers (84) y también Richards y Ogata (68) hallaron que el efecto de la succión matriz y la succión osmótica sobre el desarrollo de las plantas es equivalente e intercambiable. Forsythe (33) llama la atención sobre la importancia de la suma de estas dos fuerzas, denominada succión total, sobre el crecimiento de las plantas y por tanto sobre el efecto y manejo de ella y anota que es esta la que afecta las raíces. Wadleigh (83) relacionó esta suma de los dos grupos de fuerzas con el crecimiento de frijoles en un suelo salino. Thomas y Wiegand (78) demostraron la influencia de la succión total sobre el crecimiento del algodón, e indicaron que altas succiones osmóticas resultaron en mayor salida de agua del suelo y que fue esta el componente dominante de la succión total en suelos salinos.

Normalmente el contenido variable de humedad ocasiona cambios en los potenciales de agua y en la concentración de solutos, tal como lo

observaron Meiri Poljakoff-Mayber (57) quienes trataron plantas de frijol con concentraciones fluctuantes contra salinidad constante, producidas por NaCl y quienes determinaron además que la rata de tales incrementos varía con las condiciones climáticas y las condiciones físicas del suelo. El crecimiento y la rata de transpiración se redujeron ligeramente menos ante las fluctuaciones de concentración que con la salinidad constante. Para tales circunstancias, Forsythe (33) recomienda, en el cálculo de la succión osmótica y la succión total a partir de las curvas de desorción y de los valores de conductividad eléctrica, utilizar un factor de concentración que evalúa el efecto que se presenta cuando las raíces extraen agua y dejan una solución más concentrada y con mayor succión osmótica. (Ver cuadro 6)

Stanhill (74) revisó 80 trabajos en relación con la respuesta de los cultivos a diferentes condiciones de humedad y encontró que en 66 de dichos casos la respuesta fue significativa. En cinco de tales trabajos, relacionados con el frijol realizados en macetas, en los que se tomaron medidas sobre crecimiento, composición y producción y en los cuales las condiciones de humedad se determinaron mediante tensiómetros, bloques de resistencia o pesando, se encontró respuesta significativa al contenido de humedad del suelo.

Langerwerff y Eagle (48) encontraron que a partir de 1,3 bares de succión osmótica, las plantas de frijol fueron afectadas por ósmosis producida por Carbowax 20.000 (etilen glicol). La reducción era aun mayor si el efecto era producido por sales inorgánicas, observándose que a más del efecto de ósmosis se producía acción específica de

iones. Entre 2,0 y 2,5 bares, se consideró que el efecto sobre el crecimiento era debido a acción específica de iones y que entre 1,7 y 1,8 bares se encuentra el punto de diferencia entre efectos específicos y de succión osmótica.

Magistad y Reitemeier (51) hallaron que para una succión de referencia de 0,4 bares, en la cual se representaba el 100% de producción, el rendimiento de frijol se reducía en 46% a 2,4 bares y a 0% a 4.4 bares en una relación casi lineal.

Por otra parte Gingrich y Russell (42) determinaron que en maíz el crecimiento radicular, el aumento de peso fresco y la hidratación se reducían por el aumento de tensión de humedad o succión osmótica, entre 1/3 y 12 bares. Anotan además que las características de transmisión de agua del suelo afectan el crecimiento radicular entre 1 y 3 bares en forma más pronunciada.

#### 2.6.1. Métodos para evaluar el agua en el suelo

La información acerca de la cantidad de agua contenida por unidad de volumen o de masa de suelo, puede obtenerse: volumétrica o gravimétricamente, mediante neutrones, lisímetros o rayos gamma (40).

El potencial de agua en el suelo o potencial matricial puede medirse mediante tensiómetros, bloques calibrados de resistencia, con aparatos que determinan la presión de vapor y con platos o membranas de presión (65,66,67,88).

La succión de solutos o succión osmótica depende de la concentración de la solución y puede determinarse de las propiedades de la solu

ción del suelo, por ejemplo, midiendo la depresión en el punto de congelación. Campbell, Bower y Richards (24) encontraron una relación teórica entre la succión osmótica y la conductividad eléctrica de soluciones del suelo, basados en el principio de que el agua libre de sales prácticamente no conduce la electricidad y la que contiene sales la conduce en proporción a su contenido, técnica que Bernstein (11) del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos ha encontrado eficaz.

La expresión de la fórmula de Campbell (24) es:

$$SO = 0,36 \times CE \text{ mmho/cm} \quad \text{en donde:}$$

SO = succión osmótica en bares

CE = conductividad eléctrica del extracto de saturación, mmho/cm

Husz (44), propuso una técnica para calcular mediante procedimientos estadísticos la succión osmótica, en la cual utiliza las leyes de Van't Hoff y las concentraciones iónicas.

Para la medición de la succión total en forma directa, se utilizan los métodos que determinan la presión de vapor (52).

## 2.7. Las formulaciones matemáticas del intercambio iónico en suelos salinos

El desarrollo de modelos físico químicos basados en la constante química de Gapon, para la determinación de la capacidad de la fase sólida del suelo para reponer los iones extraídos de la fase líquida data de pocos años. Beckett (7,8,9) publicó los primeros trabajos al respecto. Tinker (79) en Nigeria continuó los trabajos de Beckett y seguidamente investigadores en Australia, Ghana, Sudáfrica y América Latina, realizaron trabajos semejantes.

Parte de la metodología establecida consiste en calcular la intensidad o potencial químico, basándose en soluciones equilibradas obtenidas del suelo (32).

Desde el punto de vista del comportamiento de los elementos en el suelo interesan dos parámetros: la actividad iónica de los diferentes elementos presentes en la solución del suelo en un momento dado (Intensidad) y la reserva total de un elemento más la capacidad del suelo para reponer los iones en la solución, cuando estos han sido retirados por las plantas o lixiviados a través del suelo (Capacidad), los cuales pueden aplicarse igualmente en la interpretación de los fenómenos químicos que se suceden en los suelos afectados por sales.

Bower (20) señala que de acuerdo a la ecuación Poisson-Boltzman para la capa doble difusa, es posible describir el equilibrio de intercambio del sistema  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{++}$ , la cual indica que la cantidad relativa de adsorción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  es causada principalmente por la valencia de los cationes e indica que las ecuaciones de tipo Gapon son de valor práctico para describir sistemas que contiene  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{K}^+$ , así como  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$ .

El-Swaify y Swindale (31) evaluaron la respuesta del suelo a la salinidad a través del pH, concentración de la solución del suelo, propiedades de la solución y comportamiento del intercambio iónico en dos suelos tropicales, aplicando las formulaciones de intercambio iónico usadas en zonas templadas, a suelos altamente meteorizados.

Babcock y Schulz (5) por su parte, después de lavar suelos con soluciones que contenían  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  como  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$ , hallaron que el predominio del sodio en las series de  $\text{SO}_4^{=}$  sobre las de  $\text{Cl}^-$ , pueden atri-

buirse al efecto de los diferentes coeficientes de actividad de las sales usadas.

### 2.7.1. Intercambio aniónico en suelos salinos

El intercambio aniónico en los suelos puede describirse como la sustitución de un anión por otro presente en la solución en mayor concentración o que posee una mayor tendencia a mantener su posición en el suelo. Es aparente, que las reacciones de intercambio aniónico no son estrictamente análogas a las reacciones de intercambio de bases y se ha hallado correlación positiva entre la capacidad de intercambio aniónico, el contenido de arcilla y la superficie específica, de acuerdo con Dean y Rugin (29).

Chang y Thomas (25) sugieren que una de las consecuencias de la adsorción de aniones es la concentración de solutos en la solución del suelo, con la correspondiente disturbación de las reacciones de intercambio catiónico, observando que a pH mayores que 7,0 esencialmente no se retienen aniones. Los mismos autores observan que el tiempo de contacto y la concentración influyen en la cantidad total de adsorción. En base al efecto del tiempo y otras observaciones realizadas en relación con el  $\text{SO}_4^{=}$ , proponen un mecanismo que contempla el reemplazamiento de los  $\text{OH}^-$  por  $\text{SO}_4^{=}$  y la hidrólisis del aluminio en presencia de sal para formar  $\text{H}^+$ . Así el  $\text{OH}^-$  es neutralizado por  $\text{H}^+$  y la adsorción aniónica se acelera. Consideran que el mecanismo del  $\text{Cl}^-$  y  $\text{NO}_3^-$  es similar.

La adsorción de aniones se ha evaluado utilizando isotermas de adsorción, desarrolladas para describir sorción de gases a superficies

sólidas. Las más usadas son la de Freundlich y Langmuir (32).

Chao, Harward y Fang (26) estudiaron la adsorción y desorción de  $SO_4^{=}$ , mediante el intercambio isotópico e indicaron que el  $SO_4^{=}$  retenido por los suelos está en equilibrio con el  $SO_4^{=}$  en solución. El fenómeno descrito mediante la isoterma de Freundlich indicó que los suelos retenedores de  $SO_4^{=}$  no poseen capacidad máxima de adsorción o capacidad definida de intercambio aniónico al menos hasta 500 ppm de S y este puede ser fácilmente desplazado (45% del S adsorbido) en la primera extracción con agua. Bornemisza y Llanos (17) encontraron que la adsorción de  $SO_4^{=}$  se ajusta bien a la isoterma de Freundlich, con mayor grado de adsorción en suelos aluviales que en latosoles.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. SUELO.

##### 3.1.1. Localización y características.

El suelo utilizado en el ensayo corresponde la horizonte superficial (0-30 cm) de un perfil de la serie Tempisque, colectado en las cercanías del municipio de Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica, de acuerdo al estudio realizado por Vargas (81) clasificado en el orden Entissoles y ecológicamente correspondiente al bosque tropical seco.\*

Estos suelos provienen de depósitos aluviales y fluviolacustres genéticamente recientes, de topografía plana, susceptibles a la erosión eólica, de alta fertilidad, textura franco arcilloso a franco arcillo limoso y drenaje moderado.

El horizonte superficial es de color pardo grisáceo oscuro, franco arcillo limoso, consistencia ligeramente adhesiva y poco plástica en húmedo a suelta en seco; buen drenaje, contenido medio de materia orgánica y pH entre 6,4 y 6,8. El segundo horizonte es de color pardo amarillento oscuro, textura arenoso fino a arenoso muy fino; consistencia no adhesiva y ligeramente plástica en húmedo a suelta en seco; buen drenaje, contenido de materia orgánica medio a bajo y pH entre 6,4 y 6,8. El tercer horizonte es de color pardo, arenoso medio con grava; consistencia no adhesivo y no plástico en húmedo a suelta en seco, contenido bajo de materia orgánica y pH entre 6,4 y 6,6. Algunas características generales del suelo estudiado se presentan en el cuadro 1A del apéndice.

---

\* Holdridge, L. IICA-CTEI. Comunicación personal.



### 3.1.2. Muestreo y análisis preliminares

En un lote cuya área se aproxima a una hectárea y que se encontraba en preparación para la siembra, se obtuvo una muestra compuesta de cerca de 400 kilos, extrayendo de 15 lugares, porciones de suelo hasta una profundidad de 30 cm.

Se colectaron muestras no disturbadas en cilindros metálicos para determinación de densidad aparente y anillos con suelo no disturbado para utilizarlos en el cálculo de curvas de desorción de agua. Los anillos se colocaron en bolsas de polietileno para conservar el estado original de humedad hasta su utilización en el laboratorio. Igualmente se determinó la textura al tacto y se describieron las características superficiales sobresalientes.

#### DETERMINACIONES FISICAS.-

Los análisis se realizaron sobre muestras secas al aire y tamizadas al tamaño requerido por cada método, según los procedimientos siguientes:

Distribución de tamaño de partículas: método del hidrómetro modificado por Day (28) y adaptado por Forsythe (34).

Densidad aparente: se utilizó un cilindro metálico de volumen conocido para obtener muestras de suelo inalteradas, de acuerdo con la técnica descrita por Blake (15) y Forsythe (35).

Densidad de Sólidos: método de Blake (14) modificado por Forsythe (35), utilizando kerosene como líquido desplazante.

Porcentaje de saturación de agua: método del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (70).

Retención de humedad: método de Richards (66,68) modificado por Forsythe (35), basado en el uso de una olla a presión y un plato de cerámica porosa para extraer el agua a muestras de suelo no alteradas o también alteradas y tamizadas a 4 mm, condición en la que se colocaron los suelos en las macetas, determinándose posteriormente la humedad gravimétrica. Esta determinación y los cálculos que se indican a continuación se realizaron utilizando las fórmulas incluidas por Forsythe (35) en su Manual de Laboratorio de Física de Suelos, así:

Humedad gravimétrica:

$$Hg = \frac{\text{Masa agua}}{\text{Masa suelo seco estufa a } 105^{\circ}\text{C}} \quad [1]$$

Humedad volumétrica:

$$Hv\% = Hg \times \frac{d_a}{d_{ag.}} \quad [2]$$

Hv = humedad volumétrica en %

Hg = humedad gravimétrica %

$d_a$  y  $d_{ag.}$  = densidad aparente y densidad del agua

Porosidad (E):

$$E\% = \left(1 - \frac{d_a}{d_s}\right) \times 100 \quad [3]$$

$d_s$  = densidad de sólidos

Espacio aéreo:

$$Ea\% = E\% - Hv\% \quad [4]$$

en donde:  $Ea$  = espacio aéreo %

$E$  = porosidad total %

#### DETERMINACIONES QUIMICAS.

Reacción del suelo (pH): se determinó en agua, usando las relaciones 1:1; 2,1; 5:1 y en pasta saturada, realizando las lecturas en un potenciómetro Beckman modelo 96 con electrodo de vidrio.

Conductividad eléctrica del extracto saturado, de acuerdo con el método recomendado por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (70).

Materia Orgánica: se utilizó el método de Walkley-Black, en la forma descrita por Saiz del Río y Bornemisza (72).

Carbono Orgánico: se calculó a partir del valor de la materia orgánica, multiplicándolos por el factor 1,724, proporción promedio de C en la materia orgánica.

Nitrógeno Total: se determinó por el método semi-micro Kjeldahl de Bremmer (23).

Fósforo disponible: se empleó el método Bray y Kurtz I (22).

Calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiables, mediante acetato de amonio 1N, pH 7,0 siguiendo la técnica descrita por Albán (1).

Capacidad de Intercambio catiónico: se determinó por el método de acetato de amonio siguiendo la técnica recomendada por Fuentes (36). Se calcularon además los porcentajes de saturación de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , el porcentaje de saturación de bases y la relación de adsorción de sodio.

### 3.1.3. Preparación del suelo.

#### SALES Y DETERMINACION DE CURVAS DE SALINIZACION.-

En el ensayo se utilizaron 4 sales:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{MgSO}_4$  como reactivos de grado para análisis. Con el objeto de determinar la cantidad de sal necesaria para producir los niveles de conductividad eléctrica deseados se utilizaron muestras de 300 g de suelo seco al aire, las cuales se colocaron en vasos de plástico de 2 litros de ca-

pacidad y se adicionaron soluciones de concentración creciente de NaCl, CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y MgSO<sub>4</sub>. Se permitió a las soluciones permanecer en contacto con el suelo durante 5 días y posteriormente se prepararon pastas saturadas de las cuales se obtuvo el extracto de saturación para determinación de la conductividad eléctrica mediante un puente de conductividad YSI - Modelo 31.

En base a estas determinaciones se prepararon curvas de respuesta a la adición de sales en solución y posteriormente se calcularon las líneas de regresión, de acuerdo al modelo  $Y = b_1 X$  para función lineal que pasa por el eje. En base a estas curvas de salinización se calcularon las cantidades de sal necesarias para producir las conductividades eléctricas de 1,5, 2,5, 3,5 y 4,5 mmho/cm a 25 C.

### 3.2. LABORES EN EL INVERNADERO.-

#### 3.2.1. Arreglo experimental.-

Macetas que contienen 3,150 g de suelo seco al aire (equivalente a 3 Kg de suelo seco a la estufa) se arreglaron en el invernadero de acuerdo a un diseño irrestrictamente al azar, con 4 repeticiones.

#### IDENTIFICACION DE LOS TRATAMIENTOS.-

Con el objeto de simplificar el manejo en el invernadero, se identificaron los tratamientos mediante numeración arábica consecutiva y las repeticiones con números romanos. Para la expresión de los resultados se identifica cada tratamiento con un número arábigo, de acuerdo con el siguiente orden:

TRAT. Nº	Sal	C.E. mmho/cm	TRAT. Nº	Sal	C.E. mmho/cm
1	Testigo	0,6			
2	NaCl	1,5	10	NaCl	3,5
3	CaCl <sub>2</sub>	1,5	11	CaCl <sub>2</sub>	3,5
4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,5	12	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,5
5	MgSO <sub>4</sub>	1,5	13	MgSO <sub>4</sub>	3,5
6	NaCl	2,5	14	NaCl	4,5
7	CaCl <sub>2</sub>	2,5	15	CaCl <sub>2</sub>	4,5
8	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,5	16	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,5
9	MgSO <sub>4</sub>	2,5	17	MgSO <sub>4</sub>	4,5

### 3.2.2. VARIEDAD DE FRIJOL. SIEMBRA.-

Se utilizó la variedad de frijol (Phaseolus vulgaris L.) denominada 27-R, arbustiva y con granos de color rojo claro. Las semillas se hicieron germinar sobre arena de cuarzo, en cajillas de germinación y se transplantaron a los 7 días, seleccionando las plantas más vigorosas a razón de dos por cada maceta. Inmediatamente después del trasplante se adicionó agua destilada hasta llevar la succión matriz a 0,2 bares y dos días después se adicionaron las soluciones salinas, cuando se comprobó que la totalidad de las plantas se hallaban en buen estado. Se observaron durante una semana y se redujo el número a una por maceta.

### 3.2.3. CONTROL DE LA HUMEDAD DEL SUELO.-

La humedad del suelo se controló mediante tensiómetros de reloj colocados en una maceta por tratamiento, con el objeto de mantener la succión matricial entre 0,2 y 0,8 bares, de tal forma que se permitie-

ra a las sales ejercer su efecto bajo condiciones semejantes de succión matricial, sin que se presentara lixiviación de las sales. Una semana antes de la cosecha se suspendió el riego, para permitir la completa maduración de las vainas.

#### 3.2.4. COSECHA Y RECOLECCION DE DATOS.-

Las plantas se cosecharon 75 días después de la siembra en el germinador. Se colectaron y contaron las vainas y se extrajeron y contaron los granos, los cuales se sujetaron durante 24 horas a una corriente de aire caliente para uniformizar su grado de humedad en aproximadamente 13% y posteriormente se pesaron.

Las porciones aéreas de las plantas se colocaron en bolsas y se mantuvieron a una temperatura de 70 C durante 48 horas, se molieron en un molino Wiley y se conservaron para determinaciones químicas posteriores.

#### 3.3. DETERMINACIONES POSTERIORES A LA COSECHA.-

##### 3.3.1. DETERMINACIONES FISICAS.-

**PENETRABILIDAD:** Se midió con penetrómetro de pistón de acero inoxidable de 5 mm de diámetro, (John Chatillon, New York, Cat. no. 719-40, MRPFR), calculando el esfuerzo en bares, necesario para introducir el pistón 5 mm en el suelo (76). Las determinaciones se hicieron en las macetas a 0 y 7,5 cm de profundidad, con el objeto de evaluar el grado de compactación que hubiera podido presentarse.

**RETENCION DE HUMEDAD:** Se empleó el método de Richards (66) modificado por Forsythe (35), utilizando muestras no disturbadas, colectadas en la porción media de las macetas y determinando su capacidad de de-

sorción de agua.

DENSIDAD APARENTE, POROSIDAD TOTAL Y ESPACIO AEREO: Se calcularon en base a los anillos empleados para las determinaciones de retención de humedad, de acuerdo a la metodología recomendada por Forsythe (35) y ajustando los valores a través de procedimientos estadísticos. Para el cálculo de la succión osmótica y la succión total de los tratamientos y en el rango de humedad mantenido en las macetas se utilizó la fórmula teórica encontrada por Campbell, Bower y Richards (24), para relacionar la conductividad eléctrica con la succión osmótica y ciñéndose al procedimiento empleado por Forsythe (33):

$$S.O. = 0,36 \times C.E. \text{ mmho/cm} \quad r67$$

En donde: S.O. = succión osmótica

C.E. = conductividad eléctrica del extracto de saturación

### 3.3.2. DETERMINACIONES QUIMICAS.-

#### ANALISIS DE SUELOS.-

Una vez cosechado el experimento, se tomaron muestras de los suelos de las macetas, se secaron al aire y se realizaron las siguientes determinaciones, siguiendo los métodos descritos anteriormente salvo en aquellos en que se especifique el procedimiento.

pH: en pasta saturada, conductividad eléctrica en extracto de saturación (61,69), capacidad de intercambio catiónico con acetato de amonio (1), calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiables, con acetato de amonio (1), efectuando la medición de Ca, Mg y K en espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 303 y la del sodio en fotómetro de llama Coleman modelo 21. Los tratamientos que contenían sodio debieron sujetarse a floculación de arcilla en suspensión para

permitir una adecuada lectura en el espectrofotómetro.

Cloruros y sulfatos intercambiables: se extrajeron mediante fosfato monocálcico (6) y se evaluaron los cloruros siguiendo el método utilizado por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (70), con una modificación correspondiente a la concentración del nitrato de plata, la cual en este caso se incrementó a 0,05 N. Para la evaluación de los sulfatos se siguió el método recomendado por Pla Sentis (61), habiéndose incluido en ambos casos análisis de muestras del suelo original, ya que antes no habían sido analizadas.

Con el objeto de calcular las actividades y potenciales de los iones en cada uno de los tratamientos, se obtuvieron extractos acuosos colocando en tubos de centrífuga 30 g de suelo seco al aire y 50 ml de agua destilada; se agitaron durante 24 horas, en agitador horizontal y se centrifugaron a 2,500 rpm filtrando los sobrenadantes para emplearlos en la determinación de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{S-SO}_4^-$  y  $\text{Cl}^-$ , expresando los resultados en mol/litro.

### 3.3.3. ANALISIS FOLIARES.-

Calcio, magnesio, potasio, sodio y azufre en forma de sulfato, se extrajeron siguiendo la técnica recomendada por Albán (1). Se realizaron las lecturas de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{K}^+$  por absorción atómica, las de sodio por medio de fotómetro de llama. Los sulfatos se midieron en fotocolorímetro (61), contra una curva patrón.

Cloruros: se extrajeron de acuerdo con el procedimiento recomendado por Chapman y Pratt (27) y se titularon con nitrato de plata 0,05N.



### 3.3.4. CALCULO DE ACTIVIDADES IONICAS Y POTENCIALES QUIMICOS (Intensidad)

Los potenciales químicos se calcularon en base a las concentraciones de los cationes presentes en la solución equilibrada de suelo de acuerdo con el procedimiento descrito por Fassbender (32).

Para el cálculo de las actividades iónicas respectivas se utilizó el coeficiente de actividad iónica (f), calculado a partir de las leyes de Debye-Huckel mediante la fórmula:

$$- \log f_i = A \cdot Z_i^2 \cdot I \quad [ 7 ]$$

En donde: A : es una constante (0,51 a 25 C)

$Z_i$ : valencia del ion en consideración

I : es la fuerza de iones calculada mediante la fórmula:

$$I = 1/2 \sum (C_i \cdot Z_i^2) \quad [ 8 ]$$

La actividad iónica (a) es entonces igual al producto del coeficiente de actividad por la concentración del ion (C) en mol/litro y se formula así:

$$a = f \times C \quad [ 9 ]$$

Finalmente, los potenciales químicos o intensidad, se calcularon por la relación de actividades entre el ion de interés y la raíz cuadrada de la actividad de  $Ca^{++} + Mg^{++}$ , para iones monovalentes o el ion de interés sobre  $Ca^{++} + Mg^{++}$  para iones divalentes, con el objeto de evitar el uso de logaritmos negativos, relación a la cual se denomina también relación inicial de actividades iónicas (ARo).

### 3.4. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS.-

#### ANALISIS DE VARIANCIA.-

Se tomaron en consideración las siguientes variables de respuesta: peso de la producción en grano, número de vainas por planta y número de granos por planta y se analizaron de acuerdo al diseño irrestrictamente al azar en un arreglo factorial 4x4, utilizando el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = u + t_i + b_j + (tb)_{ij} + e_{ijk} \quad [ 10 ]$$

En donde:  $Y_{ijk}$  = variable de respuesta

$u$  = media general

$t_i$  = efecto de la sal  $i$

$b_j$  = efecto del nivel  $j$  de conductividad

$(tb)_{ij}$  = efecto conjunto de  $t$  y  $b$

$e_{ijk}$  = componente aleatorio

Los valores obtenidos para penetrabilidad en las macetas se analizaron de acuerdo al mismo modelo matemático, para las profundidades de 0 y 7,5 cm

#### Análisis de valores de retención de humedad y espacio aéreo

Los resultados de retención de humedad (humedad volumétrica) y succión, así como los de espacio aéreo y succión, se procesaron en la computadora IBM modelo 1130, del IICA-CTEI, utilizando el modelo de regresión exponencial:  $Y_i = b_0 X^{b_1}$  [ 11 ] en el cual:

$Y_i$  = humedad volumétrica

$X$  = succión en bares

$b_0$  y  $b_1$  = coeficientes de regresión

Debido al desajuste observado en la graficación de las curvas de espacio aéreo por este modelo, se realizó su estimación en base a la función:

$$Ea = K - C_0 X^{C_1} \quad [ 12 ] \text{ la cual fue procesada}$$

por la computadora a través de un procedimiento iterativo y en donde:

$Ea$  = espacio aéreo calculado por la función

$X$  = succión en bares

$K, C_0$  y  $C_1$  = constante de la función

Los valores de porosidad total se calcularon a partir de cilindros de campo, para el suelo original no disturbado y a partir de anillos para curvas de desorción en los casos restantes que se encuentran dibujados en los gráficos 4, 4a, 4b, 4c, 4d, 4e.

Finalmente se aplicaron pruebas de  $t$  para los coeficientes de regresión  $b_0$  y  $b_1$  en las funciones de retención de humedad, para determinar su comportamiento en los suelos no salinizados y en los tratamientos de mayor y menor producción para cada una de las cuatro sales, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$t \text{ para } b_0 = \frac{(b_0)_1 - (b_0)_2}{\sqrt{s_1^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{(\bar{X})_1^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2_1} \right) + s_2^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{(\bar{X})_2^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2_2} \right)}} \quad [ 13 ]^*$$

en donde:  $(b_0)_1$  y  $(b_0)_2$  = coeficientes de las regresiones

$s_1^2$  y  $s_2^2$  = variancias residuales de las regresiones (CME)

$n$  = número de valores de succión que componen cada regresión

\* Forsythe, W. M. IICA-CTEI. Comunicación personal.

$(X)_1$  = valores de succión curva 1

$(X)_2$  = valores de succión curva 2

$\sum (x_i - \bar{X})^2$  = suma de cuadrados de X

$$t(b_1) = \frac{(b_1)_1 - (b_1)_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{\sum (x_i - \bar{X})_1^2} + \frac{S_2^2}{\sum (x_i - X)_2^2}}} \quad [ 14 ]^*$$

En donde:  $(b_1)$  y  $(b_2)$  = coeficientes en las regresiones

$S_1$  y  $S_2$  = variancias residuales de las regresiones (CME)

$\sum (x_i - \bar{X})^2$  = suma de cuadrados de X

En último término, para complementar la interpretación de los resultados, se montó una matriz de correlación con los siguientes parámetros calculados: variables de respuesta, penetrabilidad, actividades iónicas, potenciales químicos, iones en solución, iones intercambiables y composición iónica de la porción aérea de las plantas.

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1. Efecto de las sales sobre la producción.-

##### 4.1.1. Salinización de los suelos y comportamiento de las plantas en el invernadero

La respuesta expresada en mmho/cm de conductividad eléctrica, de los suelos a las adiciones de sal se muestran en las figuras 1 y 2. Se observa claramente que el efecto de las sales sobre la conductividad eléctrica sigue el orden:  $\text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4$ . De aquí se desprende que los sulfatos, especialmente como  $\text{MgSO}_4$  producen menor incremento en la conductividad eléctrica, que los cloruros. En todos los casos los primeros incrementos en las cantidades de sal adicionadas aumentan en mayor proporción la conductividad eléctrica de los suelos.

De acuerdo con la apariencia de las plantas en el invernadero pudo observarse que desde los primeros estados de desarrollo fueron más apreciables los efectos dañinos del cloro que del sulfato. Las plantas seleccionadas a los 15 días del trasplante para contrastar con el testigo, mostraron amarillamiento casi total en los tratamientos con  $\text{NaCl}$  y  $\text{CaCl}_2$  a partir de las concentraciones de 2,5 mmho/cm de conductividad eléctrica. Por esta época el desarrollo de las plantas sujetas a tratamiento con  $\text{SO}_4\text{Na}_2$  y  $\text{SO}_4\text{Mg}$  mostraban apariencia y grado de desarrollo semejantes a las plantas testigo. Aproximadamente 30 días después del trasplante la generalidad de las plantas mostraron abundante floración, pero la caída de flores fue notable, particularmente en los tratamientos sujetos a efectos de  $\text{Cl}^-$ . Se apreció también que estos tratamientos requieren menor cantidad de riego para mantener la hume-

dad en el rango establecido (0,2-0,8 bares), posiblemente debido al menor consumo por las plantas, que eran de menor tamaño y a la mayor energía de retención ocasionada por la succión osmótica.

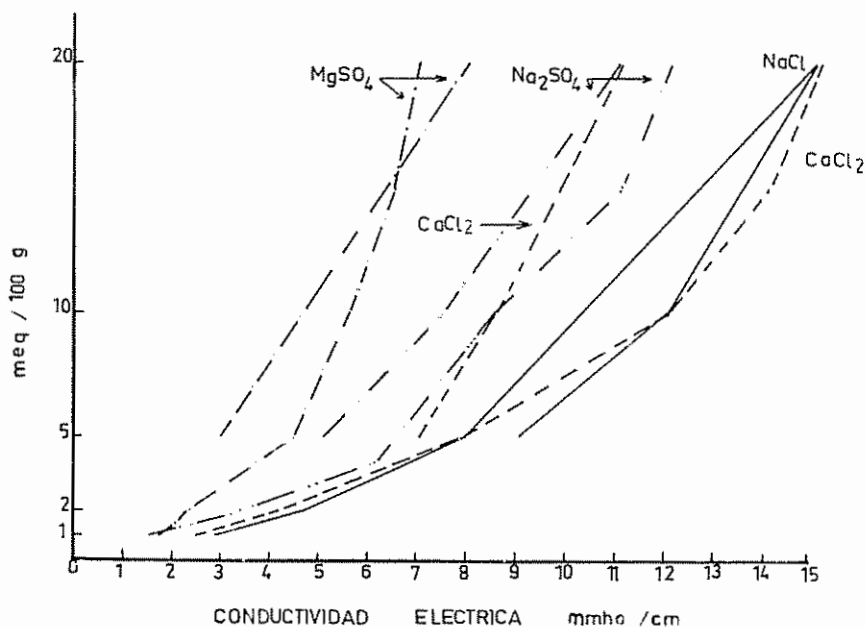


Figura 1. Curvas de salinización del suelo de la Serie Tempisque

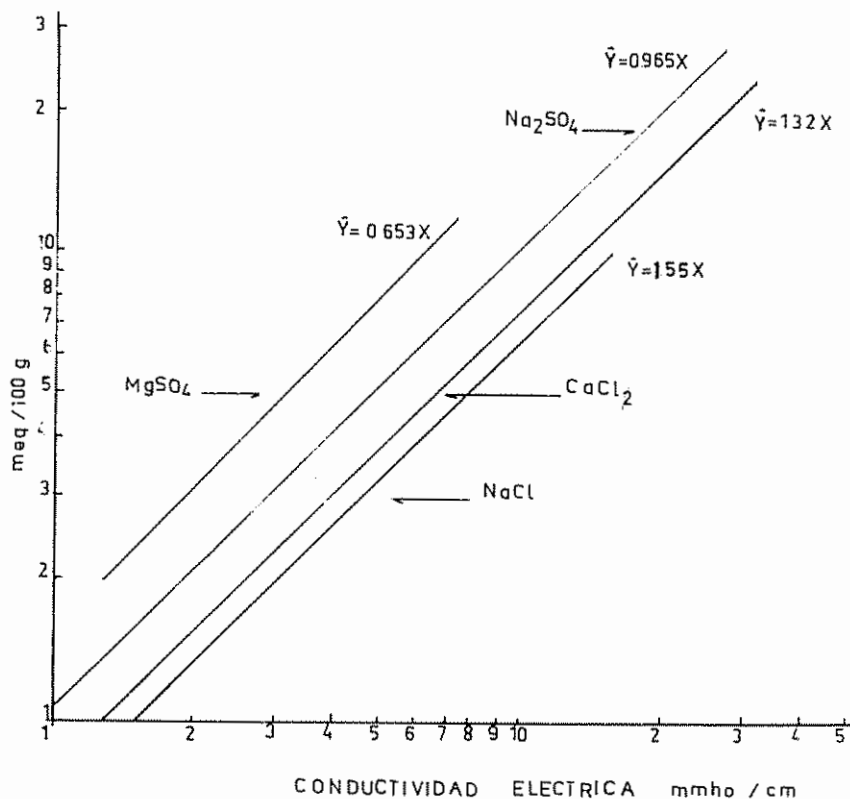


Figura 2. Líneas de regresión de curvas de salinización

#### 4.1.2. Respuesta de la producción a los efectos de salinidad.-

Los resultados obtenidos en base a las variables de respuesta evaluadas se presentan en el cuadro 1 y su análisis discriminatorio para los valores de rendimiento, número de vainas por planta y número de granos por planta se incluyen en los cuadros 2 del texto y 2A, 3A y 4A del apéndice. En el cuadro 8A del apéndice aparece la matriz de correlación para las variables de respuesta, penetrabilidad, actividad iónica, potenciales químicos, concentración de iones en solución e intercambiables y composición química de la porción foliar. Teniendo en cuenta que se utilizó el suelo en estado original, sin adición de fertilizantes, puede considerarse que la producción en el testigo y en tratamiento como aquellos sujetos a  $MgSO_4$ , fueron aceptables, en tanto que hubo notable contraste para los tratamientos con efectos pronunciados de salinidad, particularmente por cloruros. Así por ejemplo, considerando una población de 200.000 plantas/ha se observa que el tratamiento N° 15 ( $CaCl_2$ , 4,5 mmho/cm) produciría 110 Kg/ha, mientras que para conductividad de 3,5 en el tratamiento N° 12 con  $Na_2SO_4$ , la producción se aproxima a 1.000 Kg/ha.

Se observó que el mayor efecto detrimental fue producido por la adición de cloruros, particularmente en el caso en que el  $Cl^-$  se encuentra unido al  $Ca^{++}$ , en tanto que los  $SO_4^{=}$  no parecen afectar la producción en relación con el testigo, salvo en los tratamientos 12 y 13, en donde se observó incremento en la producción. Este efecto puede apreciarse en forma clara en la figura 3, en la cual se evalúa la salinidad en términos de conductividad y de la cual se desprende que,

de acuerdo con los cuadros 1 y 2, el efecto de las sales sulfatadas es menor que el de las clorinadas y aunque la figura indica un comportamiento similar, es necesario establecer dos niveles de respuesta, uno para los cloruros y otro para los sulfatos, debido a que estos últimos produjeron efecto de sales, pero a la vez actuaron en cierto grado como fertilizantes. Guardando los niveles indicados, puede señalarse que a partir de 1,5 mmho/cm comienzan a ejercerse los efectos deletereos de las sales sobre la producción del frijol en relación con el testigo, en todos los tratamientos.

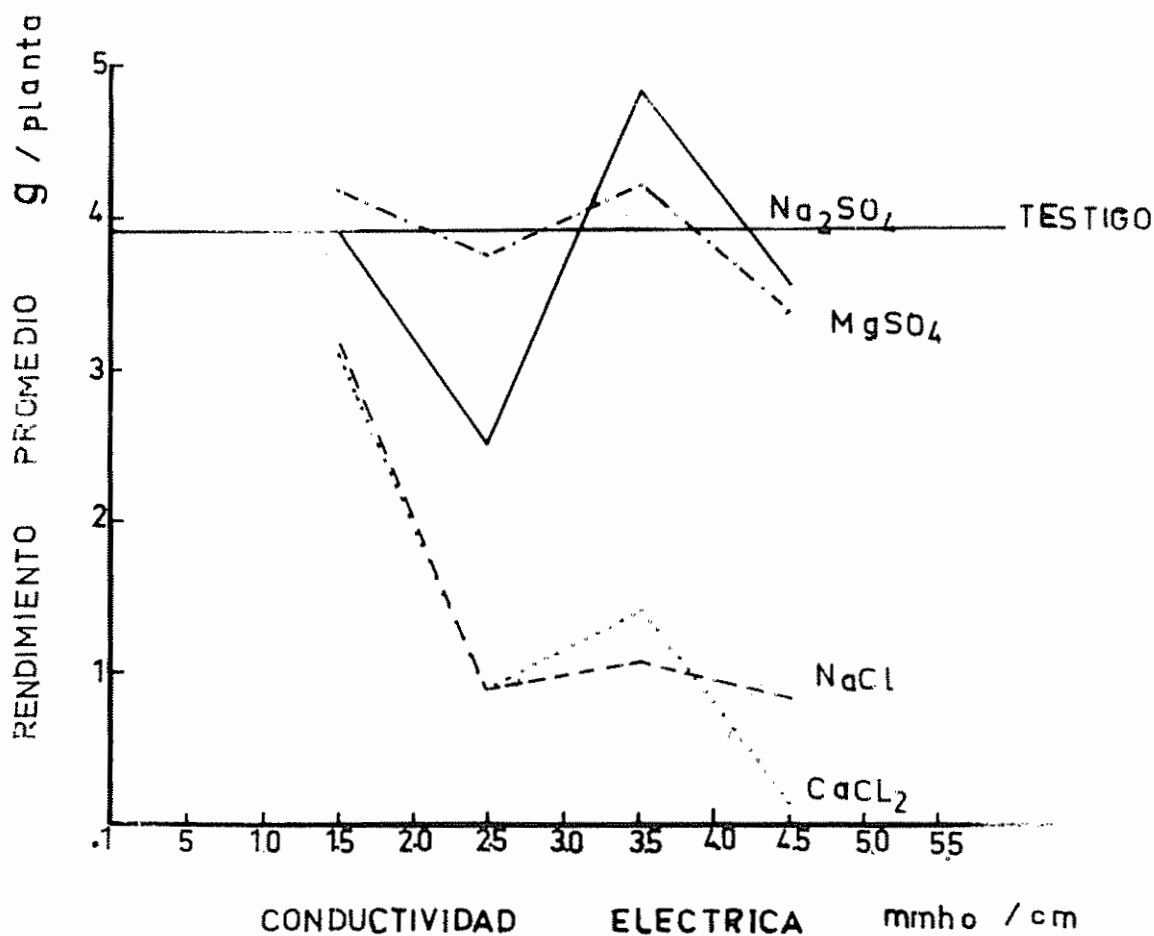


Figura 3. Respuesta en rendimiento a concentraciones salinas medidas en términos de conductividad eléctrica



Cuadro 1. Rendimiento en gramos de frijol, número de vainas y de granos por planta

Tratamientos	Nº	Rendimiento		Nº Vainas/planta		Nº Semillas/planta	
		TOTAL	PROMEDIO	TOTAL	PROMEDIO	TOTAL	PROMEDIO
Testigo	1	15.60	3.90	12	3	39	9.75
NaCl	2	12.65	3.16	8	2	29	7.25
CaCl <sub>2</sub>	3	12.35	3.09	10	2.5	28	7.00
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	15.50	3.88	9	2.25	36	9.00
MgSO <sub>4</sub>	5	16.70	4.18	11	2.75	37	9.25
NaCl	6	3.60	0.90	3	0.75	9	2.25
CaCl <sub>2</sub>	7	3.60	0.90	5	1.25	13	3.25
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8	10.05	2.51	8	2.00	25	6.25
MgSO <sub>4</sub>	9	15.00	3.75	12	3.00	35	8.75
NaCl	10	4.30	1.08	4	1.00	13	3.25
CaCl <sub>2</sub>	11	5.65	1.41	5	1.25	16	4.00
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12	19.25	4.81	10	2.50	44	11.00
MgSO <sub>4</sub>	13	16.85	4.21	12	3.00	40	10.00
NaCl	14	3.30	0.83	4	1.00	12	3.00
CaCl <sub>2</sub>	15	0.55	0.14	3	0.75	4	1.00
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	16	14.20	3.55	13	3.25	34	8.50
MgSO <sub>4</sub>	17	13.50	3.38	10	2.50	35	8.75

\* Tratamientos Nº 2 a 5 C.E. = 1,5 mmho/cm  
6 a 9 C.E. = 2,5 "  
10 a 13 C.E. = 3,5 "  
14 a 17 C.E. = 4,5 "

Cuadro 2. Análisis de variancia de los valores de rendimiento en gramos

Fuentes de Variación	G.L.	C.M.
TOTAL	67	
Tratamientos	16	8.82 **
Testigo vs. tratados	1	6.26 **
Entre tratamientos	15	8.99 **
EFEECTO DE SALES (S)	3	29.46 **
Na vs. Ca+Mg	1	0.03 **
Na Cl vs. Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	38.61 **
Ca Cl <sub>2</sub> vs. MgSO <sub>4</sub>	1	49.75 **
EFEECTO DE NIVELES (N)	3	9.41 **
Lineal	1	12.46 **
Cuadrático	1	1.71 **
Cúbico	1	14.05 **
INTERACCION S x N	9	2.03 **
ERROR	51	0.19

Las curvas muestran marcado descenso en la producción entre 1,5 y 2,5 y a partir de 3,5 mmho/cm. Simultáneamente se observó incremento de la producción cuando las conductividades eléctricas se hallaron entre los valores anteriores (2,5 - 3,5 mmho/cm), conduciendo a un máximo en la producción de los tratamientos con sales de sulfato, las cuales superan la producción obtenida con el testigo.

Del análisis de variancia (Cuadro 2, 2A y 3A) para rendimiento, número de vainas por planta y número de granos por planta se deduce que hay diferencia significativa al nivel de 1% entre tratamientos para efecto de niveles y para efecto de sales. El mismo cuadro confirma que el efecto de las sales es producido por los aniones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$  y no por los cationes  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$ . En la evaluación del efecto de niveles de conductividad eléctrica se observó que los cloruros reducen la producción a medida que aumenta la conductividad eléctrica del extracto de saturación en tanto que la acción de los sulfatos fue menos consistente al respecto.

#### 4.2. Concentración iónica en suelos y plantas.-

En el cuadro número 3 se presenta el resumen de los resultados analíticos para los diferentes iones estudiados en la solución del suelo, en la fase intercambiable y en la planta (análisis foliar). Los datos de este cuadro se obtuvieron a partir de los valores incluidos en los cuadros 5A, 6A y 7A del apéndice.

Los análisis de los iones en la solución y de los iones intercambiables mostraron correlación entre si de acuerdo al siguiente orden:

Cuadro 3. Resumen de los resultados analíticos en ppm.

Tratamiento	CALCIO			MAGNESIO			FOSFORO			AZUFRE			CLORO					
	Soluc. Suelo	Inter camb.	Foliar	Soluc. Suelo	Inter camb.	Foliar	Soluc. Suelo	Inter camb.	Foliar	Soluc. Suelo	Inter camb.	Foliar	Soluc. Suelo	Inter camb.	Foliar			
1	26.6	1.760	30.600	32.7	626	5.380	45.8	135.0	500	60.0	370	27.400	29.4	50.1	2.565	11.6	12.1	13.850
2	16.7	1.370	34.600	45.3	602	7.120	171.7	290.0	350	86.7	850	28.200	82.8	46.1	2.469	20.3	27.8	25.920
3	36.7	1.660	23.200	27.3	554	7.600	35.0	117.6	520	46.7	790	28.200	74.1	48.1	1.924	24.2	24.3	15.620
4	7.8	1.470	29.400	51.3	780	6.560	202.0	466.0	520	100	860	27.300	174.0	42.1	3.949	26.1	22.6	58.230
5	28.3	1.360	29.600	60.7	2.180	7.360	35.0	128.0	440	43.3	740	25.000	85.5	62.9	2.885	5.2	20.3	15.520
6	93.3	1.680	23.400	42.0	590	7.440	43.7	840.0	2.660	93.4	900	28.000	24.1	26.1	2.949	19.1	36.5	27.450
7	228.3	1.930	21.000	58.7	560	7.280	16.7	115.0	840	76.7	840	19.800	21.4	34.1	3.110	17.0	43.4	52.190
8	7.5	1.460	27.400	48.0	550	6.400	34.7	890.0	300	95.0	820	26.400	251.1	118.2	2.949	6.4	8.7	46.640
9	35.9	1.570	27.800	157.7	2.150	7.840	10.0	60.0	480	45.0	1.090	24.400	200.4	250.5	2.949	5.2	10.4	15.620
10	36.7	1.570	34.200	33.7	568	6.720	454.2	884.0	5.000	100.0	870	25.000	25.4	50.1	3.014	33.0	41.7	27.890
11	273.3	2.160	23.600	59.4	520	6.900	30.0	135.6	1.140	66.7	820	24.000	22.7	50.1	2.963	23.2	26.1	39.760
12	0.50	1.380	26.200	44.0	492	6.640	178.3	786.0	510	81.7	760	26.200	208.4	46.9	2.885	23.2	10.4	58.930
13	30.0	1.090	28.100	308.3	1.860	2.420	11.7	131.6	500	43.3	900	25.400	390.1	288.6	3.206	5.2	12.1	15.620
14	65.3	1.560	22.300	37.3	558	3.320	512.7	966.0	8.640	100.0	860	25.400	23.2	53.7	3.526	43.4	43.4	19.170
15	363.2	2.030	27.000	44.7	528	3.080	35.0	40.0	1.100	125.0	730	23.800	20.0	58.1	3.687	26.1	48.6	52.190
16	16.7	1.230	30.100	45.3	474	6.800	473.0	640.0	840	100.0	630	27.200	173.7	236.5	3.366	27.2	9.7	33.020
17	64.2	910	29.200	413.3	2.100	2.760	13.3	30.0	360	68.3	700	26.200	480.9	462.9	3.366	2.7	12.1	15.620
Orig.	1.9	1.680	-	20.7	612	-	20.2	14.8	-	48.3	850	-	22.7	44.1	-	14.3	12.1	-

$\text{Na}^+$  ( $r= 0,95$ )  $>$   $\text{SO}_4^{=}$  ( $r= 0,82$ )  $>$   $\text{Ca}^{++}$  ( $r= 0,72$ )  $>$   $\text{Mg}^{++}$  ( $r= 0,64$ )  $\rightarrow$   
 $\text{Cl}^-$  ( $r= 0,615$ )  $\gg$   $\text{K}^+$  ( $r= -0,211$ ) (Ver cuadro 8A del apéndice).

Esto demostró que las concentraciones en la solución del suelo estudiado, con excepción del caso del  $\text{K}^+$ , reflejaron el contenido de dichos iones en la fase intercambiable. En la matriz de correlación (cuadro 8A del apéndice) se observa que existe alta correlación entre el contenido de  $\text{Cl}^-$  intercambiable y las variables de respuesta: rendimiento ( $-0,862$ ), número de vainas por planta ( $r= -0,879$ ) y número de granos por planta ( $r= -0,874$ ); correlación moderada entre el contenido de  $\text{Cl}^-$  en la solución para los mismos índices de rendimiento ( $r= -0,636$ ,  $-0,595$  y  $-9,648$ ), e igualmente sucede con el  $\text{Na}^+$  en la planta, cuyas relaciones fueron: con el rendimiento  $r= -0,562$ , número de vainas por planta  $r= -0,572$  y número de granos por planta  $r= -0,544$ .

Llama la atención dentro de los resultados el comportamiento del  $\text{Cl}^-$  ya que encontrándose en la solución y en la fase intercambiable en cantidades menores que los restantes iones, sin embargo se encontró en concentraciones altas en las plantas y en los tratamientos con  $\text{Cl}^-$  la concentración superó a cualquiera de los iones restantes. Las plantas demostraron tomar el  $\text{Cl}^-$  más fácil que los demás elementos, aun en base al tratamiento testigo, en el cual su concentración era cercana a 12 ppm tanto en la fase de intercambio como en la solución. Se observó además que la toma de  $\text{Cl}^-$  es estimulada por los tratamientos con  $\text{Na}_2\text{SO}_4^{=}$ , ya que con dicha sal se observaron concentraciones foliares de  $\text{Cl}^-$  superiores a 50.000 ppm.

Teniendo en cuenta los resultados estadísticos mostrados en los cuadros 2 y 4A puede indicarse que el análisis foliar no es indicativo de la producción. Por el contrario se observó que las producciones más bajas corresponden a las mayores concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  en la solución, mientras que con el S ocurre un fenómeno diferente: a mayor concentración en la solución, mayor respuesta de las plantas en producción. El  $\text{Mg}^{++}$  se comporta en forma similar al S, aunque en menores proporciones.

Estableciendo relaciones entre el suelo y la planta a través de la matriz de correlación, entre los componentes de la solución del suelo, el contenido en la fase intercambiable y la concentración de dichos elementos en las plantas, se encontraron los siguientes resultados: (Cuadro 8A del apéndice).

$\text{Ca}^{++}$  en solución: correlaciona positivamente con  $\text{Ca}^{++}$  intercambiable

( $r = 0,72$ ),

$\text{Ca}^{++}$  foliar ( $r = 0,442$ ) y  $\text{Cl}^-$  foliar ( $r = 0,454$ ) y negativamente con  $\text{K}^+$  foliar ( $r = -0,629$ ).

$\text{Ca}^{++}$  intercambiable: correlaciona positivamente con  $\text{Mg}^{++}$  foliar

( $r = 0,637$ ) y negativamente con  $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{Cl}^-$

intercambiables ( $r = -0,719$  y  $-0,623$ ) y con  $\text{Ca}^{++}$  foliar ( $r = -0,454$ ).

$\text{Mg}^{++}$  en solución: correlaciona positivamente con  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{SO}_4^{=}$  intercambiables ( $r = 0,648$  y  $0,821$ ), y con  $\text{SO}_4^{=}$  foliar

( $r = 0,466$ ); correlaciona negativamente con  $\text{Na}^+$  intercambiable ( $r = -0,488$ ),  $\text{Mg}^{++}$  foliar ( $r = -0,721$ ) y con  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en solución ( $r = -0,447$  y  $-0,496$ )

$Mg^{++}$  intercambiable: correlaciona negativamente con  $Cl^{-}$  foliar

( $r = -0,561$ )

$Mg^{++}$  foliar: correlaciona positivamente con  $Cl^{-}$  intercambiable y

negativamente con  $SO_4^{=}$  intercambiable ( $r = 0,502$  y  $-0,721$ )

$Na^{+}$  en solución: correlaciona positivamente con  $Na^{+}$  intercambiable,

$Na^{+}$  foliar y con  $Mg^{++}$ ,  $SO_4^{=}$  y  $Cl^{-}$  en la solución

( $r = 0,953$ ,  $0,676$ ,  $0,447$ ,  $0,797$  y  $0,583$  respectivamente).

$Na^{+}$  intercambiable: correlaciona positivamente con  $Na^{+}$  foliar ( $r = 0,571$ )

$Na^{+}$  foliar: correlaciona positivamente con  $Cl^{-}$  intercambiable ( $r = 0,575$ )

$K^{+}$  en solución: correlaciona positivamente con  $Na^{+}$  intercambiable, con

$Na^{+}$  y  $Cl^{-}$  foliares y con  $Na^{+}$  y  $Cl^{-}$  de la solución del

suelo ( $r = 0,761$ ,  $0,480$ ,  $0,468$ ,  $0,797$  y  $0,632$ , respectiva-

mente). Correlaciona negativamente  $Mg^{++}$  intercambiable

y  $SO_4^{=}$  de la solución del suelo ( $r = -0,665$  y  $-0,634$ )

$SO_4^{=}$  en solución: correlaciona positivamente con  $Mg^{++}$  y  $SO_4^{=}$  intercambiables

( $r = 0,643$ ,  $0,781$ ) y con  $Mg^{++}$  de la solución

del suelo ( $r = 0,764$ ). Correlaciona negativamente con

$Cl^{-}$  intercambiable  $Mg^{++}$  foliar y  $Cl^{-}$  de la solución

( $r = -0,586$ ,  $-0,816$  y  $-0,634$ )

$Cl^{-}$  en solución: correlaciona positivamente con  $Na^{+}$  y  $Cl^{-}$ , intercambia-

bles ( $r = 0,953$  y  $0,615$ ), con  $Mg^{++}$  y  $Na^{+}$  foliares

( $r = 0,502$  y  $0,695$  y con  $K^{+}$  de la solución del suelo

( $r = 0,632$ ).

Negativamente está correlacionado con  $Mg^{++}$  y  $SO_4^{=}$

intercambiables ( $r = -0,709$  y  $-0,533$ ) y con  $Mg^{++}$ ,  $Na^{+}$

y  $SO_4^{=}$  de la solución del suelo ( $r = -0,496$ ,  $-0,583$  y

$-0,634$ )

De lo anterior es posible deducir en relación con el comportamiento de los elementos en el suelo las siguientes observaciones:

- a) El aumento de  $\text{SO}_4^{=}$  en la solución disminuye la absorción de  $\text{Mg}^{++}$  por las plantas;
- b) Incrementos en  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Ca}^{++}$  en la solución del suelo producen disminución en la absorción de ellos por las plantas;
- c) Existe antagonismo entre el  $\text{Ca}^{++}$  en la solución y la cantidad de  $\text{K}^+$  absorbido;
- d) A mayor concentración de  $\text{Na}^+$  en la solución y en la porción intercambiable corresponde mayor toma por las plantas, pero esto no afecta la producción;
- e)  $\text{Cl}^-$  intercambiable y en la solución favorece la absorción de  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$  por las plantas;
- f) Un exceso de  $\text{Mg}^{++}$  intercambiable disminuye la toma de  $\text{Cl}^-$ ;
- g) La cantidad de  $\text{Mg}^{++}$  absorbido es estimulada por el nivel de  $\text{Ca}^{++}$  intercambiable.

#### 4.3. Actividad iónica y potenciales químicos del suelo.

Los resultados relativos a la actividad iónica en la solución del suelo expresados en mol/litro  $\times 10^{-2}$  se encuentran en el cuadro 4 y los potenciales químicos de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{K}^+$ , aparecen en el cuadro 5. Las actividades iónicas se calcularon de acuerdo con los datos que aparecen en el cuadro 9A del apéndice. En base a tales valores se observa que la actividad iónica de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{Cl}^-$  después de la cosecha, disminuyeron en relación con las actividades del suelo determinadas antes de la siembra. Por su parte el  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  mostraron



aumento en su actividad después de la cosecha, lo cual demuestra que hay un paso continuo de las fases sólidas no intercambiables a las posiciones de disponibilidad por las plantas.

El agotamiento de los otros iones demuestra que este suelo tiene capacidad pobre para reemplazar los elementos extraídos por la planta y que la planta de frijol es ávida de estos iones por cuanto las actividades decrecieron con el transcurso de la cosecha. La mayor pérdida de actividad debida a la extracción por las plantas correspondió al  $Mg^{++}$ , el cual pasó de 0,40 a 0,02 mol/litro  $\times 10^{-2}$ . Por otra parte, el  $Na^+$  mostró la mayor ganancia de actividad, la cual varió de 1,66 a 3,39 mol/litro  $\times 10^{-2}$  después de la cosecha. Como era de esperarse los tratamientos produjeron aumento en la actividad de aquellos iones que aportaban.

Evidentemente la fase en solución demostró ser un método más sensible para detectar el estado de agotamiento de un elemento, que la determinación de la fase intercambiable. Entre los iones estudiados el que mostró mayor actividad fue el  $Na^+$  pues alcanzó valores hasta de 26.48 mol/litro  $\times 10^{-2}$  en el tratamiento no. 14, con NaCl.

En relación con la producción se encontró una relación de  $r = -0,628$  con respecto a la actividad del  $Ca^{++}$  y positiva de 0,583 con el  $SO_4^{=}$ , lo cual señala que una intensidad excesiva de  $Ca^{++}$  no es tolerable por el frijol, mientras la producción aumenta con la actividad de los sulfatos.

Observaciones de la actividad iónica del  $K^+$  permiten determinar que existe antagonismo entre este elemento y los iones divalentes, siendo el mayor de ellos en relación con el  $Mg^{++}$  ( $r = -0,714$ ), mientras que no existe tal antagonismo con los elementos monovalentes.

Se encontró alta relación entre las actividades iónicas y los respectivos potenciales químicos. Así para el  $\text{Cl}^-$   $r=0,837$ ,  $\text{SO}_4^{=}$   $r=0,907$  y  $\text{Na}^+$   $r= 0,958$ .

La producción estuvo moderadamente relacionada con el potencial de sulfatos  $p\text{SO}_4^{=} - p(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$   $r= 0,568$  y no mostró correlación significativa para cloruros y sodio  $p \text{Cl}^- - 0,5 (p \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  y  $p\text{Na}^+ - 0,5 (p\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ , lo cual indica que en la salinización de este suelo es más importante el equilibrio del  $\text{SO}_4^{=}$  con  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  que con los otros iones.

Los valores incluidos en el cuadro 5 indican las relaciones entre los iones de interés y el  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ , señalando los valores de equilibrio entre los tres elementos, punto en el cual no se produce adsorción sin desorción del ion en equilibrio con  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ . Así por ejemplo en el caso de  $p\text{K}^+ - 0,5 p(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) = 1,491$  señala la concentración de  $(\text{mol/litro})^{1/2}$  en que debe encontrarse el  $\text{K}^+$  para mantener el equilibrio con el  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ .

Cuadro 4. Actividad iónica en soluciones de suelo en mol/litro x 10<sup>-2</sup>

Tratamiento*		Ca	Mg	Na	K	SO <sub>4</sub>	Cl
NO							
Testigo	1	0.01	0.02	3.39	2.61	0.014	0.56
NaCl	2	0.06	0.24	10.30	3.06	0.33	0.79
CaCl <sub>2</sub>	3	0.08	0.10	1.89	2.08	0.07	1.22
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	0.014	0.15	10.18	2.99	0.37	0.85
MgSO <sub>4</sub>	5	0.113	0.40	1.56	1.59	0.43	0.21
NaCl	6	0.18	0.13	22.17	2.84	0.06	0.64
CaCl <sub>2</sub>	7	0.48	0.20	0.89	2.41	0.06	0.50
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8	0.001	0.08	15.25	2.45	0.31	0.18
MgSO <sub>4</sub>	9	0.04	0.25	0.44	1.17	0.24	0.15
NaCl	10	0.09	0.14	24.89	3.22	0.07	1.17
CaCl <sub>2</sub>	11	0.47	0.17	1.01	1.98	0.05	0.76
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12	0.001	0.12	8.98	2.42	0.43	0.76
MgSO <sub>4</sub>	13	0.007	0.11	0.35	0.76	0.11	0.11
NaCl	14	0.12	0.12	26.48	3.04	0.05	1.45
CaCl <sub>2</sub>	15	0.16	0.17	1.07	2.62	0.011	0.60
NaSO <sub>4</sub>	16	0.004	0.17	25.95	3.18	0.05	0.95
MgSO <sub>4</sub>	17	0.005	0.05	0.32	0.97	0.05	0.05
Original		0.26	0.40	1.66	2.26	0.29	0.75

\* Tratamiento 2 - 5 : Cond. eléct. ext. sat. = 1,5 mmho/cm

6 - 9 : " " " " = 2,5 "

10 - 13: " " " " = 3,5 "

14 - 17: " " " " = 4,5 "

Cuadro 5. Potenciales químicos de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{K}^+$

Tratamiento	Nº	ARo $\text{Cl}^-$	ARo $\text{Na}^+$	ARo $\text{SO}_4^{2-}$	ARo $\text{K}^+$
Testigo	1	0.314	1.937	0.008	1.491
NaCl	2	0.144	1.882	0.060	0.559
CaCl <sub>2</sub>	3	0.287	0.445	0.016	0.489
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	0.212	2.513	0.091	0.738
MgSO <sub>4</sub>	5	0.029	0.218	0.060	0.222
NaCl	6	0.115	3.980	0.011	0.510
CaCl <sub>2</sub>	7	0.061	0.108	0.007	0.292
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8	0.063	5.360	0.109	0.861
MgSO <sub>4</sub>	9	0.028	0.082	0.045	0.217
NaCl	10	0.244	5.185	0.015	0.671
CaCl <sub>2</sub>	11	0.095	0.126	0.006	0.248
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12	0.218	2.581	0.124	0.696
MgSO <sub>4</sub>	13	0.033	0.102	0.033	0.222
NaCl	14	0.296	5.404	0.010	0.620
CaCl <sub>2</sub>	15	0.104	0.186	0.002	0.457
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	16	0.227	6.208	0.012	0.761
MgSO <sub>4</sub>	17	0.021	0.136	0.021	0.414
Original		0.092	0.204	0.036	0.278

$$\text{ARo} = \frac{\text{Cl}^-}{\sqrt{\text{Ca}+\text{Mg}}}$$

$$\text{ARo} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\text{Ca}+\text{Mg}}}$$

$$\text{ARo} = \frac{\text{SO}_4^{2-}}{\sqrt{\text{Ca}+\text{Mg}}}$$

$$\text{ARo} = \frac{\text{K}^+}{\sqrt{\text{Ca}+\text{Mg}}}$$

#### 4.4. Variación de las propiedades químicas del suelo después de la cosecha.-

Los resultados que se muestran en el cuadro 10A del apéndice señalan que prácticamente no hubo variación en relación con los valores originales del suelo, para la capacidad de intercambio y pH por efecto de las sales y el cultivo (ver cuadro 1A del apéndice). La conductividad eléctrica del suelo no tratado con sales disminuyó de 0,6 a 0,36 mmho/cm lo cual puede atribuírse a la absorción de las sales del suelo por la planta para su desarrollo vegetativo. En todos los otros casos tendió igualmente a disminuir en relación a los tratamientos inicialmente establecidos, excepto en los tratamientos clorinados, los cuales a partir de la concentración inicial de 2,5 mmho/cm mostraron aumento al final de la cosecha.

El porcentaje de saturación de  $\text{Na}^+$  aumentó en todos los tratamientos después de la cosecha, siendo especialmente notable en aquellos que recibieron  $\text{Na}^+$ . Como consecuencia de esto, la relación de absorción de sodio (RAS) aumentó también en tales tratamientos, tendiendo en los restantes casos a producir variaciones más pequeñas.

#### 4.5. Comportamiento de algunas propiedades físicas del suelo.-

##### 4.5.1. Capacidad de retención de humedad y espacio aéreo

Los valores estimados por regresión para las curvas de desorción de agua aparecen en los cuadros 11A y 12A del apéndice y su graficación junto con la del espacio aéreo estimado por la fórmula [ 12 ] puede apreciarse en la figura 4a en la cual se encuentran representadas las curvas correspondientes al suelo en su estado original de campo, luego de

preparado para colocarlo en las macetas y el suelo del tratamiento testigo después de la cosecha, para contrastar con los tratamientos de mayor y menor rendimiento en cada sal.

La comparación del suelo original no disturbado y el testigo en la parte a) de la figura 4 indica que el suelo no disturbado presentó mayor capacidad de retención de agua a medida que aumentó la succión matriz, la cual perdió debido al efecto de preparación de las muestras para colocarlas en el invernadero. Se observa que los tres estados del suelo estuvieron sujetos a condiciones similares de aireación y superiores al 15% de espacio aéreo, dentro del rango de humedad de 0,2 a 0,8 bares establecido en el invernadero. La comparación de la curva de desorción de agua del suelo correspondiente al tratamiento testigo contra las correspondientes a los suelos sujetos a tratamientos salinizantes señalan que hay pequeñas diferencias en la capacidad de retención de humedad contra la succión, tal como lo indican las variaciones en los coeficientes de regresión calculados por la fórmula [ 11 ]. Sin embargo, pruebas de "t" realizadas para comparar los coeficientes de regresión en los tratamientos contrastantes en cada sal indican que no hubo diferencias significativas al nivel de 5% de probabilidades, en todas las comparaciones a partir de los cálculos realizados utilizando las fórmulas [ 13 ] y [ 14 ] .

Observaciones en base a las curvas de espacio aéreo en los mismos tratamientos contrastantes indican que los niveles de conductividad correspondientes a 1,5 mmho/cm permitieron mayor espaciamento en el sector radical para cada sal, que los tratamientos de concentracio-

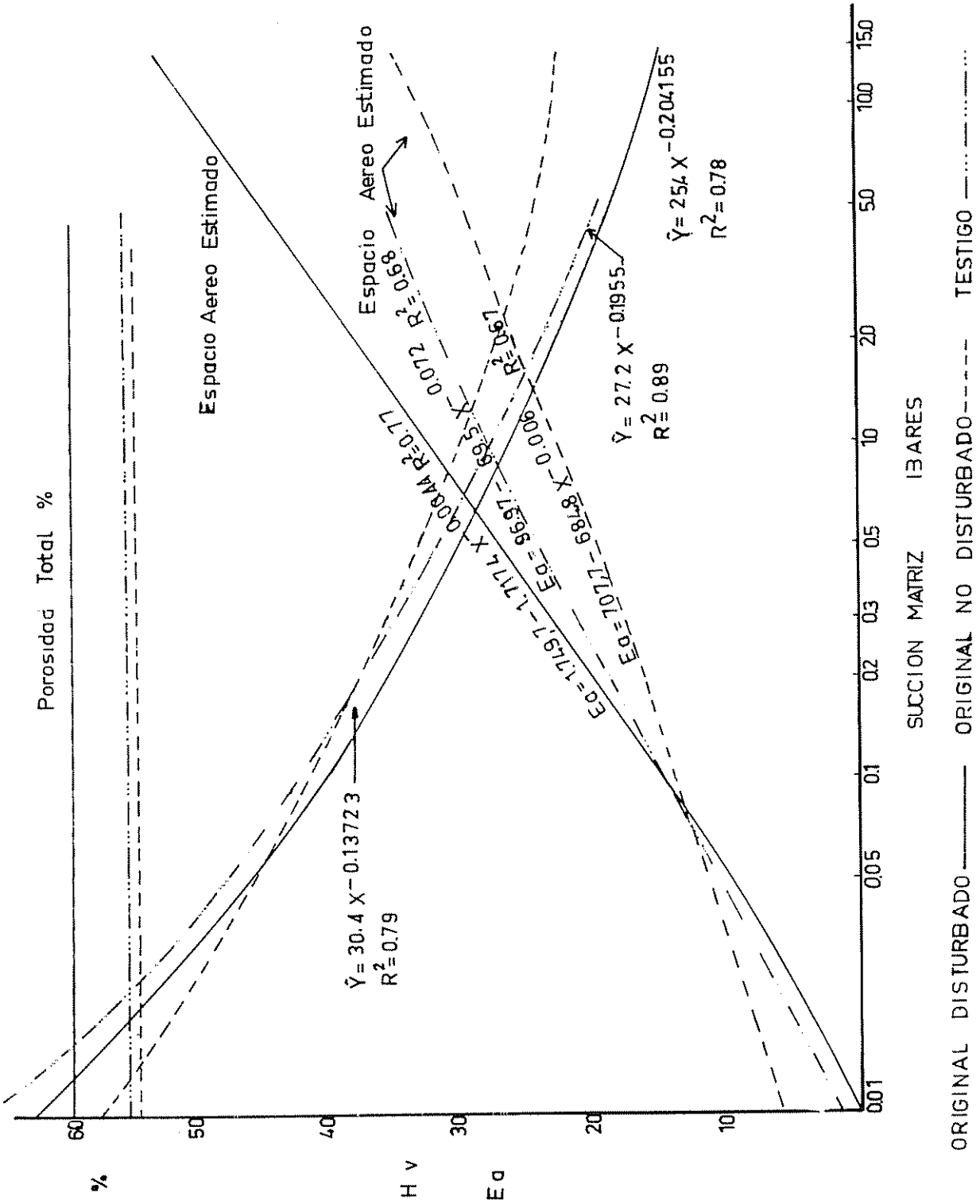


Figura 4a. Curvas de desorción, porosidad y espacio aereo en suelos con adición de sales.

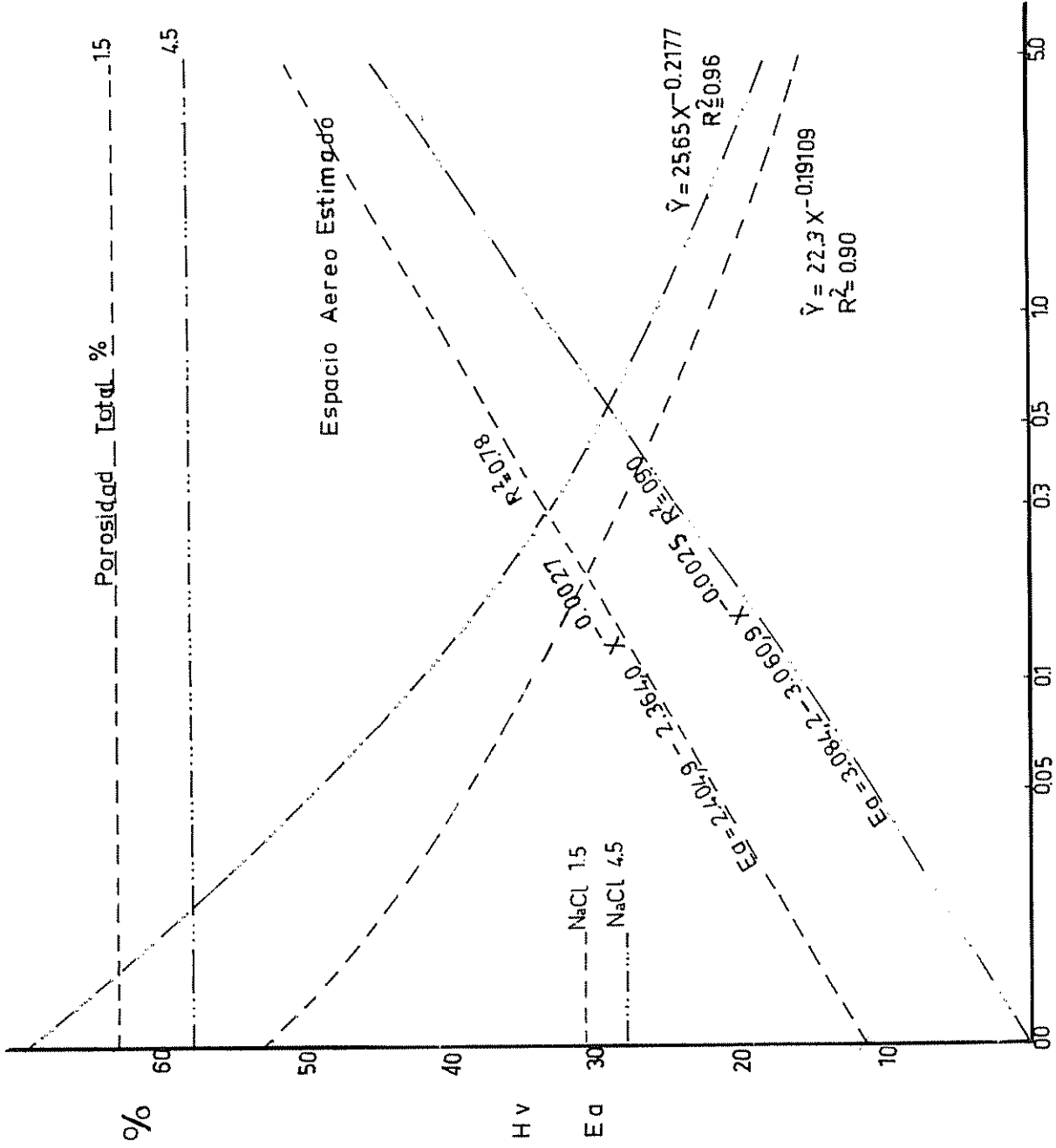


Figura 4 b. Curvas de desorción, porosidad y espacio aereo en tratamientos contrastantes de NaCl



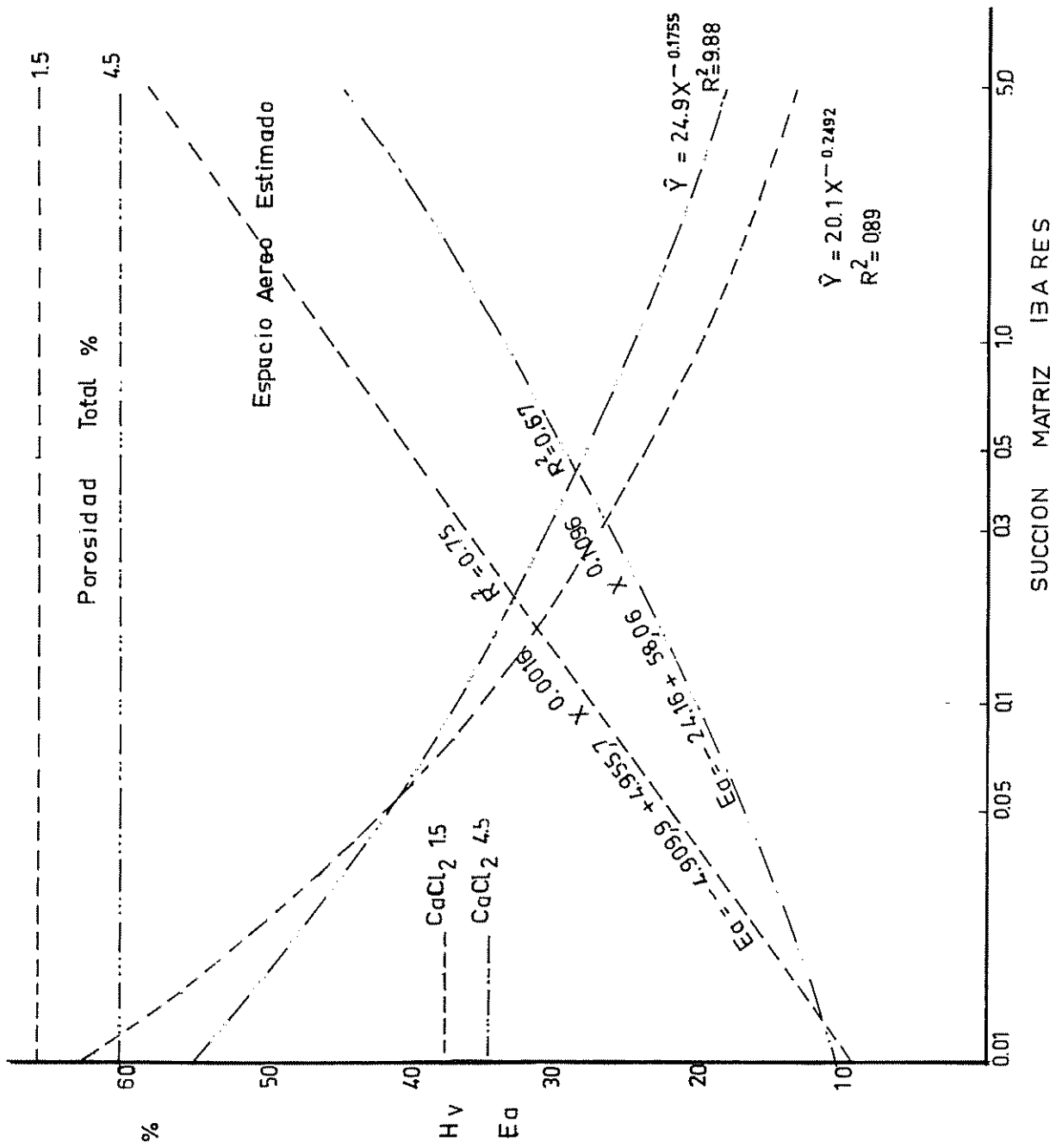
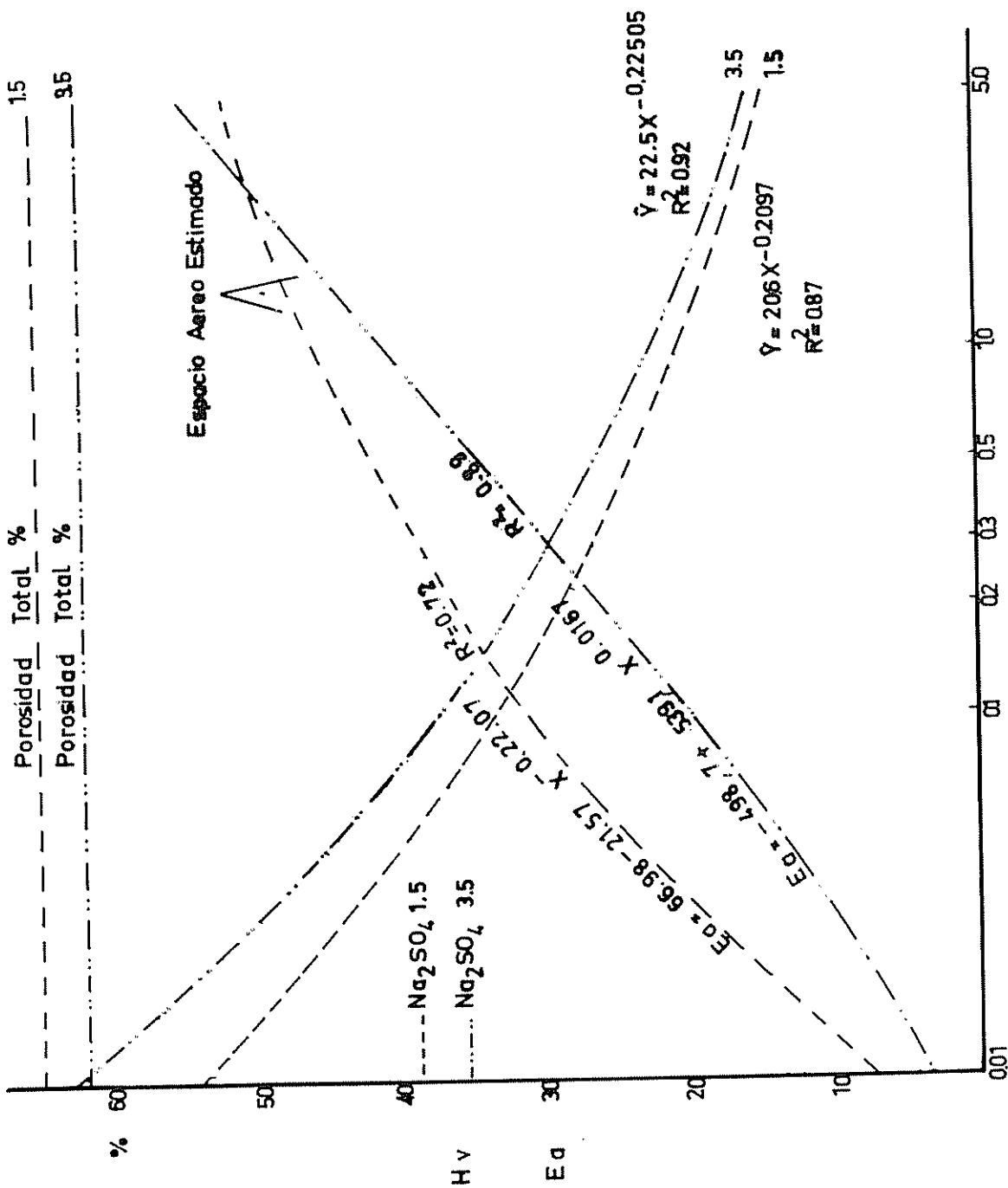
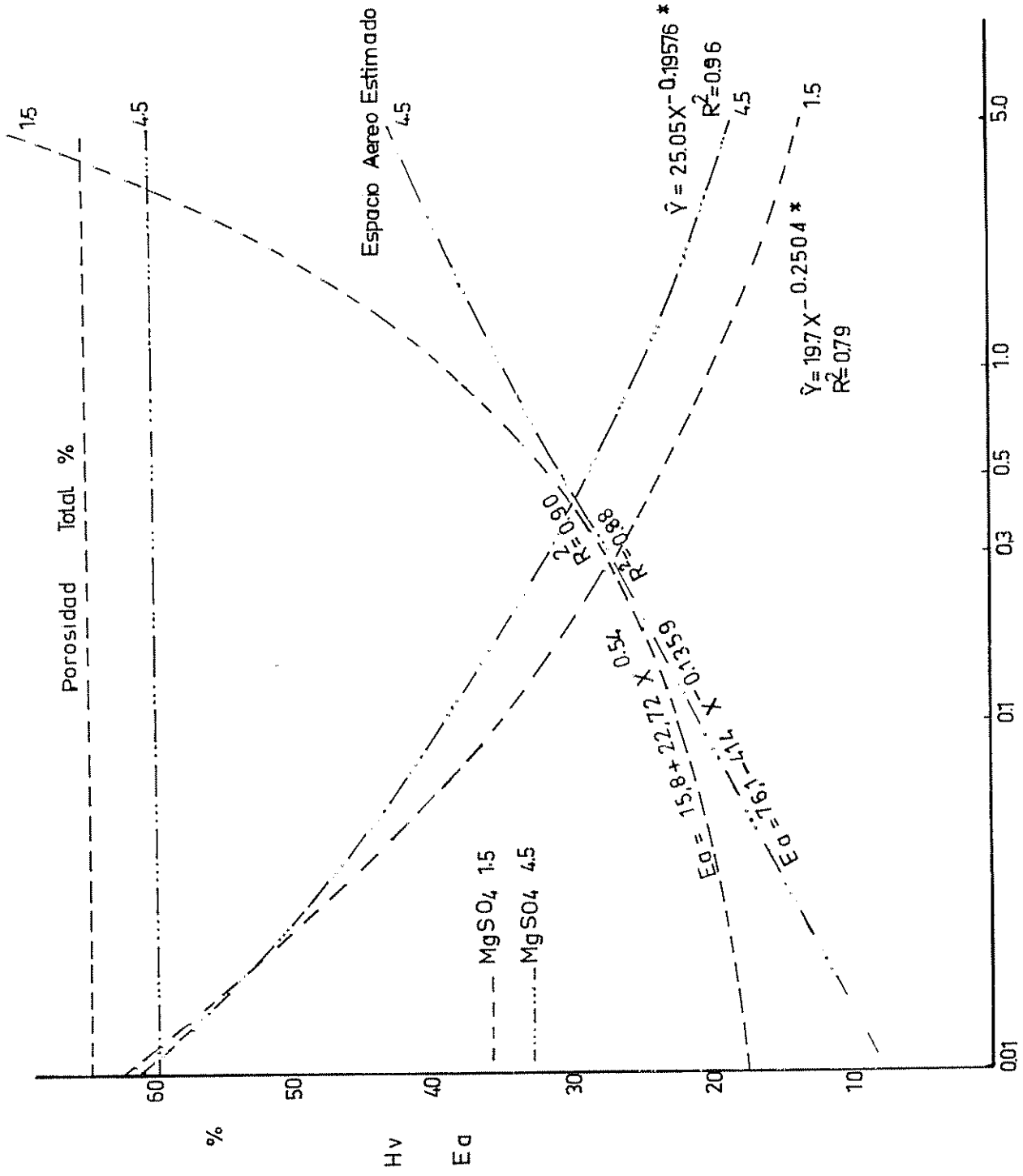


Figura 4 c. Curvas de desorción, porosidad y espacio aéreo en tratamientos contrastantes de CaCl<sub>2</sub>.



SUCCION MATRIZ h ares

Figura 4 d. Curvas de desorción, porosidad y espacio aéreo en tratamientos contrastantes de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$



SUCCION MATRIZ 1.5 ARES

Figura 4 e. Curvas de desorción, porosidad y espacio aéreo en tratamiento contrastantes de  $MgSO_4$ .

nes más elevadas. En ninguno de estos casos el espacio aéreo fue limitante para el desarrollo de las plantas, considerando los límites de humedad establecidos en el ensayo.

#### 4.5.2. Comportamiento de la succión osmótica y la succión total.-

En el Cuadro 6 se encuentran calculados los valores de la succión osmótica y la succión total para los cuatro niveles de conductividad establecidos inicialmente y en el Cuadro 7 aparecen los cálculos correspondientes a las mismas succiones, dentro del rango de humedad en que se conservó el suelo. Se observa que debido a la concentración de la solución dentro del rango 0,2 a 0,8 bares, en donde normalmente las plantas podrían tomar fácilmente agua contra la succión matriz, se ha producido un incremento notable y semejante de la succión osmótica, para todas las sales, dentro de cada nivel de conductividad mayor de 1,5 mmho/cm que la lleva a niveles por encima de los normalmente sopor tados por las plantas.

#### 4.5.3. Efecto de la penetrabilidad del suelo.-

Los cuadros 13A y 14A muestran los valores de penetrabilidad en bares para 0 y 7,5 cm de profundidad, determinados en las macetas después de la cosecha. En relación con los valores obtenidos a nivel superficial, se observa que, de acuerdo con el análisis de variancia presentado en el Cuadro 15A hubo diferencia significativa al nivel de 1% entre los tratamientos, respecto al testigo, efecto de sales y efecto combinado de sales por niveles de conductividad. Considerando los valores que, en relación con esta capa superficial, aparecen consignados en el Cuadro 13A puede determinarse que a causa del secamiento

del suelo se produjo compactación, con formación de costras endurecidas, en todos los casos, siendo mayor la producida por el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  la cual aumentó con la concentración de la sal y la menor la producida por el  $\text{CaCl}_2$ . Los cloruros endurecieron la capa superficial en menor grado que los sulfatos y el cloruro de sodio produce más endurecimiento que el cloruro de calcio, por cuanto los efectos del sodio sobre el grado de floculación del suelo son más notables que los de cualquier otro catión.

En relación con la penetrabilidad del suelo a 7,5 cm se observa que de acuerdo con el análisis de variancia presentado en el Cuadro 16A hubo efecto diferencial entre tratamientos, en relación con el testigo, efecto de sales y de los niveles de conductividad, pero no hubo efecto conjunto de sales x conductividad. En el Cuadro 14A se observa que nuevamente los sulfatos tienden a producir mayor endurecimiento que los cloruros y en especial el sulfato de sodio, pero a este nivel de profundidad no se observa formación de capas endurecidas y el nivel de endurecimiento no alcanza valores extremos superiores a 14 bares en ningún caso. La matriz de correlación mostró moderada asociación entre la producción y la penetrabilidad a 0 cm ( $r = 0,511$ ) y a 7,5 cm ( $r = 0,485$ ).

La observación de los valores de porosidad total graficados en las figuras 4a, 4b, 4c, 4d, y 4e demuestran que en todos los casos se observan variaciones en la porosidad total, lo cual señala que los incrementos en la concentración salina produjeron efectos de compactación, con la consiguiente disminución de la porosidad.

Cuadro 6. Cálculo de la succión osmótica y la succión total en bares para los tratamientos empleados.

Succión Matriz	Hg** %	Factor de Concent.	SUCCION OSMOTICA* bares			SUCCION TOTAL bares				
			C.E.	C.E.	C.E.	C.E.	C.E.	C.E.	C.E.	
0	52.49	1.0	0.54	1.44	2.70	4.32	0.54	1.44	2.70	4.32
0.01	50.82	1.03	0.56	1.48	2.78	4.45	0.57	1.49	2.79	4.46
0.1	37.04	1.42	0.77	2.04	3.83	6.13	0.87	2.14	3.93	6.23
0.3	31.21	1.68	0.91	2.42	4.54	7.26	1.21	2.72	4.84	7.56
0.5	29.71	1.77	0.96	2.55	4.78	7.65	1.46	3.05	5.28	8.15
1.0	27.01	1.94	1.05	2.79	5.24	8.38	2.05	3.79	6.24	9.38
5.0	21.65	2.42	1.31	3.48	6.53	10.45	6.31	8.48	11.53	15.45

\* Para NaCl, CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y MgSO<sub>4</sub>

\*\* Hg = valores estimados por regresión.-

Factor de concentración = Hg saturac./Hg

Succión Osmótica (saturación) = 0.36 x C.E. (extracto sat.) mmhos/cm

Succión Osmótica (suelo no saturado) = Succión Osmótica (sat.) x factor de concentración.

Cuadro 7. Cálculo de la succión osmótica y succión total en macetas, en bares, entre los límites de humedad establecidos en el ensayo, para los tratamientos de máxima y mínima producción en cada sal.

TRATA- MIENTOS	HUMEDAD VOLUMETRICA*		HUMEDAD GRAVIMETRICA		Factor de concentración		Succión Osmótica		Succión Total	
	Succión	a	Succión	0.8	Succión	0.2	Succión	Nivel	Succión	Nivel
Saturación	-	-	52.49	1.0	1.0	0.34	0.5			
Testigo	37.8	28.8	1.122	33.69	25.67	1.56	2.05	0.34**	0.5	
NaCl	1.5	30.5	23.2	0.921	33.11	25.19	1.59	2.26	0.86	1.22
	4.5	36.0	27.0	1.055	34.12	25.59	1.54	1.94	6.65	8.38
	1.5	30.0	21.5	0.840	35.71	25.59	1.47	2.44	0.79	1.32
CaCl <sub>2</sub>	4.5	33.1	26.0	0.988	33.50	26.31	1.57	2.02	6.78	8.73
	1.5	28.9	21.6	0.868	33.29	24.88	1.58	2.43	0.85	1.31
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.5	32.2	24.8	0.944	34.11	26.27	1.54	2.12	4.16	5.72
	1.5	29.5	20.7	0.881	33.48	23.49	1.57	2.56	0.85	1.37
MgSO <sub>4</sub>	4.5	34.2	26.0	1.003	34.10	25.92	1.56	2.02	6.65	8.72
										6.85
										9.52

\* Valores estimados por regresión.

\*\* Succión osmótica del extracto de saturación = 0.22 bares

## 5. DISCUSSION

El presente trabajo demostró que el frijol es una planta muy sensible a la acumulación de sales en el suelo, lo cual sirve para reafirmar lo previamente establecido por Villagarcía (82), Richards (70), Awad (3), Wadleigh, Gaugh y Strong (85) y otros. El punto crítico del efecto de sales se estableció en 1,5 mmho/cm de conductividad eléctrica, teniendo en cuenta que se presentan dos niveles diferentes, uno bajo para los cloruros, los cuales afectan en forma notable la producción y un nivel superior para los sulfatos, cuyo comportamiento aunque similar a los cloruros muestra efectos menos marcados sobre la producción, permitiendo mejores rendimientos y aun cierto estímulo fertilizante sobre la producción.

Los efectos de las sales sobre las plantas concordaron con la sintomatología establecida por Allison (2), habiéndose observado efectos de tipo tóxico, de tipo osmótico y sobre la nutrición mineral.

En relación con la toxicidad se observó particular influencia en este aspecto por parte de los cloruros, ya que estas sales afectaron más severamente la producción. Los análisis de la porción foliar comprobaron que el  $\text{Cl}^-$  se acumuló en grandes concentraciones en las plantas, lo cual parece sugerir que tales acumulaciones produjeron a la vez desbalanceamiento nutricional.

Las referencias bibliográficas no señalan claramente el papel que desempeña el  $\text{Cl}^-$  sobre la nutrición de las plantas. En el presente ensayo por otra parte, se observó una vez más en forma clara su efecto tóxico sobre el desarrollo cuando se presenta en concentraciones altas,



a través del escaso desarrollo de las plantas, amarillamiento necrosis foliar y notable caída de flores y aun frutos en formación, observándose además su influencia en la reducción del ciclo vegetativo de las plantas. De estas observaciones se desprende la necesidad de determinar si la caída de las flores, factor de importancia en el descenso de la producción, se manifiesta de manera similar en otras variedades, a medida que aumenta la concentración de  $\text{Cl}^-$  lo cual permitiría seleccionar la variedad que debería sembrarse en áreas frijoleras de las costas Centroamericanas.

La acumulación de  $\text{Cl}^-$  aún en el testigo fue sorprendentemente alta, lo cual parece indicar que el frijol tiene cierta habilidad para tomarlo y también suponer que el frijol aumentará el consumo de  $\text{Cl}^-$  a medida que este aumente su actividad iónica en el suelo. En base a esto es recomendable tomar en cuenta el estado del elemento  $\text{Cl}^-$  en los lugares que se desee sembrar frijol. Awad (3) confirma lo anterior cuando indica que en relación a concentraciones de  $\text{Cl}^-$  del suelo iguales a 700 - 1,500 ppm, las plantas acumulan concentraciones de 10 a 20.000 ppm. La variedad 27-R demuestra ser muy ávida de  $\text{Cl}^-$  puesto que con cantidades de 12 ppm en el suelo, la planta acumuló cerca de 13.000 ppm (Ver Cuadro 3).

Valores de actividad cercanos a  $0,50 \text{ mol/litro} \times 10^{-2}$  podrían considerarse como un límite aceptable de actividad de  $\text{Cl}^-$  en la solución, ya que el trabajo demuestra que a partir de  $0,60 \text{ mol/litro} \times 10^{-2}$  de  $\text{Cl}^-$  la producción disminuye.

Cuando hay sulfatos presentes en la solución, el punto crítico de actividad de los cloruros puede elevarse entre 0,75 y 0,80 mol/litro  $\times 10^{-2}$  a medida que la actividad iónica de los sulfatos se aproxima a 0,35 - 0,45 mol/litro  $\times 10^{-2}$ , lo cual señala que los efectos del  $\text{Cl}^-$  parecen atemperarse debido a una mayor actividad de los sulfatos. En este trabajo se considera que la actividad iónica de la solución del suelo es más importante para evaluar el suministro iónico y la composición de las plantas, que la evaluación de los iones en la fase intercambiable, lo cual refuerza lo establecido por Lunin, Gallatin y Batchelder (50).

En contraste con lo establecido por Gaugh y Hadleigh (38) se demostró que, considerando niveles iguales de concentración de solutos en la producción de frijol, es más importante la naturaleza química de las sales que la concentración total, puesto que la concentración de solutos de una solución determina la succión osmótica o sea una porción parcial del efecto deletereo que ejercen las sales. Tampoco se encontraron efectos equivalentes en las sales de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  ya que en todos los casos fue más peligrosa la acumulación de  $\text{Ca}^{++}$  que de  $\text{Na}^+$ .

En relación con el comportamiento de los sulfatos, se ha observado que en suelos influenciados por materiales volcánicos, la deficiencia de S ascequible para las plantas es notable y que adiciones de materiales sulfatados tienden a producir balanceamiento de los niveles nutricionales, razón por la cual en estos suelos influenciados por materiales de los volcanes Rincón de la Vieja. y Miravalles se presenta este fenómeno característico en los tratamientos con sales de sulfato.\*

---

\* Blasco, M. IICA-CTEI. Comunicación personal.

Considerando los efectos de las sales sobre la succión del agua en el suelo, es innegable que la concentración salina incrementó la succión osmótica a concentraciones superiores a las normalmente soportadas por las plantas, a causa de la concentración de la solución del suelo al disminuir la cantidad de agua por efecto de la evapotranspiración. Ello permite establecer que las plantas estuvieron no solamente sujetas a efectos tóxicos y a desbalances nutricionales, sino a la acción conjunta de ellos más la succión total del agua en el suelo. En este aspecto, aunque se observaron succiones similares para todas las sales en relación con el aumento de concentración, debe tenerse en cuenta lo anotado por Meiri y Poljakoff-Mayber (55), según lo cual el mayor papel sobre el desbalance hídrico foliar se le atribuye al  $\text{Cl}^-$ , por su tendencia a aumentar en mayor grado la presión osmótica dentro de la planta, que los sulfatos. A la vez esto permite deducir que las notables diferencias en los efectos perjudiciales sobre la producción estuvieron principalmente determinados por la concentración de iones en la planta y su actividad en la solución del suelo.

Comparando el comportamiento de la fase intercambiable y la actividad iónica se observa que la variedad 27-R requiere un suministro de  $\text{Ca}^{++}$  en dosis pequeñas pero continuadas. De allí que concentraciones altas de  $\text{Ca}^{++}$  produjeron efectos detrimentales en la producción, de donde se deduce a la vez que la variedad 27-R no es recomendable para sitios en donde la acidez del suelo haya sido corregida con dosis altas de  $\text{Ca}^{++}$ .

El  $Mg^{++}$  demostró ser más importante que el  $Ca^{++}$  en relación con la producción, por cuanto estimuló la absorción de  $SO_4^{=}$  y restringió la de  $Cl^{-}$ . Esto explica las conclusiones del estudio realizado por Armijos\*, quien indica que el  $Mg^{++}$  es el elemento de mayor importancia relativa en la nutrición del frijol.

Como corolario de los dos puntos anteriores se desprende que, para suelos destinados a frijol no debe utilizarse  $CaCO_3$  como correctivo de acidez, prefiriéndose a este la roca dolomítica o en casos de no disponerse de este material, debería utilizarse una aplicación adicional de  $Mg^{++}$  en proporción tal que represente entre 30 y 45% en relación con el  $Ca^{++}$ .

Respecto al  $Na^{+}$  se encontró que concordando con lo establecido por Pearson (59), aumentos de este elemento en la solución del suelo y en la fase intercambiable, producen aumento en la absorción de  $Na^{+}$  por las plantas de frijol. Es de anotar que el sodio no mostró antagonismo con ninguno de los cationes aquí estudiados y a pesar de encontrarse en cantidades altas en el suelo por efecto de las aplicaciones, el frijol no parece ser una planta ávida de este elemento ya que se concentró en moderadas proporciones, lo cual concuerda con lo sostenido por Collander citado por Grugh y Wadleigh (38), quien indica que este es el elemento que las plantas excluyen con mayor facilidad.

En relación con el efecto de compactación producido por las sales y el secamiento del suelo, especialmente sobre la capa superficial, cabe anotar que este no presenta mayor importancia en relación con la

---

\* Armijos, E. IICA-CTEI. Comunicación personal.

producción, puesto que en las capas inferiores los niveles de compactación no fueron limitantes y el espacio aéreo se conservó dentro de límites adecuados para el desarrollo radical. Sin embargo, el fenómeno superficial permite anotar que para este suelo, cuando las condiciones de humedad del suelo descienden a niveles de secamiento al aire, bajo condiciones de salinidad, sería necesario elevar el contenido de humedad a condiciones próximas al porcentaje de capacidad de campo, previamente a la preparación mecánica del terreno a causa del incremento en la compactación y la resistencia al corte. Incrementos en la salinidad y en los niveles de sodio en suelos de la Serie Tempisque pueden llegar a producir condiciones extremas de resistencia a la capacidad de penetración de las raíces, producto de la dispersión de los coloides del suelo, ocasionada por el sodio.

Finalmente cabe destacar que, las áreas destinadas al cultivo del frijol en los países latinoamericanos son principalmente las correspondientes a valles interandinos o regiones cercanas al mar, en donde los suelos están expuestos a efectos de salinidad y en donde tradicionalmente su caracterización se hace en base a la composición catiónica, la cual en este trabajo demostró no ejercer la mayor influencia sobre la producción. Por tanto es necesario bajo tales circunstancias realizar análisis para determinar las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  en la solución del suelo y de ser posible acompañar esta determinación con curvas de desorción asociadas a la conductividad eléctrica del extracto saturado y corregidas para el cálculo de la succión total para los valores de humedad soportados normalmente por los suelos agrícolas.

## 6. CONCLUSIONES

1. El desarrollo y los rendimientos se redujeron a partir de 1,5 mmho/cm a 25 C, en forma diferente para los cloruros y sulfatos, siendo muy marcado el descenso en el rendimiento, causado por los primeros y en menor grado por los sulfatos, lo cual permite establecer dos niveles de afección.
2. A partir de este valor las plantas estuvieron sujetas a efectos tóxicos, osmóticos y a desbalanceamientos de la nutrición mineral.
3. Entre los iones evaluados se encontró que los cloruros producen mayores efectos deletereos sobre el crecimiento y la producción del frijol, siendo una de sus características sobresalientes la influencia sobre la caída de flores y frutos en formación.
4. La variedad de frijol 27-R demostró tener gran habilidad para tomar  $\text{Cl}^-$ , acumulando en la parte aérea cantidades hasta de 58,930 ppm y correspondiendo la menor concentración al testigo con 13,850 ppm.
5. La actividad iónica refleja mejor el comportamiento de los iones en el suelo que mediciones realizadas sobre la fase intercambiable.
6. La producción de frijol tiende a disminuir cuando el análisis de la solución del suelo señala una actividad iónica del  $\text{Cl}^-$  de 0,50 mol/litro  $\times 10^{-2}$  o mayor. Este punto crítico puede elevarse a 0,75-0,80 mol/litro  $\times 10^{-2}$  cuando la actividad de los sulfatos se encuentra alrededor de 0,35-0,45 mol/litro  $\times 10^{-2}$ .
7. El  $\text{Mg}^{++}$  promueve la absorción de sulfatos, restringe la absorción de  $\text{Cl}^-$  y demostró ser más importante en la nutrición que el  $\text{Ca}^{++}$ . Por esta causa, la mayor pérdida de actividad debido a la extracción por

las plantas correspondió al  $Mg^{++}$ , el cual pasó de 0,40 a 0,02 mol/litro  $\times 10^{-2}$  después de la cosecha.

8. La variedad 27-R requiere un suministro de  $Ca^{++}$  en dosis pequeñas pero continuadas. Concentraciones altas de  $Ca^{++}$  disminuyen la producción y la absorción de  $K^+$  por las plantas.

9. La adición de sales no produjo diferencias significativas en la capacidad de retención de agua por el suelo. Sales de sodio produjeron formación de costras a causa del secamiento del suelo a nivel superficial y niveles elevados de endurecimiento, la cual se observó en menor grado a niveles más profundos y sin restricción del espacio aéreo.

#### RECOMENDACIONES

Antes de sembrar frijol en áreas donde las características geomorfológicas y de manejo de los suelos favorezcan el desarrollo de condiciones de salinidad, debe determinarse la conductividad eléctrica del extracto de saturación, la actividad iónica del  $Cl^-$  en el suelo y curvas de desorción de agua. Estas determinaciones se consideran más importantes que las efectuadas tradicionalmente.

En suelos que se destinen al cultivo del frijol y que requieran encalamiento para contrarrestar la acidez del suelo, no debe utilizarse carbonato de calcio sino roca dolomítica o mezcla de carbonato de calcio con  $Mg^{++}$  siempre y cuando el  $Mg^{++}$  represente en relación al calcio al menos el 35%.

## 7. RESUMEN

El suelo utilizado corresponde a materiales aluviales de la Serie Tempisque (Entisol), colectado en los alrededores del municipio de Filadelfia (Guanacaste, Costa Rica), ecológicamente perteneciente al bosque seco tropical. El ensayo consistió en preparar suelos mediante adición de cuatro sales:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{MgSO}_4$ , con el objeto de producir conductividades eléctricas de 1,5, 2,5, 3,5, 4,5 mmho/cm y estudiar el comportamiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.), variedad 27-R ante la salinización creciente del suelo.

El ensayo se llevó a cabo en invernadero y la humedad en el suelo se controló, en tal forma de mantener la succión matricial entre 0,2 y 0,8 bares. El experimento demostró que el efecto de las sales sobre la conductividad eléctrica producida en el suelo sigue el orden:  $\text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4$ . Se observó que el mayor efecto detrimental sobre la producción fue ocasionado por la adición de  $\text{Cl}^-$ , particularmente en el caso en que el  $\text{Cl}^-$  se hallaba unido al  $\text{Ca}^{++}$ , en tanto que los sulfatos no parecieron afectar la producción en relación con el testigo y adjudicándose a la caída de flores y frutos gran parte del descenso en la producción.

Niveles de conductividad eléctrica superiores a 1,5 mmho/cm mostraron efectos deletereos sobre la producción del frijol en dos niveles diferentes para sulfatos y cloruros. El análisis estadístico demostró que el efecto de las sales sobre el frijol era debido a los aniones cloruro y sulfato y no a los cationes. Dentro de los cationes el más importante fue el  $\text{Mg}^{++}$  por cuanto mejoró la absorción de sulfato y res-



tringió la de cloruro.

Los tratamientos salinizantes no produjeron efectos sobre la capacidad de retención de agua y el espacio aéreo del suelo y aunque las sales de sodio endurecieron grandemente la capa superficial a medida que se secaba el suelo, el efecto sobre las porciones más profundas en las macetas no alcanzó niveles perjudiciales.

La concentración de la solución del suelo a causa del secamiento de este hasta 0,8 bares produjo en los tratamientos de 4,5 mmho/cm de conductividad eléctrica succiones totales superiores a 9 bares.

### 7a. SUMMARY

An aluvial soil (Entissol) collected from Filadelfia county (Guanacaste, Costa Rica) was used for this investigation and the place was classified ecologically as dry tropical forest. The treatments consisted in preparing soils by adding four salts: NaCl, CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and MgSO<sub>4</sub>, to produce electrical conductivities of 1,5, 2,5, 3,5 and 4,5 mmho/cm and to study the bean 27-R variety (Phaseolus vulgaris L.) behavior in relation to the growing levels of salinity in the soil.

The experiment was carried out under greenhouse conditions and soil moisture was controlled in such a way to establish range of 0,2 to 0,8 bares of matrix suction. The assay showed that salt effects on electrical conductivity are in the following order: NaCl > CaCl<sub>2</sub> > Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > MgSO<sub>4</sub>. The greater deleterious effect was produced by Cl<sup>-</sup> addition, mainly in the case in which Cl<sup>-</sup> was combined with Ca<sup>++</sup>. The sulphates did not appear to affect the production in the same way in relation to the control and Cl<sup>-</sup> produced a lot of flowers and fruits fallen.

Electrical conductivity levels of 1,5 mmho/cm demonstrated toxic effects on bean production in two different grades to sulphate and chlorides. Statistical analysis, showed that the salt effect on bean plants was caused by chlorides and sulphate anions but not by the cations. Between cations the most important was Mg<sup>++</sup> because it improved the absorption of SO<sub>4</sub><sup>=</sup> and restricted the absorption of Cl<sup>-</sup>.

Salinization treatments did not produce effects on soil water retention capacity and aerial space, and in spite of the **fact** that sodium salts did harden the soil surface when it had dried, the effect on the deeper soil in the pots did not damage the plants.

Due to drying up to 0,8 bares the soil solution concentration produced total suctions higher than 9 bares with the 4,5 mmho/cm treatments of electrical conductivity.

8. LITERATURA CITADA

1. ALBAN, L. A. y KELLOGG, M. Methods of soil analysis as usual in the Oregon State Soil Testing Laboratory. Oregon. Agricultural Experimental Station. Miscellaneous Paper no. 65. 1959. 9 p.
2. ALLISON, L. E. Salinity in relation to irrigation. *Advances in Agronomy* 16:139-180. 1964
3. AWAD, M. Las plantas en los suelos salinos y alcalinos. *In* Simposio sobre Salinidad, La Molina, Perú, 1966. Lima, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Dirección Regional para la Zona Andina, Programa de Zonas Áridas, 1966. s.p.
4. BABCOCK, K. L. Evidence for sodium fixation in salt affected soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 24(2):85-86. 1960.
5. \_\_\_\_\_ y SCHULZ, R. K. Effect of anions on the sodium-calcium exchange in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 27(6):630-632. 1963.
6. BARSLEY, C. E. y LANCASTER, J. D. Sulfur. *In* Black, C. A. *et al.*, eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1968. pp. 1103-1116.
7. BECKETT, P. T. Studies on the soil potassium. I. Confirmation of the ratio law: measurement of the potassium potential. *Journal of Soil Science* 15(1):1-8. 1964.
8. \_\_\_\_\_. Studies on the soil potassium. II. The immediate Q/I relation of labile potassium in the soil. *Journal of Soil Science* 15(1):9-23. 1964.
9. \_\_\_\_\_. Potassium-calcium exchange equilibria in soils: specific adsorption sites for potassium. *Soil Science* 97(6):376-383. 1964.
10. BERNSTEIN, L. Salt tolerance of vegetable crops in the west. US. Department of Agriculture. *Agriculture Information Bulletin* no. 205. 1959. 5 p.
11. \_\_\_\_\_. Salt tolerance of fields crops. US. Department of Agriculture. *Agriculture Information Bulletin* no. 217. 1960. 6 p.
12. \_\_\_\_\_. Osmotic adjustment of plants to saline media. II. Dynamic phase. *American Journal of Botany* 50(4):360-370. 1963.
13. BLAIR, E. *Manual de riegos y avenamientos*. Lima, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Andina, 1957. 364 p.

14. BLAKE, G. R. Particle density. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1968. pp. 374-390.
15. \_\_\_\_\_. Bulk density. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1968. pp. 211-223.
16. BLASCO L., M. y PINCHINAE, A. M. Absorción y distribución de nutrientes en el frijol (Phaseolus vulgaris L.). In Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, Managua, Nicaragua, 1972. 17 p. (En prensa)
17. BORNEMISZA, E. y LLANOS, R. Sulphate movement, adsorption and desorption in three Costa Rica soils. Soil Science Society of America Proceedings 31(3):356-371. 1967.
18. BOWER, C. A., REITEMEIER, R. F. y FIREMAN, M. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science 73(4):251-261. 1952.
19. \_\_\_\_\_. Chemical amendments for improving sodium soils. US. Department of Agriculture. Information Bulletin no. 195. 1958. 9 p.
20. \_\_\_\_\_. Cation exchange equilibria in soils affected by sodium salts. Soil Science 88(1):32-35. 1959.
21. \_\_\_\_\_. Diagnosing soil salinity. US. Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin no. 279. 1963. 11 p.
22. BRAY, R. H. y KURTZ, L. T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59(1):39-45. 1945
23. BREMMER, J. M. Total nitrogen. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1171-1175.
24. CAMPBELL, R. B., BOWER, C. A. y RICHARDS, L. A. Change of electrical conductivity with temperature and the relation of osmotic pressure to electrical conductivity and ion concentration for soil extracts. Soil Science Society of America Proceedings 13(1):66-67. 1948.
25. CHANG, M. L. y THOMAS, G. W. A suggested mechanism for sulphate adsorption by soils. Soil Science Society of America Proceedings 27(3):281-283. 1963.
26. CHAO, T. T., HARWARD, M. E. y FANG, S. A. Adsorption and desorption phenomena of sulphate ions in soils. Soil Science Society of America Proceedings 26(2):234-237. 1962.

27. CHAPMAN, H. D. y PRATT, P. F. Methods of soil analysis for soils, plants and waters. California, University of California, Division of Agricultural Sciences, 1961. 309 p.
28. DAY, R. P. Particle fractionation and particle size analysis. In Black, C. A. et al., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1968. pp. 545-567.
29. DEAN, L. A. y RUGING, E. J. Anion exchange in soils. Soil Science 63(3):377-387. 1947.
30. EATON, F. M. Toxicity and accumulation of  $Cl^-$  and  $SO_4^{=}$  salts in plants. Journal of Agricultural Research 64(7):357-399. 1942.
31. EL-SWAIFY, S. A. y SWINDALE, L. D. Effects of saline water on the chemical properties of some tropical soils. Soil Science Society of America Proceedings 34(2):207-211. 1970.
32. FASSBENDER, H. W. Conferencias de química de suelos. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1969. 266 p.
33. FORSYTHE, W. M. El manejo de la succión total en suelos salinos y el rendimiento de las cosechas. In Simposio sobre Salinidad, La Molina, Perú. 1966. Lima, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Dirección Regional para la Zona Andina, Programa de Zonas Áridas, 1966. s.p.
34. \_\_\_\_\_. Progresos recientes en el análisis de las partículas de los suelos por medio del método del hidrómetro. Agronomía (Perú) 33(1):16-27. 1966.
35. \_\_\_\_\_. Manual de laboratorio de física de suelos. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1972. 217 p.
36. FUENTES F., R. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en algunos suelos ácidos de origen volcánico. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1971. 107 p. (Mimeografiada)
37. GALE, G., KOHL, H. C. y HAGAN, R. M. Changes in the water balance and photosynthesis of onion, bean and cotton plants under saline conditions. Physiologia Plantarum 20(2):408-420. 1967.
38. GAUGH, H. G. y WADLEIGH, C. H. Effects of high salt concentrations on growth of bean plants. Botanical Gazette 105(3):379-387. 1944.
39. \_\_\_\_\_ y WADLEIGH, C. H. Effect of high concentration of sodium calcium, chloride and sulphate on ionic absorption by bean plants. Soil Science 59(1):139-153. 1945.

40. GAVANDE, S. A. Water retention characteristics of some Costa Rican soils. *Turrialba* 18(1):34-38. 1968.
41. GEORGE, L. V. Accumulation of sodium and calcium by seedlings of some cereal crops under saline conditions. *Agronomy Journal* 59(4):297-299. 1967.
42. GINGRICH, J. R. y RUSSELL, M. B. A comparison of effects of soil moisture tension and osmotic stress on root growth. *Soil Science* 84(3):185-194. 1957.
43. HAYWARD, H. E., LONG, E. M. y UHVITS, R. Effect of chloride and sulphate salts on the growth and development of the Elberta peach on Shalil and Lovell Rootstocks. US. Department of Agriculture, Technical Bulletin no. 922. 1946. 47 p.
44. HUSZ, G. Relaciones entre algunas propiedades químicas de suelos salinos y alcalinos y su régimen de agua. In *Simposio sobre Salinidad, La Molina, Peru*. 1966. Lima, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Dirección Regional, Zona Andina, Programa de Zonas Áridas, 1966. s.p.
45. KELLEY, W. P. Alkali soils. Their formation properties and reclamation. New York, Reinhold, 1951. 176 p.
46. \_\_\_\_\_. Absorbed  $\text{Na}^+$ , cation exchange capacity and percentage  $\text{Na}^+$  saturation of alkali soils. *Soil Science* 84(6):473-478. 1957.
47. KIRKHAM, M. B., GARDNER, W. R. y GERLOFF, G. C. Leaf water potential of differentially salinized plants. *Plant Physiology* 44(10):1378-1382. 1969.
48. LAGERWERFF, J. F. y EAGLE, H. E. Osmotic and specific effects of excess salts on beans. *Plant Physiology* 36(4):472-477. 1961.
49. LUNIN, J. y GALLATIN, M. H. Effect of saline water on the growth and chemical composition of beans: I. Influence of soil dilution. *Soil Science Society of America Proceedings* 24(3):231-234. 1960.
50. \_\_\_\_\_, GALLATIN, H. M. y BATCHELDER, A. R. The effect of stage of growth at time of salinization on the growth and chemical composition of beans: I. Total salinization accomplished in one irrigation. *Soil Science* 91(3):194-202. 1961.
51. \_\_\_\_\_. Effects of stage of growth at time of salinization on the growth and chemical composition of beans: II. Salinization in one irrigation compared with gradual salinization. *Soil Science* 92(3):194-201. 1962.

52. MAGISTAD, O. C. y REITEMEIER, R. F. Soil solution concentration at the wilting point and their correlation with plant growth. *Soil Science* 55(1):351-360. 1943.
53. MARSHALL, T. J. Relations between water and soils. Harpendent, Commonwealth bureau of Soils. Technical Communication no. 50. 1963. 91 p.
54. MASSEY, D. M. y WINDSOR, G. W. Soil salinity studies. II. The relation of plant growth to salinity in soils and soil mixtures of different physical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 19(6):332-338. 1968.
55. MEIRI, A. y POLJAKOFF-MAYBER, A. Effect of variations in substrate salinity of the water balance and ionic composition of bean leaves. *Israel Journal of Botany* 18(3):99-112. 1969.
56. \_\_\_\_\_, MOR, E. y POLJAKOFF-MAYBER, A. Effect of time of exposure to salinity on growth, water status and salt accumulation in bean plants. *Annals of Botany* 34(135):383-391. 1970.
57. \_\_\_\_\_ y POLJAKOFF-MAYBER, A. Effect of various salinity regimes on growth and transpiration rate of bean plants. *Soil Science* 109(1):26-34. 1970.
58. MISRA, S. G. Effect of leaching soils with divalent cations. *Soil Science and Plant Nutrition (Japan)* 7:87-89. 1961. (Original no consultado, publicado en: Abel, L. F. y Gelderman, W. J. Annotated bibliography on reclamation and improvement of saline and alkaline soils. Wageningen, Netherlands. International Institute for Land Reclamation and Improvement. 1964.)
59. PEARSON, G. A. Absorption and translocation of sodium in beans and cotton. *Plant Physiology* 42(9):1171-1175. 1967.
60. \_\_\_\_\_. Tolerance of crops to exchangeable sodium. US. Department of Agriculture. Agriculture Information Bulletin no. 216. 1960. 4 p.
61. PLA SENTIS, I. Metodología de laboratorio recomendado para el diagnóstico de salinidad y alcalinidad en suelos, aguas, y plantas. Maracay, Universidad Central de Venezuela, Instituto de Edafología, 1969. 117 p.
62. PRISCO, J. T. y O'LEARY, J. W. Osmotic and "toxic" effects of salinity on germination of Phaseolus vulgaris L. seeds. *Turrialba* 20(2):177-184. 1970.
63. RANKOV, V. The salinization of the soil and the development of the nitrogen fixation microorganisms. *Agrochimica* 8(4):330-347. 1964.



64. RAVIKOVITCH, S. y PORATH, A. The effect of nutrients on the salt tolerance of crops. *Plant and Soil* 26(1):49-71. 1967.
65. RICHARDS, L. A. y CAMPBELL, R. B. Use of thermistors for measuring the freezing point of solutions and soils. *Soil Science* 65:429-436. 1948.
66. \_\_\_\_\_. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science* 68:95-112. 1949.
67. \_\_\_\_\_. Availability of water to crops on saline soils. US. Department of Agriculture. Agriculture Information Bulletin no. 210. 1959. 9 p.
68. \_\_\_\_\_ y OGATA, G. Psychrometric measurements of soil samples equilibrated on pressure membranes. *Soil Science Society of America Proceedings* 25(4):456-459. 1961.
69. \_\_\_\_\_. Physical condition of water in soil. In Black, C. A. et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 914-926.
70. \_\_\_\_\_., ed. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Trad. por Nicolás Sánchez D. et al. México, D.F., Centro Regional de Ayuda Técnica, 1970. 172 p.
71. RILEY, D. y BARBER, S. A. Salt accumulation on the soybean (*Glycine max* L.) root-soil interface. *Soil Science Society of America Proceedings* 34(11):154-155. 1970.
72. SAIZ DEL RIO, J. R. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos: métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 107 p.
73. SCHOFIELD, R. K. y TAYLOR, A. W. A method for the measurement of the calcium deficit in saline soils. *Journal of Soil Science* 12(2):169-275. 1961.
74. STANHILL, G. The effect of differences in soil moisture status on plant growth. *Soil Science* 84(3):205-214. 1957.
75. STEWARD, F. C. *Plant physiology*. New York, Academic Press, 1969. 435 p.
76. TAYLOR, H. M., ROBERSON, G. M. y PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to course textured soil materials. *Soil Science* 102(1):18-22.
77. TAYLOR, S. A. y GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. *Soil Science* 96(3):153-156. 1963.

78. THOMAS, J. R. y WIEGAND, C. L. Osmotic and matric suction effects on relative turgidity, temperatur and growth of cotton leaves. *Soil Science* 109(2):85-92. 1970.
79. TINKER, P. B. Studies on soil potassium. III. Cation activity ratio in acid nigerian soils. *Journal of Soil Science* 15(1): 24-33. 1964.
80. US. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Salt problems in irrigated soils. *Agriculture Information Bulletin* no. 190. 1958. 12 p.
81. VARGAS, O. V. Estudios preliminares de suelos. Proyecto del Río Tempisque. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Indus<sub>tr</sub>ias. *Boletín Técnico* no. 50. 1959. 48 p.
82. VILLAGARCIA H., S. Fertilización de los cultivos tolerantes a la salinidad. *In Simposio sobre Salinidad, La Molina, Perú, 1966.* Lima, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Dirección Regional, Zona Andina, Programa de Zonas Aridas, 1966. s.p.
83. WADLEIGH, C. H. The integrated soil moisture stress upon a root system in a large containef of saline soil. *Soil Science* 61(1):225-238. 1946.
84. \_\_\_\_\_ y AYERS, A. D. Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. *Plant Physiology* 20(1):106-132. 1945.
85. \_\_\_\_\_, GAUGH, H. C. y STRONG, D. G. Root penetration and moisture extraction in saline soil by crop plants. *Soil Science* 63(3):341-349. 1947.
86. WIEGAND, C. L., LYLES, L. y CARTER, D. L. Interspected salt-affected and unaffected dryland soils of the lower Rio Grande Valley: II Occurrence of salinity in relation to infiltration rates and profile characteristics. *Soil Science Society of America Proceedings* 30(1):106-110. 1966.
87. ZUR, B. Osmotic control of the soil water potential. II. Soil plant system. *Soil Science* 103(1):30-38. 1967.

9. APENDICES

Cuadro 1 A. Propiedades físicas y químicas del suelo de la serie Tempisque

PROPIEDADES FISICAS

Distribución de partículas: arena = 21,0 %  
                                  limo = 27,7 %  
                                  arcilla = 51,3 %

Clase textural (USDA): Franco arcilloso limoso

Densidad aparente (\*): 1,128 g/cc        desv. stand. = 0,075 g/cc  
Humedad gravimétrica (\*): 28,15 %        desv. stand. = 2,77 %  
Densidad de sólidos (\*): 2,509 g/cc        desv. stand. = 0,046 g/cc  
Porosidad total (\*): 55,03 %        desv. stand. = 2,65 %

(\* ) Valores promedio obtenidos de cinco muestras.

---

PROPIEDADES QUIMICAS

1:1 = 6,25  
pH (H<sub>2</sub>O): 2:1 = 6,30  
           5:1 = 6,40

Pasta saturada = 6,25

Conductividad eléctrica extracto de saturación: 0,6 mmho/cm 25 C

Materia orgánica = 3,43 %

Carbono orgánico = 1,99 %

Nitrógeno total = 0,211 %

C/N = 9,43

Fósforo total = 40 ppm

Capacidad de intercambio catiónico: 27,6 me/100 g

---

\* Valores promedio obtenidos de 5 muestras.-

Cuadro 1 A. Cont.

Ca<sup>++</sup> intercambiable = 8,38 me/100 g

Mg<sup>++</sup> = 2,51 "

Na<sup>+</sup> = 0,064 "

K<sup>+</sup> = 2,17 "

Bases totales = 13,124 "

Rata de absorción de sodio (RAS) = 0,056

% saturación Ca<sup>++</sup> = 30,36

% Mg<sup>++</sup> = 9,09

% Na<sup>+</sup> = 0,23

% K<sup>+</sup> = 7,86

% bases = 47,55

Cuadro 2 A. Análisis de variancia del Nº de vainas por planta

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc
TOTAL	67	58.87		
Tratamientos	16	48.62	3.04	15.20**
Testigo vs. tratados	1	3.88	3.88	19.40**
Entre tratamientos	15	44.74	2.98	14.90**
Efecto de sales	3	30.17	10.06	50.30**
Efecto de niveles	3	3.55	1.18	5.90**
Interac. niveles x sales	9	11.02	1.22	6.10**
ERROR	51	10.25	0.20	

Cuadro 3 A. Análisis de variancia del Nº de granos por planta

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc
TOTAL	67	718.28		
Tratamientos	16	638.53	39.91	25.58**
Testigo vs. tratados	1	42.09	42.09	26.98**
Entre tratamientos	15	596.44	39.76	25.49**
Efecto de sales	3	412.19	137.40	88.08**
Efecto de niveles	3	99.56	33.19	21.28**
Interac. niveles x sales	9	84.69	9.41	6.03**
ERROR	51	79.75	1.56	

Cuadro 4A. Comparaciones ortogonales entre sales

Trat. nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	(Civi) <sup>2</sup>		
TOTAL	15.6	12.65	12.35	15.50	16.70	3.6	3.6	10.05	15.0	4.30	5.65	19.25	16.85	3.30	0.55	14.20	13.50	Civi r Ci <sup>2</sup>		
Testigo																				
vs.																				
Tratados	+16	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	82.55	1.088	6.263

Na vs. Ca+Mg	0	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1.35	64	0.03
NaCl vs. Na2SO4	0	+1	0	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	-1	0	-35.15	32	28.61
CaCl2 vs. MgSO4	0	0	+1	0	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	-1	-39.9	32	49.75

Comparaciones ortogonales entre niveles

NIVEL	1.5	2.5	3.5	4.5	Civi	Ci <sup>2</sup>	(Civi) <sup>2</sup>	Ci	(Civi) <sup>2</sup>	S.C.
TOTALES	57.20	32.25	46.05	31.55						
Tendencia Lineal	-3	-1	+1	+3	-63.15	80x4	3.987.92	320		12.46
Tendencia Cuadrát.	+1	-1	-1	+1	+10.45	16x4	109.20	64		1.71
Tendencia Cúbica	-1	+3	-3	+1	-67.05	80x4	56.20	320		14.05

Cuadro 5 A. Estudio de la solución del suelo - Moles/ltx10<sup>-2</sup>

Tratamiento NO	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>
Testigo 1	2.0	4.03	5.98	4.6	2.74	0.978
NaCl 2	1.3	5.59	2.24	6.65	7.75	1.712
CaCl <sub>2</sub> 3	2.8	3.37	3.26	3.58	2.25	2.103
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4	0.59	6.33	26.09	7.67	16.25	2.201
MgSO <sub>4</sub> 5	2.1	7.48	3.26	3.32	8.00	0.440
NaCl 6	7.0	5.18	55.98	7.16	2.25	1.614
CaCl <sub>2</sub> 7	17.1	7.24	2.17	5.88	2.00	1.516
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 8	0.06	5.92	45.24	7.28	23.50	0.538
MgSO <sub>4</sub> 9	2.8	19.33	1.3	3.45	18.75	0.440
NaCl 10	2.8	4.52	59.26	7.67	2.38	2.787
CaCl <sub>2</sub> 11	20.5	7.32	2.61	5.11	2.13	1.956
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 12	0.038	5.43	23.26	6.26	19.50	1.956
MgSO <sub>4</sub> 13	2.3	38.04	1.52	3.32	36.50	0.489
NaCl 14	4.8	4.61	66.87	7.67	2.18	3.668
CaCl <sub>2</sub> 15	27.3	27.55	3.91	9.59	1.88	2.201
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 16	0.125	5.59	62.52	7.67	1.63	2.298
MgSO <sub>4</sub> 17	4.8	51.0	1.74	5.24	45.00	0.245
Original	1.9	2.55	2.72	3.71	2.13	1.223



Cuadro 6 A. Elementos Intercambiables - Resultados en mg/100 g

Tratamiento	Nº	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>
Testigo	1	8.78	2.57	0.587	2.23	0.313	0.0342
NaCl	2	6.83	2.48	1.261	2.17	0.287	0.078
CaCl <sub>2</sub>	3	8.28	2.28	0.512	2.02	0.362	0.069
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	7.34	3.21	2.027	2.20	0.263	0.064
MgSO <sub>4</sub>	5	6.79	8.96	0.557	1.89	0.392	0.059
NaCl	6	8.38	2.43	3.653	2.30	0.163	0.103
CaCl <sub>2</sub>	7	9.63	2.30	0.500	2.15	0.212	0.122
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8	7.29	2.26	3.871	2.10	0.737	0.025
MgSO <sub>4</sub>	9	7.83	8.84	0.261	2.79	1.562	0.029
NaCl	10	7.83	2.34	3.845	2.23	0.313	0.117
CaCl <sub>2</sub>	11	10.78	2.14	0.590	2.10	0.313	0.073
NaSO <sub>4</sub>	12	6.89	2.02	3.419	1.94	0.292	0.029
MgSO <sub>4</sub>	13	5.44	7.65	0.572	2.30	1.800	0.034
NaCl	14	7.78	2.34	4.202	2.20	0.335	0.122
CaCl <sub>2</sub>	15	10.13	2.17	0.174	1.87	0.362	0.137
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	16	6.14	1.95	4.089	1.74	1.475	0.025
MgSO <sub>4</sub>	17	4.54	8.63	0.131	1.79	2.887	0.034
Original		8.38	2.51	0.064	2.17	0.275	0.034

Cuadro 7 A. Resultados análisis foliar (ppm)

Tratamiento		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>
	Nº						
Testigo	1	30.600	5.880	500	27.400	2.565	13.850
NaCl	2	34.600	7.120	850	28.200	2.469	25.920
CaCl <sub>2</sub>	3	23.200	7.600	520	28.200	1.924	15.620
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	29.400	6.560	520	27.200	2.949	58.930
MgSO <sub>4</sub>	5	29.600	7.360	440	25.000	2.885	15.620
NaCl	6	23.400	7.440	2.660	28.000	2.949	27.690
CaCl <sub>2</sub>	7	21.000	7.280	840	19.800	3.110	52.190
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8	27.400	6.400	800	26.400	2.949	48.640
MgSO <sub>4</sub>	9	27.800	7.840	480	24.400	2.949	15.620
NaCl	10	34.200	6.720	5.000	25.000	3.014	27.620
CaCl <sub>2</sub>	11	23.600	6.900	1.140	24.000	2.693	39.760
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12	26.200	6.640	510	26.200	2.885	58.930
MgSO <sub>4</sub>	13	28.100	2.420	500	25.400	3.206	15.620
NaCl	14	22.300	8.320	8.640	25.400	3.527	19.170
CaCl <sub>2</sub>	15	27.000	8.080	1.100	23.800	3.687	52.190
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	16	30.100	6.800	840	27.200	3.366	33.020
MgSO <sub>4</sub>	17	29.200	2.760	360	26.200	3.366	15.620



Quadro 9 A. Cálculo de actividades iónicas en solución. C, I y a, se expresan en mol/ltx10<sup>-2</sup>

SUELO ORIGINAL

ION	C	I	f	a
Ca <sup>++</sup>	1.9	3.8	0.138	0.262
Mg <sup>++</sup>	2.9	5.8	0.138	0.400
Na <sup>+</sup>	2.72	1.36	0.61	1.659
K <sup>+</sup>	3.71	1.855	0.61	2.263
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.13	4.26	0.138	0.293
Cl <sup>-</sup>	1.223	0.621	0.61	0.746

Fuerza Iónica Tot.: 17.686x10<sup>-2</sup> mol/lit

TRAT. Nº 1 TESTIGO

ION	C	I	f	a
Ca <sup>++</sup>	2.0	4.0	0.005	0.01
Mg <sup>++</sup>	4.03	8.06	0.005	0.02
Na <sup>+</sup>	5.98	2.99	0.567	3.39
K <sup>+</sup>	4.6	2.3	0.567	2.61
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.74	5.48	0.005	0.014
Cl <sup>-</sup>	0.978	0.489	0.567	0.56

Fuerza Iónica Tot.: 23.319x10<sup>-2</sup> mol/lit

TRAT. Nº 2 NaCl 1.5

Ca <sup>++</sup>	1.3	2.6	0.043	0.056
Mg <sup>++</sup>	5.59	11.2	0.043	0.24
Na <sup>+</sup>	22.4	11.2	0.46	10.30
K <sup>+</sup>	6.65	3.33	0.46	3.06
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	7.74	15.5	0.043	0.33
Cl <sup>-</sup>	1.71	0.86	0.46	0.79

Fuerza Iónica Tot.: 44.741x10<sup>-2</sup> mol/lit

TRAT. Nº 3 CaCl<sub>2</sub> 1.5

Ca <sup>++</sup>	2.8	5.6	0.03	0.084
Mg <sup>++</sup>	3.37	6.74	0.03	0.101
Na <sup>+</sup>	3.26	1.63	0.58	1.894
K <sup>+</sup>	3.58	1.79	0.58	2.08
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.25	4.5	0.03	0.068
Cl <sup>-</sup>	2.103	1.05	0.58	1.222

Fuerza Iónica Tot.: 21.311x10<sup>-2</sup> mol/lit

## Cuadro 9 A. Cont.

TRAT. Nº 4 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.5

ION	C	I	f	a
Ca <sup>++</sup>	0.59	1.18	0.023	0.014
Mg <sup>++</sup>	6.33	12.66	0.023	0.146
Na <sup>+</sup>	26.09	15.05	0.39	10.175
K <sup>+</sup>	7.67	3.84	0.39	2.991
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	16.25	32.5	0.023	0.374
Cl <sup>-</sup>	2.20	1.10	0.39	0.858

Fuerza Iónica Tot.: 64.520x10<sup>-2</sup> mol/lit

TRAT. Nº 6 NaCl 2.5

Ca <sup>++</sup>	7.0	14.0	0.025	0.175
Mg <sup>++</sup>	5.18	10.36	0.025	0.130
Na <sup>+</sup>	55.98	27.99	0.396	22.169
K <sup>+</sup>	7.16	3.58	0.396	2.835
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.25	4.50	0.025	0.056
Cl <sup>-</sup>	1.61	0.81	0.396	0.639

Fuerza Iónica Tot.: 61.237x10<sup>-2</sup> mol/litTRAT. Nº 5 MgSO<sub>4</sub> 1.5

ION	C	I	f	a
Ca <sup>++</sup>	2.1	4.2	0.054	0.113
Mg <sup>++</sup>	7.48	14.96	0.054	0.404
Na <sup>+</sup>	3.26	1.63	0.48	1.565
K <sup>+</sup>	3.32	1.66	0.48	1.594
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	8.0	16.0	0.054	0.432
Cl <sup>-</sup>	0.44	0.22	0.48	0.211

Fuerza Iónica Tot.: 38.570x10<sup>-2</sup> mol/litTRAT. Nº 7 CaCl<sub>2</sub> 2.5

Ca <sup>++</sup>	17.1	34.2	0.028	0.479
Mg <sup>++</sup>	7.24	14.48	0.028	0.203
Na <sup>+</sup>	2.17	1.09	0.41	0.889
K <sup>+</sup>	5.88	2.94	0.41	2.411
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.04	4.0	0.028	0.050
Cl <sup>-</sup>	1.51	0.76	0.41	0.499

Fuerza Iónica Tot.: 57.463x10<sup>-2</sup> mol/lit

## Cuadro 9 A. Cont.

TRAT. Nº 8 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2.5

ION	C	I	f	a
Ca <sup>++</sup>	0.06	0.12	0.013	0.0008
Mg <sup>++</sup>	5.92	11.84	0.013	0.077
Na <sup>+</sup>	45.24	22.62	0.337	15.264
K <sup>+</sup>	7.28	3.64	0.337	2.452
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	23.5	47.0	0.013	0.305
Cl <sup>-</sup>	0.54	0.269	0.337	0.181

Fuerza Iónica Tot.: 85.489x10<sup>-2</sup> mol/litTRAT. Nº 9 MgSO<sub>4</sub> 2.5

ION	C	I	f	a
Ca <sup>++</sup>	2.8	5.6	0.013	0.0364
Mg <sup>++</sup>	19.33	38.66	0.013	0.251
Na <sup>+</sup>	1.30	0.65	0.34	0.442
K <sup>+</sup>	3.45	1.73	0.340	1.173
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	18.75	37.50	0.013	0.244
Cl <sup>-</sup>	0.44	0.22	0.34	0.150

Fuerza Iónica Tot.: 84.355x10<sup>-2</sup> mol/lit

TRAT. Nº 10 NaCl 3.5

Ca <sup>++</sup>	2.8	5.6	0.031	0.087
Mg <sup>++</sup>	4.52	9.04	0.031	0.140
Na <sup>+</sup>	59.26	29.63	0.42	24.89
K <sup>+</sup>	7.67	3.84	0.42	3.221
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.38	4.76	0.031	0.074
Cl <sup>-</sup>	2.78	1.39	0.42	1.170

Fuerza Iónica Tot.: 54.258x10<sup>-2</sup> mol/litTRAT. Nº 11 CaCl<sub>2</sub> 3.5

Ca <sup>++</sup>	20.5	41.0	0.023	0.471
Mg <sup>++</sup>	7.32	14.64	0.023	0.168
Na <sup>+</sup>	2.61	1.305	0.388	1.013
K <sup>+</sup>	5.11	2.555	0.388	1.982
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.13	4.26	0.023	0.049
Cl <sup>-</sup>	1.96	0.978	0.388	0.759

Fuerza Iónica Tot.: 64.738x10<sup>-2</sup> mol/lit

## Cuadro 9 A. Cont.

TRAT. Nº 12 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3.5

ION	C	I	f	a
Ca <sup>++</sup>	0.038	0.076	0.022	0.001
Mg <sup>++</sup>	5.43	10.86	0.022	0.119
Na <sup>+</sup>	23.26	11.63	0.386	8.978
K <sup>+</sup>	6.26	3.13	0.386	2.416
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	19.50	39.00	0.022	0.429
Cl <sup>-</sup>	1.956	0.978	0.386	0.755

Fuerza Iónica Tot.: 65.674x10<sup>-2</sup> mol/lit

TRAT. Nº 14 NaCl 4.5

Ca <sup>++</sup>	4.8	9.6	0.025	0.12
Mg <sup>++</sup>	4.61	9.22	0.025	0.12
Na <sup>+</sup>	66.87	33.44	0.396	26.48
K <sup>+</sup>	7.67	3.84	0.396	3.04
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.18	4.36	0.025	0.05
Cl <sup>-</sup>	3.67	1.83	0.396	1.43

Fuerza Iónica Tot.: 62.284x10<sup>-2</sup> mol/litTRAT. No. 13 MgSO<sub>4</sub> 3.5

ION	C	I	f	a
Ca <sup>++</sup>	2.3	4.6	0.003	0.007
Mg <sup>++</sup>	38.04	76.08	0.003	0.114
Na <sup>+</sup>	1.52	0.76	0.23	0.350
K <sup>+</sup>	3.32	1.66	0.23	0.764
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	36.5	73.0	0.003	0.110
Cl <sup>-</sup>	0.489	0.244	0.23	0.113

Fuerza Iónica Tot.: 156.34x10<sup>-2</sup> mol/litTRAT. Nº 15 CaCl<sub>2</sub> 4.5

Ca <sup>++</sup>	27.3	54.6	0.006	0.174
Mg <sup>++</sup>	27.55	55.1	0.006	0.165
Na <sup>+</sup>	3.91	1.96	0.274	1.071
K <sup>+</sup>	9.59	4.79	0.274	2.628
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.88	3.76	0.006	0.011
Cl <sup>-</sup>	2.20	1.10	0.274	0.603

Fuerza Iónica Tot.: 121.310x10<sup>-2</sup> mol/lit

TRAT. Nº 16  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  4.5

ION	C	I	f	a
$\text{Ca}^{++}$	0.125	0.250	0.030	0.004
$\text{Mg}^{++}$	5.59	11.18	0.030	0.168
$\text{Na}^+$	62.52	36.26	0.415	25.964
$\text{K}^+$	7.67	3.835	0.415	3.183
$\text{SO}_4^{=}$	1.63	3.26	0.030	0.049
$\text{Cl}^-$	2.298	1.149	0.415	0.954

Fuerza Iónica Tot.:  $55.934 \times 10^{-2}$  mol/lit

C = Concentración en mol/lit

I = Fuerza iónica =  $1/2 \text{ Ci} \cdot \text{Zi}$  en donde:

Zi es la valencia de los mismos iones.

f = Coeficiente de actividad que se calcula de acuerdo a la fórmula:  $-\log f_i = A \cdot Z^2 \cdot I$   
en donde: A es una constante (0.51 a  $25^\circ \text{C}$ )Z e I son la valencia y la fuerza de iones,  
como se indicó anteriormente.

a = Actividad iónica: es el resultado de multiplicar el coef. de actividad por la concentración.

a = f.C

TRAT. Nº 17  $\text{MgSO}_4$  4.5

ION	C	I	f	a
$\text{Ca}^{++}$	4.8	9.6	0.001	0.005
$\text{Mg}^{++}$	51.0	102.0	0.001	0.051
$\text{Na}^+$	1.74	0.87	0.185	0.321
$\text{K}^+$	5.24	2.62	0.185	0.969
$\text{SO}_4^{=}$	45.0	90.0	0.001	0.045
$\text{Cl}^-$	0.245	0.123	0.185	0.045

Fuerza Iónica Tot.:  $205.212 \times 10^{-2}$  mol/lit



Cuadro 10 A. CIC, pH, C.E. % Sat de Na y RAS del suelo después de la Cosecha

Tratamiento Nº	CIC	pH*	C.E.**	Sat. Na %	RAS
Testigo 1	27.55	6.7	0.36	2.13	0.050
NaCl 2	26.29	6.7	0.80	4.80	0.117
CaCl <sub>2</sub> 3	26.79	6.7	1.00	1.91	0.045
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4	26.54	6.65	0.90	7.64	0.184
MgSO <sub>4</sub> 5	26.92	6.65	1.05	2.07	0.055
NaCl 6	29.43	6.45	5.10	12.41	0.317
CaCl <sub>2</sub> 7	27.05	6.20	5.10	1.85	0.042
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 8	28.13	6.95	1.45	13.76	0.356
MgSO <sub>4</sub> 9	40.89	6.5	2.50	0.64	0.024
NaCl 10	26.54	6.4	4.90	14.49	0.344
CaCl <sub>2</sub> 11	26.42	6.2	5.10	2.23	0.048
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 12	27.17	7.0	0.62	12.58	0.327
MgSO <sub>4</sub> 13	26.47	6.4	2.90	2.14	0.062
NaCl 14	27.05	6.3	5.10	15.53	0.376
CaCl <sub>2</sub> 15	27.80	6.0	8.10	0.63	0.014
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 16	27.30	6.85	2.95	14.98	0.408
MgSO <sub>4</sub> 17	26.79	6.20	4.40	0.49	0.015
Original	29.06	6.45	0.60	0.22	0.056

\* En pasta saturada

\*\* En extracto de saturación

Cuadro 11 A. Valores estimados de humedad volumétrica y ecuaciones de regresión de curvas de desorción de agua.

PRE-COSECHA		POST-COSECHA*									
Succión	No	Disturbado	Testigo	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>
Disturbado	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	4.5	4.5	3.5	4.5
0.01	57.32	65.21	67.09	53.83	63.57	54.34	62.51	69.97	55.93	63.48	61.78
0.05	45.96	46.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.1	41.79	40.75	42.77	34.67	35.81	33.53	35.11	42.39	37.34	37.81	39.36
0.2	38.00	35.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.3	-	32.56	34.50	28.10	27.24	26.63	26.67	33.37	30.79	29.52	31.74
0.5	33.51	20.34	31.22	25.49	23.98	23.93	23.47	29.86	28.15	26.32	28.72
1.0	30.47	25.47	27.27	22.33	20.17	10.69	19.72	25.68	24.93	22.52	25.08
2.0	27.70	22.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.0	24.43	18.33	19.91	16.41	15.51	14.76	13.18	18.09	18.79	15.68	18.30
10.0	22.21	15.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.0	21.01	14.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\hat{y}$	-0.137	-0.204	-0.195	-0.191	-0.249	-0.209	-0.250	-0.217	-0.175	-0.225	-0.195
	30.4X	25.4X	27.2X	22.3X	20.1X	20.6X	19.7X	25.6X	24.9X	22.5X	25.0X

\* Tratamientos seleccionados de acuerdo con la menor y mayor producción en cada sal.-

Cuadro 12 A. Coeficientes de regresión, confiabilidad, variancia y desviación standard de funciones logarítmicas en curvas de desorción de agua, para tratamientos seleccionados

Tratamiento	$b_0$	$b_1$	$R^2$	$s^2$	$S$
Original no disturbado	30.47	-0.1373	0.78	170.09	13.041
Original disturbado	25.46	-0.2042	0.77	217.82	14.759
Testigo	27.56	-1.1955	0.89	326.13	18.059
NaCl 1.5	22.32	-1.1911	0.90	158.22	12.579
NaCl 4.5	25.67	-0.2177	0.96	309.66	17.596
CaCl <sub>2</sub> 1.5	20.18	-0.2492	0.88	379.49	19.479
CaCl <sub>2</sub> 4.5	24.95	-0.1785	0.88	172.88	13.148
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1.5	20.69	-0.2097	0.87	221.68	14.890
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3.5	22.50	-0.2250	0.92	245.79	15.676
MgSO <sub>4</sub> 1.5	19.72	-0.2504	0.79	180.28	13.427
MgSO <sub>4</sub> 4.5	25.07	-0.1958	0.96	241.69	15.547

Cuadro 13A. Penetrabilidad en bares a 0 cms. - Resultados

Tratamien. Repetic.	Conductividad 2.5												Conductividad 3.5				Conductividad 4.5			
	Conductividad 1.5				Conductividad 2.5				Conductividad 3.5				Conductividad 4.5							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
I	1.7	7.38	13.05	9.08	20.43	14.19	10.78	20.43	18.73	7.95	3.97	26.11	18.73	5.68	9.08	30.08	17.59			
II	5.68	17.59	9.65	12.49	17.03	11.92	11.92	24.97	14.76	14.19	9.65	24.40	19.30	15.89	5.68	40.29	13.62			
III	2.27	21.57	11.35	14.76	17.59	15.89	6.81	20.43	13.05	12.49	7.38	21.00	21.00	15.89	9.08	29.51	11.35			
IV	10.78	5.11	7.95	21.57	15.89	6.81	10.78	10.22	12.49	9.08	8.31	31.78	21.57	10.22	7.95	37.46	9.08			
Total	20.43	51.65	42.00	57.90	70.94	48.81	40.29	76.05	59.03	43.71	29.51	103.29	80.60	47.68	31.79	137.34	51.64			
Hg %	2.47	3.79	3.67	3.83	1.97	3.95	6.68	4.00	4.80	4.20	5.62	3.39	3.81	8.52	4.55	3.63	4.15			

Cuadro 14A. Penetrabilidad en bares a 7.5 cms. - Resultados

Tratamien. Repetic.	Conductividad 2.5												Conductividad 3.5				Conductividad 4.5			
	Conductividad 1.5				Conductividad 2.5				Conductividad 3.5				Conductividad 4.5							
	I	II	III	IV	Total	Hg %	I	II	III	IV	Total	Hg %	I	II	III	IV	Total	Hg %		
I	5.25	8.25	3.5	5.5	7.75	5.25	7.5	8.25	12.0	5.5	6.75	9.75	10.5	4.0	3.25	4.5	7.25			
II	7.75	3.50	3.75	5.0	8.0	6.5	10.0	13.5	7.25	2.0	5.5	11.0	5.5	0.0	4.25	6.25	6.75			
III	2.25	4.50	3.25	9.75	4.75	4.25	5.25	5.5	6.75	2.0	5.25	8.0	7.5	2.0	3.25	3.0	4.5			
IV	4.50	2.25	4.25	5.75	6.25	9.75	6.5	8.25	7.75	3.5	9.0	13.5	5.0	1.75	3.5	4.5	8.0			
Total	19.75	18.50	15.0	26.0	26.75	25.75	29.25	35.5	33.75	13.0	26.5	42.25	28.5	7.75	14.25	18.25	26.50			
Hg %	11.11	19.9	19.3	19.82	16.66	17.36	19.81	18.25	19.28	21.41	19.95	17.02	20.50	24.34	17.69	18.75	17.63			

SAL	Conductividad				TOTAL
	I	II	III	IV	
NaCl	18.50	25.75	13.00	7.75	65.00
CaCl <sub>2</sub>	15.00	29.25	26.50	14.25	85.00
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26.00	35.50	42.25	18.25	122.00
HgSO <sub>4</sub>	26.75	33.75	28.50	26.25	115.50
Testigo	-	-	-	-	19.75
TOTAL	86.25	124.25	110.25	66.75	407.25

SAL	Conductividad				TOTAL
	I	II	III	IV	
NaCl	51.65	48.81	43.71	47.68	191.85
CaCl <sub>2</sub>	42.00	40.29	29.51	31.79	143.59
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	57.90	76.05	103.29	137.34	374.58
HgSO <sub>4</sub>	70.94	59.03	80.60	51.64	262.21
Testigo	-	-	-	-	20.43
TOTAL	222.49	224.18	257.11	268.45	992.66

Cuadro 15 A. Análisis de variancia de los valores de penetrabilidad a 0 cm

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc
TOTAL	67	4.194.998		
Tratamientos	16	3.326.06	207.88	12.20**
Testigo vs. tratados	1	382.80	382.80	22.47**
Entre tratamientos	15	2.943.26	196.22	11.52**
Efectos de sales	3	1.886.31	628.77	36.90**
Efecto de niveles	3	101.35	33.78	1.98**
Interac. niveles x sales	9	955.60	106.18	6.23**
ERROR	51	868.938	17.038	

Cuadro 16 A. Análisis de variancia de los valores de penetrabilidad a 7,5 cm

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc
TOTAL	67	529.55		
Tratamientos	16	319.45	19.97	4.85**
Testigo vs. tratados	1	4.70	4.70	1.14
Entre tratamientos	15	314.75	20.98	5.09**
Efecto de sales	3	133.45	44.48	10,80**
Efecto de niveles	3	121.79	40.60	9.85**
Interac. niveles x sales	9	59.50	6.61	1.60
ERROR	51	210.11	4.12	