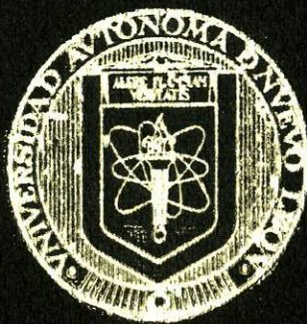


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



DESARROLLO Y EVALUACION DE UN METODO DE  
CAMPO PARA MEDIR LA CANTIDAD DE SALES  
SOLUBLES DE LOS SUELOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA  
PRESENTA

FELIPE TORRES ROSSANO

MARIN, N. L.

SEPTIEMBRE DE 1991

T

S593

T6

c.1



1080063749

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



DESARROLLO Y EVALUACION DE UN METODO DE  
CAMPO PARA MEDIR LA CANTIDAD DE SALES  
SOLUBLES DE LOS SUELOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA  
PRESENTA

FELIPE TORRES ROSSANO

MARIN, N. L.

SEPTIEMBRE DE 1991

10771

T  
S593  
T6

040  
FAG  
1991  
C.5



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad  
F. Tesis



BU Raúl Rangel Fies  
UANL  
FONDO  
TESIS LICENCIATURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

INGENIERIA AGRICOLA

T E S I S

DESARROLLO Y EVALUACION DE UN METODO DE CAMPO PARA  
MEDIR LA CANTIDAD DE SALES SOLUBLES DE LOS SUELOS

elaborada por:

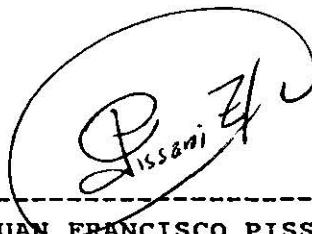
FELIPE TORRES ROSSANO

Aceptada y aprobada como requisito parcial

para obtener el título de:

INGENIERO AGRICOLA

Comisión revisora de la Tesis



-----  
Dr. JUAN FRANCISCO PISSANI ZUÑIGA

Asesor Principal



-----  
Ph.D. EMILIO OLIVARES SAENZ

Asesor Estadístico



-----  
ING. BENJAMIN IBARRA RUIZ

Asesor Auxiliar

MARIN, N.L.

SEPTIEMBRE DE 1991

## DEDICATORIAS

A Dios todopoderoso por haberme permitido llegar a la  
culminación de mi carrera.

**A MIS PADRES:**

**FELIPE TORRES ALFARO**

**GUILLERMINA ROSSANO DE TORRES**

Quienes son un ejemplo constante de superación y que con amor y sacrificio me han dado lo más importante de mi vida:  
Mis estudios profesionales.

**A MIS HERMANOS:**

**MA. GUILLERMINA Y JESUS**

**FRANCISCO Y ESPERANZA**

**MA. TERESITA**

**MA. GUADALUPE**

**MA. REYNA**

**JAVIER ALEJANDRO**

Por ser como son y darme siempre su ayuda moral y económica cuando la he necesitado.

**A MIS SOBRINAS:**

**CINTHYA GUILLERMINA**

**MA. CRISTINA**

Quienes con sus sonrisas me han dado ánimos para seguir adelante.

**A TODOS MIS TIOS Y PRIMOS**



## AGRADECIMIENTOS

AL Dr. JUAN FRANCISCO PISSANI ZUÑIGA

Por su gran ayuda en el transcurso de toda la investigación.

AL Ph.D. EMILIO OLIVARES SAENZ

Por su ayuda en el análisis estadístico y por sus acertadas intervenciones en la revisión de este escrito.

AL ING. BENJAMIN IBARRA RUIZ

Por sus acertadas correcciones en la revisión de este escrito.

A LA LIC. MA. DE LA LUZ GONZALEZ

Por su ayuda desinteresada en el análisis estadístico.

A TODOS LOS MAESTROS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA, EN ESPECIAL  
A:

ING. JESUS RAUL RODRIGUEZ RODRIGUEZ

ING. ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA

ING. EDUARDO FRAGA BERNAL

Porque además de maestros han sabido ser amigos.

AL SR. JUAN FRANCISCO GARNICA

Por su ayuda prestada en las figuras de este escrito.

A LOS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

J. F. Albalate, J. R. Roviroza y M. A. González.

Por su ayuda en el trabajo de campo de esta investigación.

A MIS AMIGOS:

J. S. Flores, B. T. Loera, M. M. Rodríguez, J. S. Ojeda, R.M. de la Garza de la Garza, R. M. Jiménez, L. C. Prianti, MaE. H. Molina, C. M. Quirino, Ing. A. L. Maldonado, M. P. Cervantes, J. E. Zuñiga, G. M. Sánchez, --- M. T. Bocanegra, G. S. Olivares, E. V. G. Castorena, G. Acosta, J. A. -- Torres, M. J. Márquez, F. Pimentel, R. Vásquez, A. Herberth, H. C. Martínez, M. A. Brambilla, A. Lamoglia, A. Valenzuela(+), R. M. Moncada, R.G.- Hernández, Parras, J. A. Guajardo.

Por los buenos y malos momentos que pasamos juntos y que con su apoyo y - amistad sincera me ayudaron a cumplir esta meta.

MUCHAS GRACIAS.

## INDICE

	Pag.
I.- INTRODUCCION .....	1
II.- OBJETIVOS .....	3
III.- LITERATURA REVISADA .....	4
3.1 Definición de la Salinidad .....	4
3.1.1 Origen de la Salinidad .....	4
3.2 Definición de Conductividad Eléctrica .....	5
3.2.1 Unidades de Medición de la Conductividad Eléctrica .....	5
3.3 Efectos de las Sales en las Plantas .....	6
3.3.1 Efectos Osmóticos .....	6
3.3.2 Efectos del Ión Específico .....	7
3.4 Efectos de la Sales en el Suelo .....	9
3.5 Medición de la Salinidad .....	10
3.5.1 Métodos de Laboratorio .....	11
3.5.1.1 Método de la Pasta Saturada del Suelo .....	11
3.5.1.2 Extracto de Saturación .....	13
3.5.1.3 Extracto de Saturación Doble Para Suelos de Textura Gruesa .....	14
3.5.1.4 Extracto Suelo:Agua 1:1 .....	15
3.5.1.5 Extracto Suelo:Agua 1:2 .....	16
3.5.1.6 Extracto Suelo:Agua 1:5 .....	17
3.5.1.7 Extracto del Suelo Dentro de los Límites de Capacidad de Campo .....	18
3.5.2 Métodos de Campo .....	19
3.5.2.1 Recolección <u>in situ</u> de Muestras de Agua del Suelo Usando Extractores .....	19

3.5.2.2 Medición de la Conductividad Eléctrica	
Agua del Suelo <u>in situ</u> .....	20
3.5.2.3 Medición de la Conductividad Eléctrica	
de la Masa del Suelo con la Técnica de	
los Cuatro ElectrodoS .....	23
3.5.2.4 Método Electromagnético .....	29
<b>IV.- MATERIALES y METODOS .....</b>	<b>33</b>
4.1 Materiales .....	33
4.2 Metodología .....	34
4.2.1 Zona de Muestreo .....	34
4.2.2 Obtención de las Muestras .....	34
4.2.3 Preparación de las muestras .....	34
4.2.4 Análisis de las Muestras .....	35
4.2.5 Medición de la Conductividad Eléctrica .....	35
4.2.6 Método Estadístico .....	35
<b>V.- RESULTADOS y DISCUSION .....</b>	<b>37</b>
<b>VI.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>VII.- RECOMENDACIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>VIII.-RESUMEN .....</b>	<b>47</b>
<b>IX.- BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>49</b>
<b>X.- APENDICE I .....</b>	<b>51</b>
<b>XI.- APENDICE II .....</b>	<b>55</b>

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1.</b> Conductividad Eléctrica obtenida en campo y laboratorio en el lote de trigo .....	52
<b>Tabla 2.</b> Conductividad Eléctrica obtenida en campo y laboratorio en el lote de sorgo .....	53
<b>Tabla 3.</b> Textura de varias muestras tomadas de los lotes de trigo y sorgo .....	54
<b>Figura 1.</b> Sensor de salinidad para medir la C.E. <u>in situ</u> .....	22
<b>Figura 2.</b> Variaciones de la C.E. del agua del suelo <u>in situ</u> medidas con un sensor de salinidad .....	23
<b>Figura 3.</b> Calibración hecha entre la C.E. de la masa del suelo (C.E.a) y la C.E. aparente del suelo (C.E.e) .....	26
<b>Figura 4.</b> Arreglo típico de cuatro electrodos para medir la C.E. de la masa de suelo .....	27
<b>Figura 5.</b> Versión comercial de la sonda para medir la salinidad del suelo .....	29
<b>Figura 6.</b> Sonda tipo de salinidad, esta puede ser enterrada en el suelo .....	30

	Pag.
<b>Figura 7.</b> Prototipo utilizado para mediciones de C.E. en el suelo por métodos electromagnéticos .....	32
<b>Figura 8.</b> Principio básico de operación en la medición de la C.E. del suelo por el método electromagnético .....	32
<b>Figura 9.</b> Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del extracto de saturación .....	56
<b>Figura 10.</b> Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del ex---- tracto Suelo:Agua 1:5 .....	57
<b>Figura 11.</b> Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del ex---- tracto de saturación de las muestras húmedas .....	58
<b>Figura 12.</b> Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del ex---- tracto Suelo:Agua 1:5 de las muestras húmedas .....	59
<b>Figura 13.</b> Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del ex---- tracto de saturación de las muestras secas .....	60

<b>Figura 14.</b> Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5 de las muestras secas .....	61
<b>Figura 15.</b> Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5 y la C.E. del extracto de saturación .....	62
<b>Figura 16.</b> Ecuación de regresión encontrada por Ojeda y Caballero (1974) para suelos agrícolas de Matamoros, Tamps. entre la C.E. del extracto de saturación y la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5 .....	63

## I.- INTRODUCCION.

El problema de ensalitramiento de los terrenos agrícolas y el estudio de las medidas para combatirlo han sido de mucho interés, tanto por el incremento de los procesos de salinización como por las pérdidas sufridas por las economías de los diferentes países afectados (Llerena, 1977).

Epstein (1980), citado por Läuchli (1986), dió una aproximación de la extensión de suelos salinos que varió de casi  $400 \times 10^6$  Has. a  $950 \times 10^6$  Has. y estimó que  $230 \times 10^6$  Has. de la extensión mundial son suelos irrigados y de esta cantidad una tercera parte son afectados por sales.

La importancia de los suelos salinos estriba en las limitaciones que ocasionan en la producción agrícola, afectando el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas cultivadas. La mayoría de los suelos afectados por exceso de sales están localizados en las zonas áridas y semiáridas del mundo, en donde la precipitación no es suficiente para lixiviar los excesos de sales que llegan al suelo propiciando su acumulación, y puede agravarse en aquellos suelos manejados bajo riego. En México existen aproximadamente 5 millones de hectáreas bajo riego de las cuales el 10% tienen diferentes grados de salinización. De las 500,000 Has. afectadas por cantidades excesivas de sales solubles, el 50% están localizadas en la región Noroeste, 15% en la región Noreste, 16% en el Norte, 18% en el centro y el 1% en el Sureste (Cabrera, 1989).

Dado que los problemas de salinidad afectan una gran área de suelos y estos se presentan en mayores proporciones en las áreas bajo riego, se ha visto la necesidad de desarrollar un método sencillo y rápido que nos-



ayude en un momento dado a detectar los problemas de ensalitramiento, para así dar inicio a la rehabilitación, o en su defecto, poder recomendar prácticas de manejo de suelo, agua y plantas que hagan económicamente redituables dichos cultivos al nivel de salinidad encontrado.

## II.- OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

- 1.- Desarrollar y calibrar un método de campo para medir la concentración de sales solubles que sea más rápido que el utilizado en el laboratorio.
- 2.- Obtener un modelo matemático que relacione los resultados obtenidos en el campo con los de laboratorio.

### III.- LITERATURA REVISADA.

#### 3.1 Definición de Salinidad.

La salinidad en el suelo puede ser definida como la acumulación de sales solubles que pueden ser nocivas para las plantas (Bernstein, 1974).

##### 3.1.1 Origen de la Salinidad.

La fuente original y en cierto modo la más directa de la cual provienen las sales, son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre. Las sales solubles del suelo consisten principalmente en varias proporciones de los cationes sodio, calcio, magnesio, potasio, y de los aniones cloruro, sulfato, carbonatos y bicarbonatos.

Aunque la intemperización de los minerales primarios es la fuente indirecta de casi todas las sales solubles, los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas que reciben sales de otras localidades, siendo el agua el principal factor de acarreo.

El océano puede ser la fuente de sales en aquellos suelos en los que el material original está constituido por depósitos marinos que se asentaron durante los períodos geológicos antiguos y que han emergido o bien por el transporte de las sales por la brisa a tierra adentro de los suelos que se encuentran a lo largo de sus costas.

No obstante, las fuentes de sales más usuales son las aguas superficiales y las subterráneas ya que las contienen disueltas y su concentración depende del contenido salino del suelo y de los materiales geológicos.

gicos que han estado en contacto con estas aguas (Richards, 1985).

### 3.2 Definición de Conductividad Eléctrica.

Una solución conduce la electricidad tanto mejor cuanto mayor sea su concentración en sales. Esta propiedad se aprovecha para medir la salinidad en términos de Conductividad Eléctrica. Veamos el fundamento de esta medida. Teniendo un conductor eléctrico de longitud (l) y sección (s), la resistencia eléctrica de este conductor es:

$$R = \rho (l/s) \dots\dots\dots(1)$$

donde el factor  $\rho$  se llama resistividad eléctrica y depende de la naturaleza del conductor y no de su forma y dimensiones. Cuanto mayor sea el  $\rho$  de un cierto material, peor serán sus propiedades conductoras de electricidad. A la inversa de  $\rho$  se la llama Conductividad Eléctrica, y se expresa por C.E.

$$C.E. = (1/\rho) = (1/R)(l/s) \dots\dots\dots(2)$$

Cuanto mayor sea la C.E. de un material, mejor conductor será este, y en el caso de soluciones salinas, mayor será la concentración de la sal (Pizarro, 1978).

#### 3.2.1 Unidades de Medición de la Conductividad Eléctrica.

Hay muchas maneras de expresar la salinidad de una solución. Una de ellas consiste en expresar la cantidad de sales disueltas en un volumen de solución, ya sea en gramos por litro (gr/l) ó en miliequivalentes por litros (meq/l). Sin embargo una forma simple y suficiente a muchos efectos es expresar la salinidad en términos de su C.E. Su unidad de medición es el mho/cm., pero por ser esta unidad muy grande en la práctica, se utilizan los divisores milimhos por centímetro (mmhos/cm que es la milésima parte de un mho/cm) y los micromhos por centímetro ( mhos/cm que -

es la millonésima parte de un mho/cm).

Otra manera de expresar la salinidad es por medio del Sistema Internacional (implementado en el año de 1975) en el cual la unidad de medición es el Siemens (1S = mho, por lo que 1dS/m = 1mmho/cm) (Bhon, McNeal y O'Connor; 1985).

Cabe mencionar que al reportar la salinidad ya sea en mmhos/cm o en dS/m, esta debe estar referida a 25 °C.

### 3.3 Efectos de la Sales en las Plantas.

La presencia de cantidades excesivas de sales solubles en el suelo produce una solución de potencial osmótico bajo, situación que puede perjudicar el desarrollo de las plantas debido a varias razones fisiológicas. Por ejemplo, toda planta en esos suelos debe mantener en sus tejidos un potencial osmótico todavía menor, de otra manera, no podría absorber agua de la solución del suelo; o es posible que al absorber las raíces un exceso de iones de sal, estos afecten adversamente el metabolismo de la planta, es decir, que los iones específicos presentes en ese suelo interfieran con la reacción de una enzima esencial (Bowen y Kratky, 1986).

Los efectos de las sales en las plantas son muy variados y complejos por lo que en este trabajo solo se hablará de una forma muy general de los más importantes, siendo estos los siguientes:

#### 3.3.1 Efectos Osmóticos.

La fuerza que permite al agua atravesar la membrana semipermeable de

las células vegetales contra un gradiente de concentración salina es la presión osmótica o el denominado fenómeno de la osmósis. El paso del agua de soluciones más diluídas hacia las más concentradas se produce hasta que la presión en ambos lados queda estabilizada. De esta manera la presión osmótica se puede definir como la atracción que ejerce una solución sobre otra de menor concentración, cuando están separadas por una membrana semipermeable. Es evidente que la presión osmótica dentro de las células de las raíces debe ser mayor que la de la solución del suelo para que tenga lugar esta atracción. Sin embargo, en suelos salinos tal condición no se cumple debido a que la presión osmótica de la solución del suelo es mayor que la de las células vegetales. Como consecuencia, la planta pierde agua, y el citoplasma de las células se contrae separándose de la pared celular. A su vez, esta pierde rigidez tornándose fláccida. Como resultado el crecimiento cesa, la planta se marchita y sucede pronto la muerte (De la Serna, 1987).

Läuchli (1986), menciona que muchos cultivos se comportan según las sales "excluídas" ó eliminadas, y esto se refiere usualmente a cuando el sodio y/ó el cloro son eliminados del tallo y esto es causado por la baja capacidad del transporte neto de estos iones de la raíz por el tallo.

Su ventaja es el evitar niveles tóxicos en el tallo de sales no dañinas, pero, sin embargo, la eliminación o exclusión de la sal puede producir un cambio en el déficit de agua en el tallo a menos que la planta muestre un ajuste osmótico al bajo potencial de agua en el suelo.

### 3.3.2 Efectos del Ión Específico y su Toxicidad.

La influencia en el crecimiento vegetal, de concentraciones excesivas de sales específicas, es un fenómeno extremadamente complejo que involucra muchos principios fundamentales de la nutrición de las plantas.

Los daños a las plantas, o la disminución de su crecimiento, que no puedan relacionarse al efecto de la solución osmótica de la solución, se considerarán como debidos a un efecto tóxico de la sal en estudio. Debe reconocerse, que la toxicidad no necesariamente involucra un efecto directo de las sales ó iones, ya sea sobre las membranas superficiales de las raíces ó bien en los tejidos de las plantas. Aunque no siempre es posible distinguir claramente el mecanismo fundamental de los efectos de los iones específicos, es conveniente referirse a tales fenómenos como "toxicidades", y estas pueden ser causadas, en parte, a través de efectos sobre la absorción o el metabolismo de nutrientes esenciales (Richards, 1985).

Wyn Jones (1981) y Flowers y Läuchli (1983), citados por Läuchli (1986) observaron que cuando las especies de cultivos sensibles a la salinidad son expuestas a la misma, estas frecuentemente carecen de un control adecuado para las sales absorbidas y sufren de la toxicidad de la sal, porque estas no tienen la capacidad de la separación celular de la sal en la partición del sodio y cloro fuera del citoplasma sensible a la sal, en los organelos, y en la separación de estos iones en las vacuolas.

Mantener la división iónica en las células y tejidos, sin embargo, es requerido para un metabolismo normal y sostenimiento de las funciones de la planta. Las sales eliminadas ó excluidas, cuando experimentan un alto nivel de salinidad, responden destruyendo los mecanismos de eliminación del ión, seguido de la toxicidad del ión, las plantas sufren de la toxicidad del ión y presentan una severa reducción en su crecimiento y muchas no sobreviven a un problema de salinidad severa.

Läuchli (1986), menciona que los efectos del ión específico pueden ocurrir en las membranas celulares, induciendo el deterioro del transpor-

te del ión e interfiere con la nutrición mineral de la planta.

Lynch y Läuchli (1984), citados por Läuchli (1986); mencionan que el ión sodio puede interferir con el transporte del potasio y con la nutrición del potasio. En cebada, por ejemplo, la salinidad del medio inhibió la absorción del potasio por la raíz y su circulación por el xilema.

Epstein (1972), Greenway y Munns (1980), Läuchli y Epstein (1984) y Cramer (1985); citados por Läuchli (1986), mencionan que el calcio es un elemento nutriente muy importante porque forma parte de la integridad de la membrana y su funcionamiento, y una alta proporción Na/Ca en los tejidos de la planta son una causa de la toxicidad del ión, y se postula que el desplazamiento del ión calcio producido por el ión sodio en el plasma de las células de la raíz puede ser una respuesta primaria al problema de la sal.

### 3.4 Efecto de las Sales en el Suelo.

El efecto principal de la salinidad sobre los suelos consisten en su acción sobre la estructura. Esta propiedad depende de la floculación de los coloides y de la cementación de los mismos formando agregados. Por esta razón, los efectos son tanto mas pronunciados cuanto mayor es el contenido de coloides, es decir, cuanto mas arcilloso es el suelo.

Las fuerzas de atracción entre las partículas arcillosas dependen -- mucho de la naturaleza de los cationes adsorbidos. Los cationes divalentes y trivalentes, que son atraídos mas fuertemente que los monovalentes, dan a lugar a agregados mayores y, en consecuencia, a una mejor estructura. En los suelos normales, el calcio es con mucho el catión mas abundante en el complejo de cambio y los suelos mantienen su estructura (Pi--



zarro, 1978).

McGeorge y Breazale (1938), citados por Richards (1985), hablan del daño que causa el sodio a la planta a través de modificaciones estructurales adversas en el suelo. Por lo tanto, si el complejo de cambio del suelo contiene cantidades apreciables de sodio, el suelo puede dispersarse, causando aereación deficiente y baja disponibilidad de agua.

### 3.5 Medición de la Salinidad.

La salinidad de un suelo no es un valor estático. El valor registrado hoy no puede usarse el próximo año ni en cinco años. La distribución de la salinidad del suelo varía muy ampliamente, tanto vertical como horizontalmente, y cambia con frecuencia. Por lo tanto, el número de mediciones necesarias para determinar la salinidad y la frecuencia de estas mediciones varía muy ampliamente.

Los métodos actualmente disponibles para medir la salinidad de los suelos caen dentro de dos grandes categorías: procedimientos de laboratorio y métodos de campo. Desde un principio hay que decidir si es suficiente la información sobre la concentración de sales sin importar las iones específicos o si se necesita saber las concentraciones de iones específicos en el suelo.

Las mediciones en el laboratorio obviamente requieren retirar muestras de los campos y procesarlas en el laboratorio. Esto significa que el suelo se altera en grado desconocido en comparación a su estado natural. Así, las propiedades físicas y químicas del suelo de las muestras difieren de las del mismo suelo en condiciones naturales. No obstante --

esa es la manera usual de evaluar la salinidad del suelo, recordando ---- siempre que la información recabada representa valores de salinidad obtenida en condiciones estandar de laboratorio, y que en esas condiciones -- son diferentes a las de campo (Bowen y Kratky, 1986).

### 3.5.1 Métodos de Laboratorio.

#### 3.5.1.1 Método de la Pasta Saturada de Suelo.

Mediante un puente salino puede establecerse una estimación semi---- cuantitativa del contenido de sales de un suelo por la resistencia eléc-- trica de la pasta del suelo. Este método da una buena aproximación semi- cuantitativa, excepto para los suelos que tengan un bajo contenido en sa- les pero alto en sodio canjeable. Los suelos que poseen un tanto por---- ciento de humedad de saturación dan conductividades que son de 0.5 a 4.8- veces la conductividad de las correspondientes disoluciones obtenidas por extracción.

##### 3.5.1.1.1 Materiales.

- 1 termómetro.
- 1 puente salino para C.A. con una celda de resistencia de caucho endu-- recido para suelos (patrón preparado por el Bureau of soils).
- Un medidor patrón de resistencias y una celda preparada para medir la - resistencia del suelo (la escala de resistencia varía de 10 a 10,000 -- ohms).
- Agua destilada.
- Muestras de suelo cuidadosamente escogidas y representativas.

##### 3.5.1.1.2 Procedimiento.

- Se tamiza la muestra de suelo a través de una malla de 6mm. y se mezcla muy bien con un hule.
- La celda de medición de caucho se llena aproximadamente hasta la mitad- con agua destilada (o algo menos, si el suelo esta húmedo, y algo más -

- si esta seco y es de estructura muy fina).
- Se añade el suelo con agitación hasta que la pasta se encuentre suficientemente húmeda para que brille su superficie, pero suficientemente espesa para que no quede libre sobre la misma.
  - Se dan pequeños golpes a la celda para eliminar burbujas de aire, se oprime la parte superior del suelo de manera que la celda quede llena hasta el borde, y se coloca entre los resortes del puente salino.
  - Se cierra el interruptor de cuchilla del puente salino y a continuación se gira el botón de la resistencia variable hasta que marcando un teléfono en el oído y se oprime el botón.
  - Si se oye un zumbido, se gira el botón correspondiente a la escala de resistencias a un lado y a otro hasta que la intensidad del zumbido sea mínima.
  - Si no se encontró dicha posición, se hace girar de nuevo el botón sobre la resistencia variable hasta que marque 100, repitiéndose la misma operación anterior.
  - Una vez encontrado el mínimo, se multiplica la medida que indique la escala de lectura por el factor que corresponda a la posición de la escala de resistencia (10, 100 o 1000, según sea el caso).
  - Después se mide la temperatura de la pasta del suelo y se hace una corrección para reducir la lectura a 15.8 °C, que es la temperatura convencional para las comparaciones de medidas de las pastas de suelo, ya que de cada °C que se desvía de 15.8 °C representa una variación de resistencia de 2.49 %.
  - Las correcciones de resistencia se hacen con la siguiente ecuación:

$$R_{15.6^{\circ}\text{C}} = RT (T - 15.6) (0.0249) + RT$$

donde RT se refiere a la resistencia observada a la temperatura en °C.

- Finalmente, los valores de la resistencia de la pasta de suelo corregidos a 15.6 °C se interpretan en función del contenido de sales como un-

tanto por ciento del peso del suelo según la textura del suelo en estudio (Jackson, 1976; Richards, 1985).

### 3.5.1.2 Extracto de Saturación.

#### 3.5.1.2.1 Materiales.

- Recipientes de 250 ml. de capacidad o mayor, para la pasta saturada del suelo.
- Embudos Buchner.
- Soporte para filtros o frascos.
- Bomba de vacío.
- Matraz Erlenmeyer para extracción o tubos de ensaye.
- Puente de Wheatstone de lectura directa.
- Espátula.
- Vidrio de reloj.

#### 3.5.1.2.2 Procedimiento.

- Se pesan 250 gr. de suelo.
- Se prepara la pasta saturada agregando agua destilada a la muestra de suelo y agitando con una espátula.
- De vez en cuando la muestra debe consolidarse golpeando el recipiente con cuidado sobre la mesa de trabajo. Al saturarse la pasta, brilla -- por reflexión de la luz.
- Después de mezclarse se debe dejar reposando la pasta durante 1 hora y comprobar el criterio de saturación. En este lapso la pasta no debe acumular agua en la superficie, perder su brillo o endurecerse durante el reposo. Si sucede esto debe agregársele más agua.
- Después se deja reposando la pasta (tapando los botes con un vidrio de reloj) de 4 a 16 hrs.
- La pasta saturada se coloca en uno de los embudos con papel filtro y se aplica vacío.

- El extracto se recibe en un tubo de ensayo o en un matraz Erlenmeyer -- para extracción. Si se va a determinar boro, no debe usarse vidrio Pyrex.
- Si el filtrado inicial es turbio, se puede descartar o pasar nuevamente al suelo.
- La extracción al vacío termina cuando empieza a pasar el aire por el -- filtro (el suelo esta agrietado).
- Después se lee la temperatura del extracto, se enjuaga y se llena la -- celda de conductividad.
- Se ajusta la temperatura. Se cierra el interruptor de contacto para la celda brevemente mientras se equilibra el indicador principal del puente. Se lee la C.E. y se anota en mmhos/cm o en dS/m a 25 °C.
- Si no se obtiene el equilibrio en el puente, la C.E. puede estar abajo- de 0.15 mmhos/cm o ser superior a la lectura máxima del aparato. Si es superior, la C.E. se estima agregando 9 partes de agua destilada a 1 -- parte de extracto, equilibrando el puente con la solución diluída en la celda. La C.E. del extracto original sera aproximadamente 10 veces la- del extracto diluído (Richards, 1985).

### 3.5.1.3 Extracto de Saturación Doble Para Suelos con Textura-

#### Gruesa.

#### 3.5.1.3.1 Materiales.

- Envases para suelo de 10 a 12 cm de diámetro, con otro recipiente de -- tela de alambre galvanizado con perforación de 6 mm. que se ajuste al - interior del envase.
- Pipeta de 2 ml.
- Todo el material descrito en el punto 3.5.1.2.1

#### 3.5.1.3.2 Procedimiento.

- El recipiente de tela de alambre se coloca en bote y se agrega una capa

de suelo de 2 a 3 cm.

- Se pone a nivel el suelo y con pipeta se agrega agua por gotas y por deslizamiento en las paredes del recipiente. Se tapa y deja en reposo por 15 min.
- Se tamiza suavemente el suelo seco y se pesan los agregados húmedos que permanezcan.
- Se calcula el porcentaje de humedad de estos agregados húmedos que permanezcan en la siguiente forma:

$$PH = (2 \times 100) / [\text{Peso Húm. (gr)} - 2]$$

- Se pesan 250 gr. de suelo secado al aire y se agrega suficiente agua para llegar cuatro veces el valor calculado de los agregados.
- Se filtra al vacío para obtener el extracto y se toma la lectura de la C.E.
- Para la evaluación de la salinidad en suelos de textura gruesa, se determina la C.E. del extracto a 25 °C. Este valor de C.E. se duplica antes de usar la escala estandar de salinidad (Richards, 1985).

#### 3.5.1.4 Extracto de Suelo:Agua 1:1.

##### 3.5.1.4.1 Materiales.

- Embudos Buchner y de filtración.
- Papel filtro.
- Agitador mecánico.
- Botellas o frascos para suspensiones de suelo.

##### 3.5.1.4.2 Procedimiento.

- Se añade una muestra de suelo de 50 a 1500 gr. de peso en forma de suelo seco, o la cantidad equivalente de suelo húmedo a un peso igual de agua exenta de CO<sub>2</sub> (incluyendo en esta cantidad total el agua que contenga la muestra) en un frasco de tamaño adecuado.
- Se tapa el frasco y se agita durante un período de 2 hrs., preferente-

mente en un agitador rotatorio.

- Se filtra la suspensión en un embudo Buchner con un papel filtro de porosidad media.
- Si la primera porción del líquido filtrado sale turbio se le puede descartar o se hace pasar por el filtro otra vez.
- El filtro se mantiene tapado con un vidrio para retardar la evaporación
- Se mide la C.E. que es automáticamente la concentración en el suelo --- calculada para una muestra desecada en la estufa con un puente de ----- Wheatstone (Jackson, 1976).

Richards (1985), nos dice lo siguiente:

- Colocar una muestra adecuada de suelo en un frasco o botella.
- Se agrega la cantidad necesaria de agua destilada.
- Se tapa y se mezcla en un agitador mecánico por 15 min.
- Se mezcla y se deja en reposo durante una hora y se agita con la mano, - haciendo esto durante 30 seg. cuando menos 4 veces a intervalos de 30 - min. antes de filtrar.
- Se mide la C.E. con un puente de Wheatstone.

### 3.5.1.5 Extracto de Suelo:Agua 1:2.

#### 3.5.1.5.1 Materiales.

- Matraz cónico (Erlenmeyer) de 500 ml.
- Embudo.
- Papel filtro.
- Agitador mecánico.

#### 3.5.1.5.2 Procedimiento.

- Se introducen 100 gr. de suelo seco o su equivalente de suelo con la -- humedad del campo en 200ml. de agua destilada contenida en un matraz -- cónico de 500 ml.
- Se tapa este y se agita por un período de 2 hrs. o durante una noche.

- Se filtra la solución y se mide la C.E., la cual es multiplicada por -- dos y esta es la C.E. calculada sobre la base de una muestra desecada - en la estufa (Jackson, 1976).

### 3.5.1.6 Extracto Suelo:Agua 1:5.

#### 3.5.1.6.1 Materiales.

- Frasco de 1 lto.
- Filtro Pasteur - Chamberland.
- Agitador mecánico.
- Embudos.
- Papel filtro.

#### 3.5.1.6.2 Procedimiento.

- Se pesa una cantidad de suelo con la humedad propia del campo, o seco - al aire, tal que sea equivalente a 140 gr. de suelo desecado en la es-- tufa y se transfiere a un frasco de 1 lto.
- Se añaden 700 ml. de agua exenta de CO<sub>2</sub> (menos la cantidad de agua con-- tenida en la muestra de suelo que se calcula).
- Se tapa el frasco y se deja en el agitador durante 2 hrs.
- Se deja sedimentar la suspensión durante media hora, pasada la cual se-- filtra la solución que sobre nada. Se puede emplear un filtro Pasteur-- Chamberland.
- El líquido que queda sobredrenando en el matraz en que se ha realizado-- la extracción se decanta haciéndolo pasar al filtro Pasteur - Chamber-- land, efectuando la filtración de 30 a 45 kg/cm<sup>2</sup>.
- Se descartan los primeros 30-50 ml. del filtrado y se recogen 250 ml. 6 más para el análisis.
- Se mide la C.E. y la concentración de sales solubles en el extracto --- multiplicada por 5, es la concentración en el suelo calculada a base de una muestra de suelo secada en la estufa.



Para la relación 1:5 se da el procedimiento dado por --- Richards (1985), ya descrito en el punto 3.5.1.4.2.

### 3.5.1.7 Extracto del Suelo Dentro de los Límites de Capacidad de Campo.

#### 3.5.1.7.1 Materiales.

- Membrana de presión.
- Cilindros de 5-10 cm. de alto.
- Tanque de nitrógeno comercial seco.
- Botes con tapas herméticas al agua.
- Celofán transparente Nº 600.

#### 3.5.1.7.2 Procedimiento.

- Las hojas de celofán se colocan en agua destilada, cambiando el agua -- diariamente, para reducir el contenido de electrolitos.
- Las membranas deberán guardarse húmedas para que no se vuelvan quebra-- dizas y se deben secar parcialmente antes de que se monten en el apar-- to para la membrana de presión.
- El suelo debe traerse del campo con la humedad deseada para la extra--- cción y colocarse inmediatamente en la membrana de presión.
- Si el suelo se ha secado al aire, se puede pasar por una malla de 6 mm. y humedecerse lo necesario por aspersión de agua destilada mezclando -- suelo y agua en una caja o tela impermeable.
- El suelo humedecido se guarda en botes herméticos al aire y en un cuar-- to con temperatura constante durante 2 semanas, mezclándolo muy ocasio-- nalmente.
- Se coloca la membrana usando papel celofán y empacando firmemente el -- suelo en la cámara de extracción a  $225 \text{ lbs/pulg}^2$  (15 atm) de nitrogéno-- gaseoso.
- El extracto se obtiene en fracciones de volúmen semejante, eliminando -

la primera fracción para evitar contaminaciones provenientes de la membrana.

- Se efectúa la medición de la C.E. de las siguientes fracciones para establecer el grado de uniformidad del extracto, pudiéndose tardar el proceso de extracción de 1 a 4 días.

### 3.5.2 Métodos de Campo.

#### 3.5.2.1 Recolección in situ de Muestras de Agua del Suelo Usando Extractores.

Las muestras de agua del suelo pueden ser colectadas con extractores de vacío y analizarse para sales solubles. El método de succión propuesto primero por Briggs y McCall (1904), es usado para la extracción del agua del suelo cuando la succión del agua del suelo es menor de 1 bar.

Mientras Krone et al., (1935); y Kruggel et al, (1935) han usado diferentes dispositivos de tubos porosos el mas comunmente utilizado es la cápsula de cerámica porosa usada por Krugel et al, (1935); Brooks et al. (1958) y Wagner (1962). Chow (1977), diseñó un muestreador de vacío el cual se descarga automaticamente cuando el volúmen de muestra deseado es colectado. Recientemente Jackson et al (1976); Levin y Jackson (1977); han extraído el agua del suelo usando fibras huecas de acetato de celulosa, el cual es delgado, semipermeable y flexible. Algunas ventajas que presenta son la flexibilidad, diámetro pequeño, mínima interacción química de los solutos con el tubo matriz y resultados comparables con los de las muestras obtenidas de las cápsulas cerámicas de extracción (Rhoades, 1978).

Sin embargo, Hansen y Harris, (1975); y Alberts et al., (1977); citados por Rhoades (1978), han demostrado que pueden ocurrir errores con el uso de la cápsula cerámica extractora. Algunos factores relacionados-

con estos son: La sorción, lixiviación, difusión y paso de las sales a --  
 través de la cápsula porosa. Wolff (1967), citado por Rhoades (1978), --  
 menciona que para reducir la variabilidad de las muestras, estas deben --  
 ser agrupadas por el rango de acceso a la cápsula, usar profundidades de --  
 muestreo uniformes, y usar el mismo vacío de extracción para todas las --  
 muestras. Además hay que lavar la cápsula con ácido diluido después de --  
 usarse, así se tendrá en ella una cantidad igual de solutos en la solu--  
 ción.

Como la composición y la concentración del agua del suelo no es ho--  
 mogénea a través de esta masa, el agua drenada de poros grandes con su--  
 cciones bajas (como se colectó por los extractores de vacío) pueden hacer  
 composiciones muy diferentes de aquellos extraídos por microporos. El --  
 punto de inicio de la succión, tal como la cápsula porosa, muestras en --  
 esfera drenado por diferentes tamaños de poros dependiendo de la distan--  
 cia del punto, del total de succión aplicada, la conductividad hidráulica  
 del medio y el contenido de agua en el suelo. Otro interés es el proble--  
 ma de la adsorción de iones de la cápsula por si misma. No obstante los--  
 extractores de vacío son versátiles, de fácil uso y provee muestras in --  
situ del agua del suelo, ello no sin limitaciones.

### 3.5.2.2 Medición de la C.E. del Agua del Suelo con Sensores de Salinidad-- in situ.

Para varios propósitos, la concentración de sales solubles en el a--  
 gua del suelo es información suficiente y los análisis de solutos especí--  
 ficos no son necesarios. En otros casos, ninguna muestra de suelo, ni --  
 agua son requeridos y dispositivos capaces de medir la concentración de --  
 sales solubles in situ, o un parámetro relacionado, del agua del suelo --  
 pueden ser usados ventajosamente (Rhoades, 1978).

Kemper (1958), citado por Rhoades (1978), desarrolló el primer sensor de salinidad in situ. Este consistió en electrodos metidos en cerámica porosa que medía la C.E. de la solución en la cerámica. Cuando son colocados en el suelo estos dispositivos empiezan el equilibrio difusional con el agua del suelo. Ello no es apropiado para mediciones de salinidad con cambios en corto tiempo, porque su respuesta con respecto al tiempo es relativamente larga, la cual puede ser de varios días.

Richards (1966), citado por Rhoades (1978) mejoró el diseño del sensor de salinidad del suelo para acortar este tiempo de respuesta y para eliminar líneas de corriente eléctrica externa. En esta unidad (mostrada en la figura 1), el elemento sensor de la salinidad es un plato de cerámica de 1mm de espesor con electrodos de platino protegidos colocados en el lugar en lados opuestos. Esto nos da una línea de difusión insuficiente y por lo tanto una baja respuesta en el tiempo. Después de que el sensor de salinidad es puesto en el suelo un resorte es liberado para asegurar un buen contacto con el suelo. Un termistor es colocado en el sensor para que la C.E. pueda ser referida a una temperatura estandar.

Wesseling y Oster (1973), citados por Rhoades (1978), han evaluado la respuesta del sensor a través del tiempo en situaciones de campo. En el rango del potencial mátrico de -0.5 a -1.5 bar, los sensores responden en un 90% a la medida de cambio en salinidad de 2 a 5 días. En potenciales mátricos bajos, la respuesta en el tiempo debe ser probablemente en más tiempo.

Enfield y Davis (1969), citados por Rhoades (1978), mencionan que los sensores de salinidad hechos de vidrio poroso, los cuales han sido

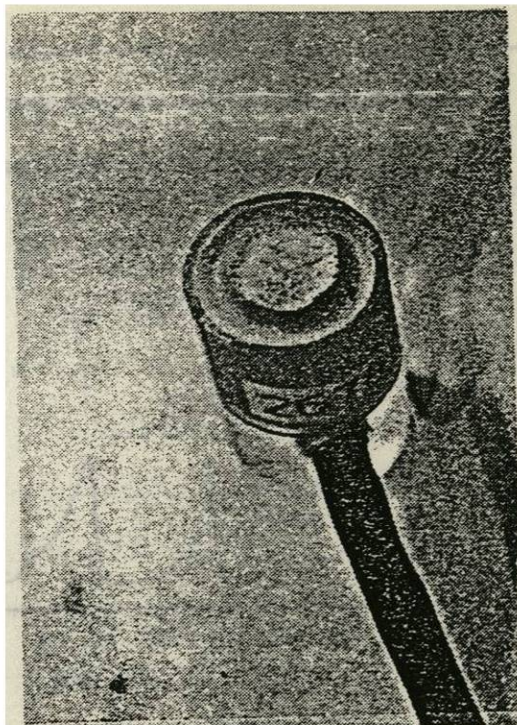


Figura 1. Sensor de salinidad para medir la C.E. in situ.

desarrollados permaneciendo saturados con el agua del suelo a un potencial métrico de 20 bar, pero son muy frágiles. La alteraci3n del suelo durante la instalaci3n puede causar errores asociados con la modificaci3n de la infiltraci3n del agua sobre el sensor. Deben ser tomadas precauciones especiales durante la instalaci3n para proteger a este.

Austin y Oster (1973), citados por Rhoades (1978), desarrollaron un sistema de circuito oscilador para que el sensor de salinidad mida automáticamente y corte los datos. Esto permite leer líneas que son obtenidas con regletas de hasta varias medidas.

Mientras no haya limitaciones, los sensores de salinidad pueden ser usados ventajosamente para monitorear continuamente la C.E. del agua del suelo de acuerdo a las profundidades de suelo seleccionadas sobre perio--

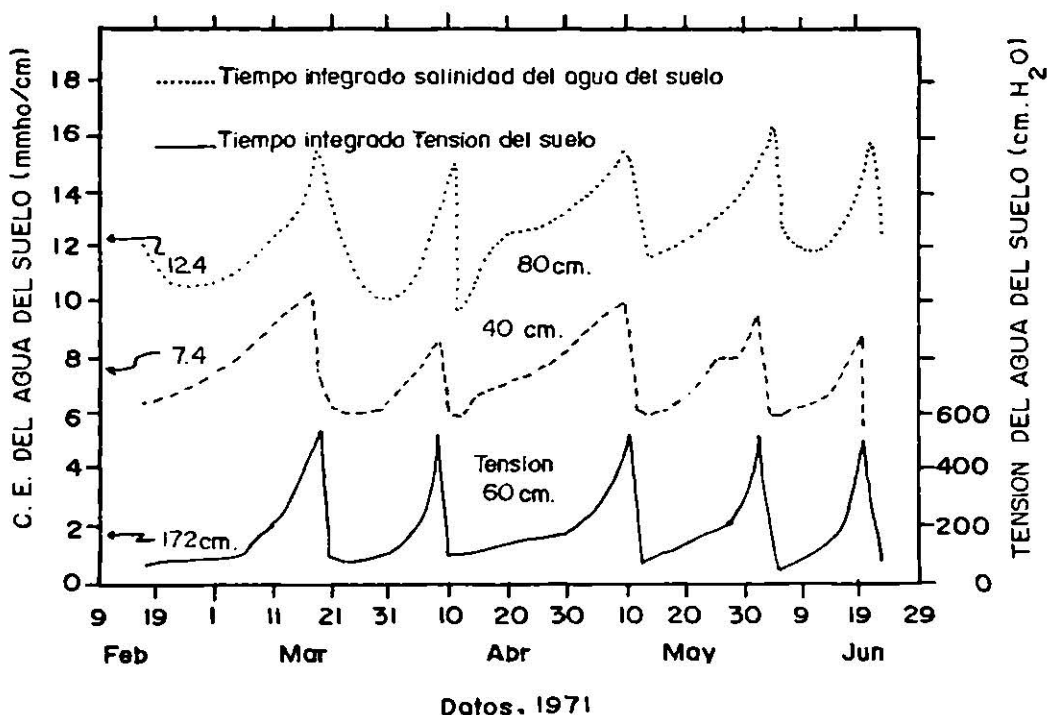


Figura 2. Variaciones de la C.E. del agua del suelo in situ medidas con un sensor de salinidad.

dos de tiempo relativamente largos, como se ilustra en la figura 2. Ello es simple, de fácil lectura y de suficiente exactitud para monitorear la salinidad. Con los sensores de salinidad, es obtenida una medida actual-in situ de la C.E. del agua del suelo (C.E.sw), en vez de un extracto, -- como es obtenida de una colección de muestras de suelo (Rhoades, 1978).

### 3.5.2.3 Medición de la Conductividad Eléctrica de la Masa de Suelo con la Técnica de los Cuatro Electrodo.

Rhoades y Ingvalson, (1971); Rhoades y Van Schilfgaarde, (1976); --- Halvorson et al., (1977); citados por Rhoades, (1978) mencionan que la -- salinidad del suelo y la C.E. del agua del suelo puede ser determinada de mediciones de la C.E. de la masa del suelo usando el equipo de la técnica de los 4 electrodos. Con este método, la resistencia al flujo de la co--

riente entre un par de electrodos es medido mientras el flujo de corriente eléctrica es causado a través del suelo entre otro par de electrodos. Con una constante apropiada variando con la configuración de los electrodos, la C.E. del suelo puede ser determinada de la medición de la resistencia. La C.E. del suelo puede ser referida a la salinidad del suelo y a la C.E del agua del suelo como se describira después. Como la mayoría de los minerales del suelo son aislantes, la conducción de la electricidad en suelos salinos es primariamente a través del agua en los poros, la cual contiene electrolitos (sales). La contribución de los cationes intercambiables para la conducción eléctrica es relativamente pequeña en suelos salinos porque estos cationes son los menos abundantes y móviles de las sales solubles. La C.E. también es afectada por el número tamaño, y continuidad de los poros del suelo, también como por el contenido de agua y sales.

Rhoades et al., (1976); citado por Rhoades (1978), presentó que la dependencia de la C.E. aparente del suelo (C.E.e) con respecto a la C.E. del agua del suelo (C.E.w), el contenido volumétrico de agua ( $\theta$ ), la geometría del poro del suelo (T) y la conductancia superficial (C.E.s) es explicado por:

$$C.E.a = (C.E.w \theta) [T] + C.E.s \dots\dots\dots(3)$$

donde (T) es un coeficiente de "transmisión" determinado empíricamente dependiente de ( $\theta$ ) como

$$T = a \theta + b \dots\dots\dots(4)$$

y ambas constantes "a" y "b" son determinados por regresión lineal. Ambos (T) y (C.E.s) son propiedades de la fase sólida del suelo, mientras que C.E.w y  $\theta$  son propiedades de la fase líquida del suelo. T y C.E.s, son referidos al tipo de suelo, por lo que, para un tipo de suelo dado,

$$C.E.a = A_1 (C.E.w \theta) + B \dots\dots\dots(5)$$

donde  $A_1 = T$ , y  $B = C.E.s$ . Si las mediciones de la C.E.a son hechas con referencia (que es , la calibración) al contenido de agua,

$$C.E.a = A_2 C.E.w + B \dots\dots\dots(6)$$

Para algunos suelos dados, la C.E. de un extracto de saturación ---- (C.E.e) es referido a la C.E.w, por lo que también puede ser escrito como

$$C.E.a = A_3 C.E.e + B \dots\dots\dots(7)$$

donde  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  son constantes de calibración.

Rhoades y Ingvalson (1971); Rhoades (1976); Rhoades et al (1977); -- Rhoades y Van Schilfgaarde (1976); Halvorson y Rhoades (1974); Halvorson et al (1977); citados por Rhoades (1978) mencionan que esta salinidad del suelo puede ser diagnosticada haciendo mediciones con respecto al contenido de agua del suelo usando un ajuste en la forma de la ecuación (7) -- para un tipo de suelo dado. Para este propósito, Rhoades y Ingvalson --- (1971), citados por Rhoades (1978), recomendaron hacer las mediciones de la C.E.a cuando el contenido del agua del suelo este a capacidad de campo. El contenido de agua a capacidad de campo es suficientemente reproducible para establecer las calibraciones necesarias. En tierras irrigadas, el agua del suelo llega a capacidad de campo brevemente después de un riego. Bajo condiciones de tierras áridas, Halvorson y Rhoades (1974) citados por Rhoades (1978), recomendaron hacer las mediciones de la C.E.a al principio de la primavera preferiblemente en tierras barbechadas para tomar ventaja de las condiciones relativamente uniformes del agua del --- suelo cuando el suelo esta también cerca de la capacidad de campo. Las calibraciones entre C.E.e y la C.E.a han sido determinadas en esta manera y usadas para diagnosticar la salinidad del suelo. Para ilustrar esta -- calibración, esta puede ser vista en la figura 3.

La C.E. del agua del suelo (C.E.w) puede ser determinada de las me--



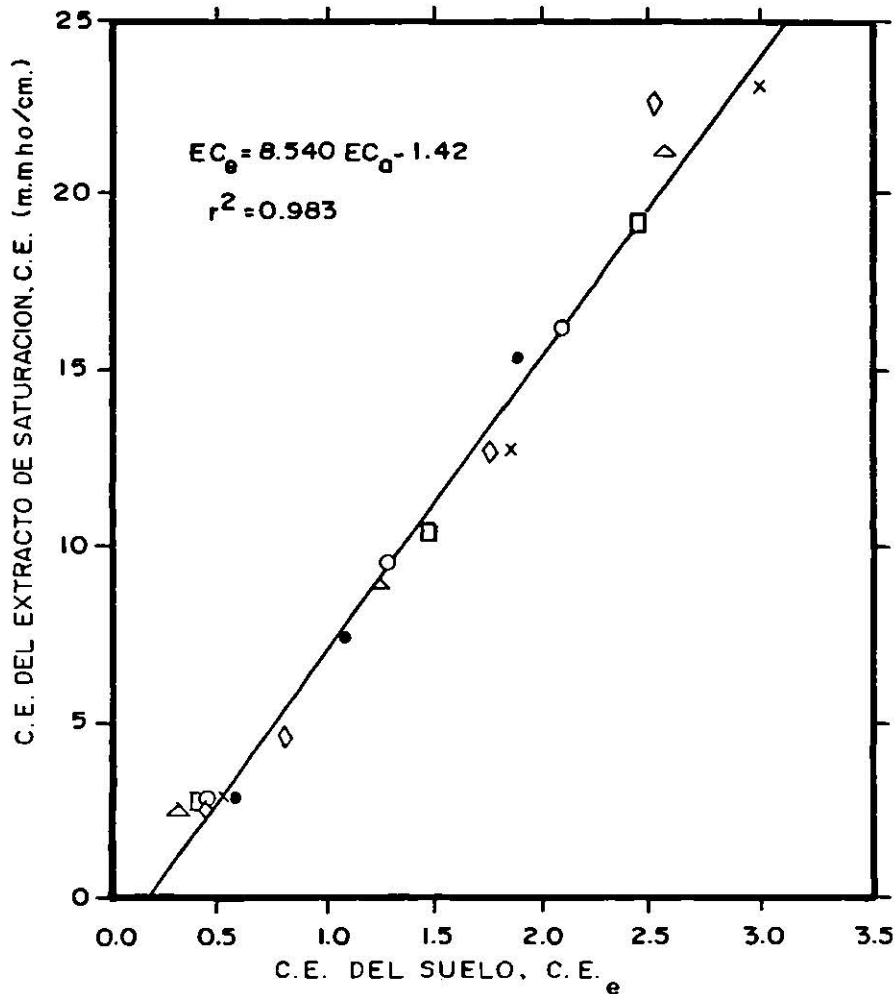
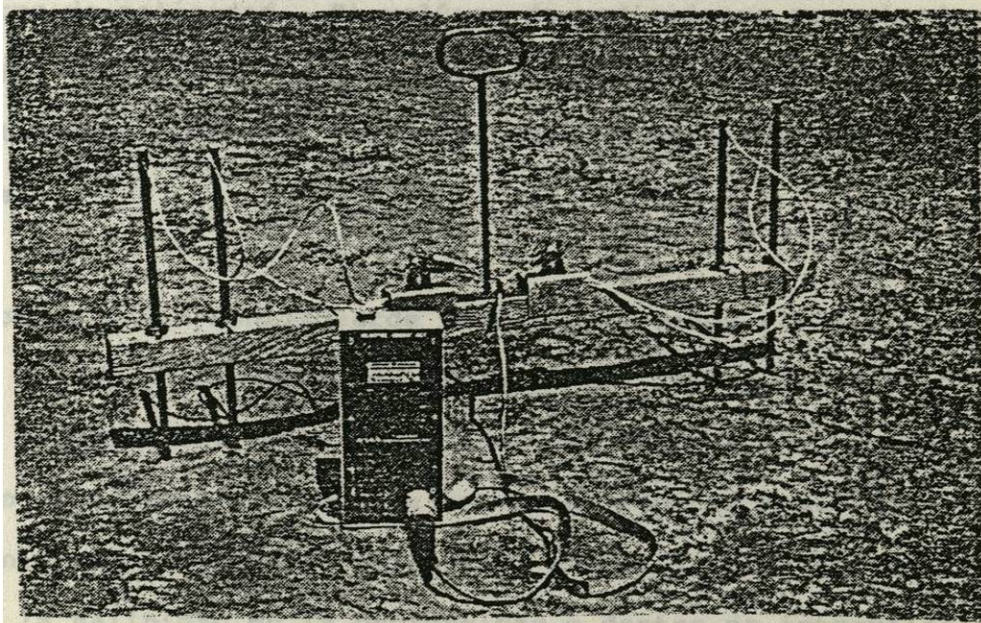


Figura 3. Calibración hecha entre la C.E. de la masa del suelo (C.E.a) y la C.E. aparente de la superficie del suelo (C.E.e).

diciones de C.E.a y usando la ecuación (3), una vez que los factores de calibración (A, B) para el suelo de interés son determinados.

Rhoades e Ingvalson (1971), Halvorson y Rhoades (1974); citados por Rhoades (1978), proponen para determinar la salinidad del suelo en la zona radicular (esto para mediciones de gran escala o de volúmenes grandes) que es deseable hacer la medición de la resistencia cuando el flujo de la corriente es concentrado dentro de esta profundidad en el suelo. Esto -- puede llevarse a cabo seleccionando el espaciamiento apropiado entre los -- electrodos de corriente (externos) colocados en la superficie del --- suelo. Un arreglo típico de los electrodos es mostrado en la figura 4.



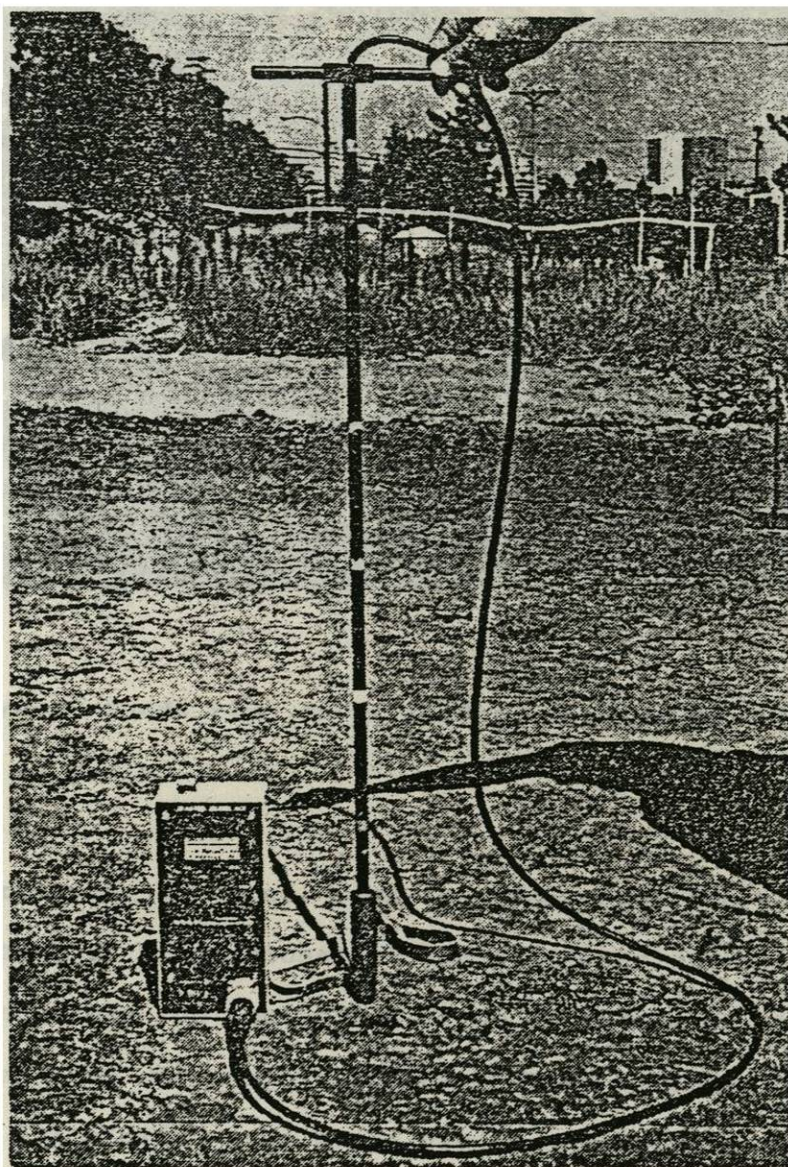
**Figura 4. Arreglo típico de cuatro electrodos para medir la C.E. de la masa de suelo.**

En este arreglo, 4 electrodos son colocados en una línea recta con el par interno colocados a una distancia interna del par externo igual a un 10% en el espaciamiento entre el par externo. El par interno es usado para medir el potencial mientras una corriente constante fluye entre el par externo. La profundidad de penetración de la corriente para una configuración semejante (en la ausencia de estratigrafía apreciable) es casi igual a un tercio del espaciamiento de los electrodos externos ( $y$ ), y la salinidad promedio del suelo para esta profundidad es medida. De este modo, variando el espaciamiento de los electrodos internos, debe poder medir la salinidad promedio del suelo o la salinidad del agua del suelo para diferentes profundidades y, dentro de diferentes volúmenes de suelo.

Una de las mayores ventajas de este método es el volumen mas grande-

de suelo medido que con muestras de suelo, extractores de agua del suelo, o sensores de salinidad. El volúmen de medición es aproximadamente  $\frac{1}{3}$  y  $3$ . Determinar la salinidad con este método es fácil, rápido, y particularmente apropiado para monitorear y mapear la salinidad rutinariamente.

Rhoades y Van Schilfgaarde (1976); y Rhoades (1978); citados por Rhoades (1978), recomiendan en casos en los cuales la medición de la salinidad promedio del suelo ó del agua del suelo a una profundidad dada en el suelo es estimable y puede a través de repetir mediciones, ser usado para monitorear cambios de salinidad, alguna información en la distribución de la salinidad en la profundidad o dentro de intervalos de profundidad, son deseables, otros dispositivos instalados permanentemente que deben ser más ventajosos, como la sonda portátil de salinidad, y la sonda tipo de salinidad que se entierra en el suelo. En estos dispositivos, cuatro anillos son moldeados en una sonda de plástico la cual es ligeramente cónica de modo que pueda ser insertada dentro del suelo en la longitud deseada en un agujero hecho con un tubo muestreador de suelo. En la versión portátil (Rhoades y Van Schilfgaarde, 1976); la sonda es atada a una barra a través de la cual el cable eléctrico es pasado y conectado a un medidor (ver figura 5). En la unidad que se entierra en el suelo (Rhoades, 1977); los cables de la sonda son simplemente puestos en el suelo (ver Figura 6). El volúmen de la muestra medida puede ser variado cambiando el espaciamiento entre los electrodos de corriente. Por ejemplo, la unidad comercial estandar mide un volúmen de suelo de aproximadamente  $2350 \text{ cm}^3$ .



**Figura 5. Versión comercial de la sonda para medir la salinidad del suelo.**

#### **3.5.2.4 Método Electromagnético.**

Keller y Frischknecht (1966); citados por Rhoades y Corwin (1981), nos dan el principio del método electromagnético, el cual es el siguiente: un flujo de corriente es inducida en un conductor que está en un campo electromagnético primario (EM). Este flujo de corriente inducida es proporcional a la conductividad eléctrica (C.E.) del conductor. El --

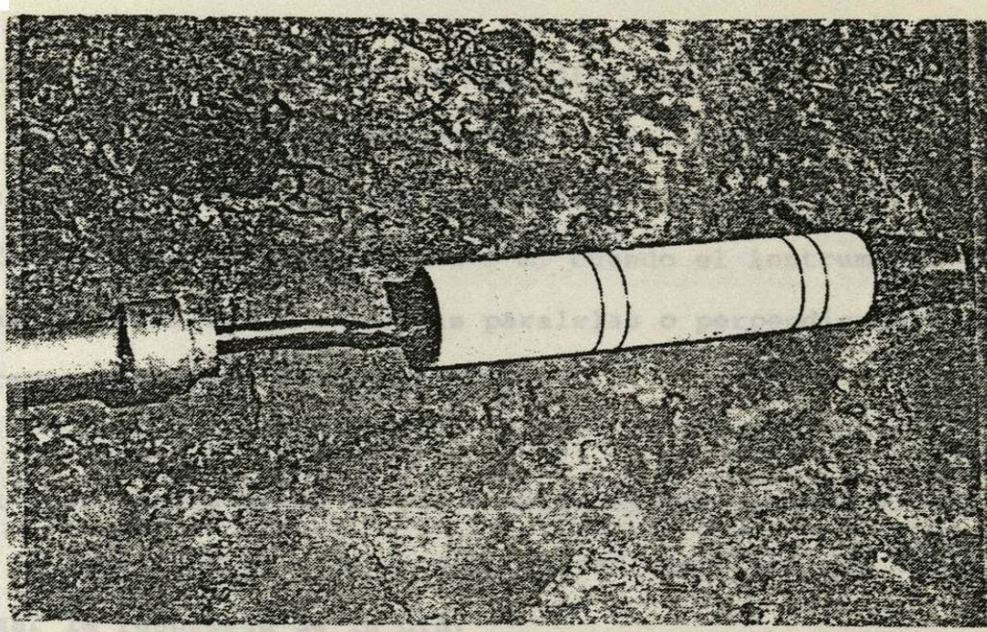


Figura 6. Sonda tipo de salinidad, esta puede ser enterrada en el suelo.

flujo de corriente, en turno, crea un campo magnético secundario, la fuerza del cual es proporcional al flujo de corriente y por tanto a la C.E. del conductor. De aquí, la C.E. de un conductor puede ser relacionada a la magnitud del campo electromagnético secundario inducido generado sobre la imposición de un campo electromagnético primario en el conductor.

Por tanto, la C.E.a del conductor (en este caso el suelo) puede ser medido sin sondas que hagan contacto con el suelo usando técnicas electromagnéticas inducidas a través del uso de bobinas trasmisoras y receptoras separadas y con circuitería apropiada (Rhoades, 1981).

El dispositivo utilizado son bobinas axiales (una trasmisora y otra receptora) perpendiculares a la superficie del suelo. El espaciamento entre las bobinas es de 1 mto., operadas a una frecuencia de 13.2 kHz., -

con una batería de 9 V., y da la C.E. directamente en tres rangos que son de 0 - 100, 0 - 300 y 0 - 1000 mmhos/cm. La configuración de la bobina y el espaciamiento entre bobinas fueron escogidos para permitir mediciones de profundidades efectivas de 1 a 2 m. cuando el instrumento se coloca al nivel del terreno con las bobinas paralelas o perpendiculares a la superficie respectivamente (ver figura 7).

El instrumento tiene la circuitería apropiada para minimizar la respuesta del instrumento a la susceptibilidad magnética del suelo y para --- maximizar la respuesta de la C.E.

El principio básico de operación del medidor de EM/C.E.a es presentado esquemáticamente en la figura 8. Una bobina transmisora (T) localizada en el extremo del instrumento induce ondas de corriente de Foucault- (corriente inducida) en el suelo. La magnitud de esta onda es directa--- mente proporcional a la C.E.a en los alrededores de esta onda. La onda - de corriente genera un campo electromagnético secundario que es propor--- cional al valor de la corriente que fluye dentro de la onda. Una fra---- cción del campo electromagnético inducido de estas ondas es interceptada- por un bobina receptora (R), y la señal es amplificada y formada dentro - de la capacidad de voltaje que también es relacionado linealmente a la C.E.a.

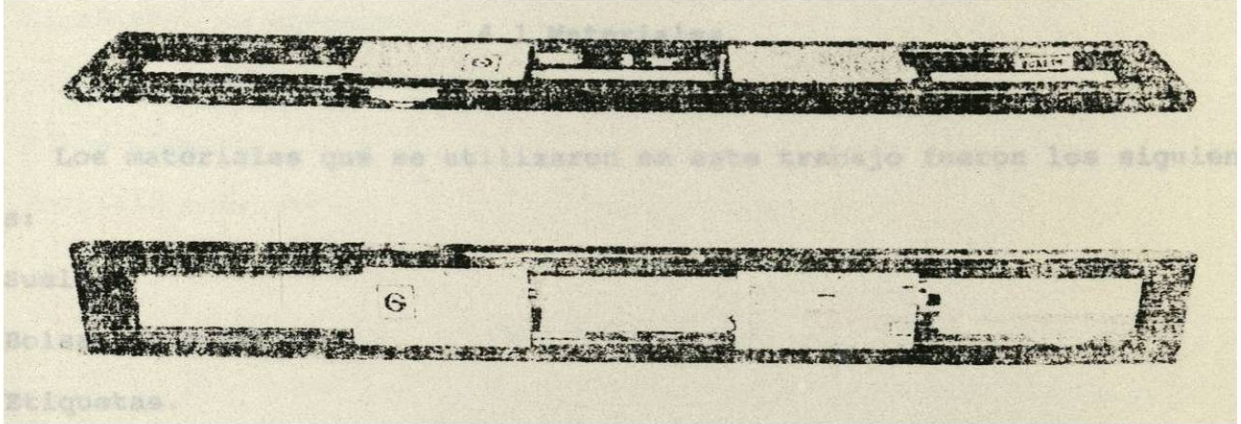


Figura 7. Prototipo utilizado para mediciones de C.E. en el suelo por métodos electromagnéticos.

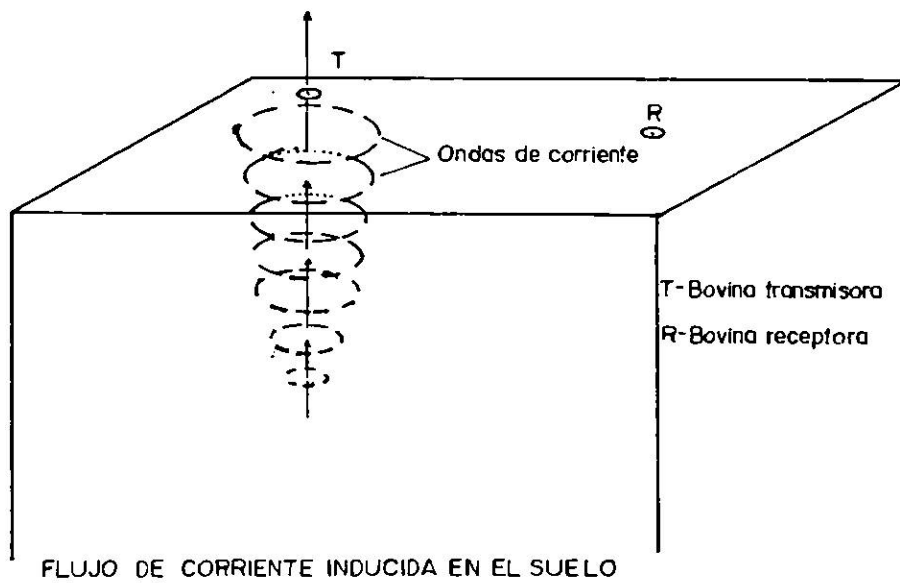


Figura 8. Principio básico de operación en la medición de la C.E. del suelo por el método electromagnético.

#### IV.- MATERIALES y METODOS.

##### 4.1 Materiales.

Los materiales que se utilizaron en este trabajo fueron los siguientes:

- Suelo.
- Bolsas de plástico.
- Etiquetas.
- Barrena holandesa cerrada.
- Agua destilada.
- Probeta de 1,000 ml.
- Conductivímetro portátil.
- Conductivímetro de laboratorio.
- Tamiz de 2 mm.
- Mazo de madera.
- Vasos de plástico.
- Vidrio de reloj.
- Espátula.
- Balanza analítica.
- Papel filtro.
- Embudos Buchner.
- Embudos.
- Matraz Erlenmeyer para extracción.
- Matraz Erlenmeyer de 500 ml.
- Bomba de vacío.
- Tapones de plástico.
- Bomba de vacío.
- Termómetro.



- Agitador mecánico.
- Licuadora.
- Higrómetro de Bouyoucos.
- Agua oxigenada.
- Potenciómetro.
- Parrilla eléctrica.

## 4.2 Metodología.

### 4.2.1 Zona de Muestreo.

Esta se encuentra situada en el estado de Tamaulipas, a 10 km. de la ciudad de Río Bravo (localizada en el paralelo 25° 59' Latitud Norte y el meridiano 98° 6' Longitud Oeste y con una altura media de 30 m. s.n.m.) - en los lotes 12680 y 12700 donde se tenían establecidos los cultivos de trigo y sorgo, respectivamente.

### 4.2.2 Obtención de las muestras.

Las muestras se obtuvieron en áreas donde se observó el efecto de la salinidad en los cultivos de trigo y sorgo, utilizando una barrena holandesa cerrada. Las muestras obtenidas se colocaron en bolsas de plástico y se etiquetaron. Cabe mencionar que las muestras de suelo que se recolectaron en el lote de trigo se encontraban húmedas y las muestras que se tomaron en el lote de sorgo, secas. Para la estimación de la humedad del suelo se aplicó la técnica de Israelsen y Hansen (1981) reportada en tablas.

### 4.2.3 Preparación de las Muestras.

Las muestras fueron secadas al aire, molidas (con un mazo de madera) y pasadas por un tamiz de 2 mm.

#### 4.2.4 Análisis de las Muestras.

##### 4.2.4.1 Textura.

La determinación de la textura se hizo con el método del higrómetro-de Bouyoucos (Aguirre, 1987).

##### 4.2.4.2 Medición de la Conductividad Eléctrica.

###### 4.2.4.2.1 En el Campo.

Se aplicó el procedimiento implementado por Pissani (1989), que consiste en tomar una muestra representativa del suelo a la profundidad deseada (en nuestro caso fue de 0-15 cm. y de 0-30 cm.) y se coloca en una probeta de 1,000 ml. enrasándose a 50 ml. (en el caso de muestras húmedas se enrasa a 80-100 ml. debido a los espacios vacíos entre los terrones), agregándosele agua destilada hasta los 300 ml. (relación 1:5) y se agita manualmente durante 3 minutos, después de los cuales se toma la lectura de Conductividad Eléctrica con un conductivímetro portátil, el cual posee un termistor con lo que se toma la lectura sin tener que ajustarla por temperatura.

###### 4.2.4.2.2 En el Laboratorio.

Para medir la conductividad eléctrica en el laboratorio, se preparó la pasta saturada del suelo para la extracción del extracto al cual se le tomó la conductividad eléctrica. Además también se tomó la medición de la conductividad eléctrica con el extracto Suelo:Agua 1:5. Todo esto se hizo siguiendo los procedimientos dados por Richards(1985).

Este trabajo se realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L.

#### 4.2.5 Método Estadístico.

Para ver el grado de relación que hay entre la conductividad eléc---

trica medida en campo y la medida en el laboratorio se utilizaron dife---  
rentes modelos de regresión, los cuales se presentan a continuación:

$$\hat{Y} = AX + B$$

$$\hat{Y} = (A/X) + B$$

$$\hat{Y} = 1 / [(A/X) + B]$$

$$\hat{Y} = 1 / (AX + B)$$

$$\hat{Y} = \sqrt{[(AX) + B]}$$

$$\hat{Y} = \sqrt{[(A/X) + B]}$$

$$\hat{Y} = 1 / \sqrt{[(AX) + B]}$$

$$\hat{Y} = 1 / \sqrt{[(A/X) + B]}$$

$$\hat{Y} = BX^A$$

$$\hat{Y} = BA^X$$

$$\hat{Y} = A \ln(X) + B$$

$$\hat{Y} = \ln [(AX) + B]$$

$$\hat{Y} = B^{AX}$$

$$\hat{Y} = A(X^2) + BX + C$$

donde:

$\hat{Y}$  es la C.E. estimada del extracto de saturación ó del extracto ---

Suelo:Agua 1:5.

x es la C.E. detectada en campo.

escogiéndose el que presentó un mayor coeficiente de determinación.

## V.-RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados de los análisis de laboratorio y los de campo se muestran en las tablas 1 y 2 del apéndice N°1. Además se agregan los resultados obtenidos del análisis de regresión en los que se estudiaron los valores de Conductividad Eléctrica medida en el campo y los obtenidos en el laboratorio (del extracto de saturación y del extracto Suelo:Agua 1:5) los cuales se observan en las figuras 9, 10 y 15 del apéndice N°2. También se analizaron por separado los datos de campo obtenidos de muestras secas y húmedas, cuyos resultados se muestran en las figuras 11, 12, 13 y 14 (ver apéndice N°2)

### 5.1 Relación Entre el Método de Campo Propuesto y el Extracto de Saturación.

En lo referente al análisis hecho en las 32 muestras (en las que se incluyen las muestras húmedas y las secas al aire) entre el método de campo que se esta proponiendo y el método del extracto de saturación, el modelo que mejor se ajustó a los datos fue el de regresión logarítmica -- que se presenta a a continuación:

$$\hat{Y} = 6.82285 * \ln (x) + 0.180532$$

$$r = 0.6427$$

$$R^2 = 0.4131$$

$$n = 32$$

donde:

$\hat{Y}$  es la C.E. estimada del extracto de saturación

$x$  es la C.E. tomada en campo

$r$  es el coeficiente de correlación

$R^2$  es el coeficiente de determinación

$n$  es el tamaño de muestra

Se puede observar que el coeficiente de correlación (el grado de relación que hay entre las variables en estudio) es de 0.6427 y esto indica que hay una buena relación entre las variables. Sin embargo, su coeficiente de determinación (el cual explica el % de la variabilidad total -- que es explicada por el modelo) es de 41.31% lo cual significa que hubo varios factores que no se tomaron en cuenta que están influyendo; como la humedad de la muestra, la diferencia en el tamaño de partículas entre las muestras secas y las muestras húmedas, la dificultad que se tuvo para aplicar el método de campo con las muestras húmedas ya que el volumen de muestra no fue muy preciso debido a que no se podía poner correctamente a 50 ml y a que en las muestras húmedas los terrones no se disgregaron lo suficiente para tener una buena homogeneidad en la suspensión de agua y suelo durante el agitado (ver figura 9).

## 5.2 Relación Entre el Método de Campo Propuesto y el Extracto Suelo:Agua 1:5

Al analizarse los datos obtenidos del método de campo propuesto y del extracto Suelo:Agua 1:5 con las 32 muestras en las cuales se incluyen las muestras húmedas y secas, se determinó que el modelo que mejor se ajusta es logarítmico:

$$\hat{Y} = 7.59575 * \ln(x) - 2.50974748$$

$$r = 0.8468$$

$$R^2 = 0.7172$$

$$n = 32$$

donde:

$\hat{Y}$  es la C.E. estimada del extracto 1:5

x es la C.E. tomada en campo

El coeficiente correlación de las variables en estudio, es de 0.8468 y su coeficiente de determinación es de 71.72%, lo que indica que el modelo ajustado es adecuado. No obstante, en este caso, los mismos factores que se mencionaron en los párrafos anteriores afectan también los resultados de este análisis y debe tenerse en cuenta que a pesar de que el método del extracto Suelo:Agua 1:5 es un método estandar de laboratorio, este no es exacto (ver figura 10).

### 5.3 Modelo Obtenido del Método de Campo Propuesto y el Extracto de Saturación con Muestras Húmedas.

Al analizar los datos del método de campo propuesto con los métodos de laboratorio separando las muestras húmedas de las muestras secas se obtuvieron los siguientes resultados:

Al hacerse el análisis de los datos, se determinó que el modelo que mejor se ajusta a ellos, es el de regresión logarítmica, el cual se muestra a continuación:

$$\hat{Y} = 5.412797 * \ln (x) + 4.97811$$

$$r = 0.50095$$

$$R^2 = 0.25095$$

$$n = 20$$

donde;

Y es la C.E. estimada del extracto de saturación

x es la C.E. tomada en el campo

Como se puede observar, los valores de los coeficientes de correlación y determinación son bajos (0.5009 y 25.09%, respectivamente); y esto se debe a que el error experimental es grande ya que no se tomaron en cuenta factores tales como la variación de la humedad en las diferentes muestras que se tomaron, la dificultad que se tuvo para aplicar el método de campo propuesto con las muestras húmedas ya que no se podía tomar la misma cantidad de muestra en cada prueba que se hizo y también a otro factor del que ya se hizo mención en párrafos anteriores que fue la heterogeneidad en la suspensión suelo:agua en todas las muestras ya que en ocasiones no se alcanzaban a disgregar los terrones húmedos durante la etapa de agitación (ver figura 11).

#### 5.4 Modelo Obtenido del Método de Campo Propuesto y el

##### Extracto Suelo:Agua 1:5 con Muestras Húmedas.

El modelo al cual se ajustaron los datos, fue el logarítmico; y se presenta a continuación:

$$\hat{Y} = 6.869887 * \ln(x) + 0.5029694$$

$$r = 0.78697$$

$$R^2 = 0.61933$$

$$n = 20$$

Los valores de los coeficientes de correlación y determinación son de 0.7869 y 61.93%, respectivamente. La varianza no explicada por el modelo fue debido a que los mismos factores ya mencionados en el punto anterior afectan en el mismo grado a este análisis, y además, como ya se había mencionado en párrafos anteriores, que a pesar de que el método del extracto Suelo:Agua 1:5 es hecho en condiciones estándares de laborato---

rio, este no es exacto (ver figura 12).

### 5.5 Modelos Obtenidos del Método de Campo Propuesto con el Extracto de Saturación y Suelo:Agua 1:5 con Muestras Secas

El modelo que mejor se ajusta a los datos en estos análisis es el de regresión lineal simple y se presentan a continuación:

#### Método de campo Vs. Extracto de Saturación

$$\hat{Y} = 1.86926 + 1.10661 (x)$$

$$r = 0.89093$$

$$R^2 = 0.79376$$

$$n = 12$$

#### Método de campo Vs. Extracto Suelo:Agua 1:5

$$\hat{Y} = 1.27764 + 1.08694 (x)$$

$$r = 0.92136$$

$$R^2 = 0.8489$$

$$n = 12$$

donde:

$\hat{Y}$  es la C.E. estimada de los extractos de saturación y Suelo:Agua 1:5.

$x$  es la C.E. tomada en campo.

Observando los resultados obtenidos se puede apreciar el buen ajuste que tuvieron los datos con el modelo de regresión lineal. Para el caso - del método de campo propuesto contra el extracto de saturación, el coeficiente de correlación fue de 0.8909 que es altamente significativo y el -



coeficiente de determinación es de 79.37%. El análisis de regresión del método de campo propuesto contra el método del extracto Suelo:Agua 1:5, reportó un coeficiente de correlación de 0.9213 el cual es altamente significativo, y su coeficiente de determinación fue de 84.89% (ver figuras-13 y 14). Estos resultados se deben, sin lugar a dudas, a que no se tuvo ninguna dificultad para implementar el método de campo propuesto ya que si hubo facilidad para enrasar la cantidad de muestra requerida, no hubo mucha variabilidad en la humedad de la muestra debido a que estaban secas al aire; en el tamaño de la partícula, y la suspensión suelo:agua fue --- también más homogénea.

Se puede ver de esta manera, que la humedad de la muestra en el campo influye en la lectura de la Conductividad Eléctrica en el campo con -- referencia a la tomada bajo estándares de laboratorio. Sin embargo, no -- obstante los resultados que se obtuvieron con las muestras secas, el ta-- maño de muestra fue muy pequeña (n=12) por lo que los resultados no pue-- den considerarse como definitivos.

Cabe mencionar que los resultados se han obtenido con muestras de -- suelo que tienen una textura arcillosa (ver tabla 3 del apéndice N°1).

Ahora bien, comparando este método de campo con los otros métodos de laboratorio y campo ya descritos por Jackson (1976), Richards (1985) y -- Rhoades (1978) en la literatura revisada de este escrito, se pueden ver -- las ventajas del método propuesto con respecto a los otros. Dentro de -- estas ventajas se encuentran, costos del equipo y su mantenimiento, la -- sencillez del método, el tiempo para obtener los resultados en un punto -- de muestreo (en un máximo de 10 min.), facilidad de aplicación. De las -- desventajas que se pudieran tener, la principal es la precisión, ya que --

los otros métodos tienen tiempo de haber sido implementados, y por lo --- tanto ya se han calibrado varias veces. No obstante, por las ventajas -- que presenta el método, se puede utilizar en estudios de reconocimiento y levantamiento de salinidad efectiva para localizar y delimitar áreas con problemas de sales.

Por otra parte, el análisis hecho con los datos de los dos métodos - de laboratorio (extracto Suelo:Agua 1:5 y el extracto de saturación) se - presenta a continuación:

$$C.E.ext = 0.11991 + 1.04674 (x)$$

$$r = 0.90372$$

$$R^2 = 0.81671$$

$$n = 32$$

donde:

C.E.ext es la C.E. estimada del extracto de saturación

x es la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5

El coeficiente de correlación es de 0.9037, que es marcadamente sig- nificativo, y el coeficiente de determinación es de 81.67% (ver figura -- 15). Estos resultados son parecidos a a los que obtuvieron Ojeda y Caba- llero (1974) con muestras recolectadas en suelos agrícolas de Matamoros, - Tamps., en los cuales tuvieron un coeficiente de correlación de 0.957 y - un coeficiente de determinación de 91.6% (ver figura 16). La diferencia- entre ambos métodos estriba principalmente en el tiempo en que se obtie- nen los resultados, por lo que el método del extracto 1:5 a pesar de que- no es exacto es lo bastante confiable para recurrir a él en casos de que- en un momento dado no se cuente con una bomba de vacío para extraer el -- extracto de una muestra de suelo.

## VI.- CONCLUSIONES.

- 1.- Las ventajas que presenta el método son las siguientes: a) las necesidades de equipo y material son mínimas (probeta de 1000 ml., agua destilada, barrena y un conductivímetro portátil), b) la sencillez y facilidad de aplicación del método, y c) la rapidez para la obtención de resultados en un punto de muestreo con un máximo de 10 minutos.
- 2.- Por la precisión, que es bastante aceptable, el método se puede aplicar en estudios de reconocimiento de salinidad efectiva para localizar y delimitar áreas con problemas de sales.
- 3.- Los resultados obtenidos con las muestras húmedas no son confiables - debido a que la variación de la humedad en la muestra produjo variaciones entre la Conductividad Eléctrica tomada en el campo y la medida en el laboratorio.
- 4.- Los resultados obtenidos con las muestras secas fueron los siguientes:

$$\hat{Y} = 1.86926 + 1.01661 (x)$$

$$r = 0.89093$$

$$R^2 = 0.79376$$

$$n = 12$$

donde;  $\hat{Y}$  es la C.E. del extracto de saturación

$x$  es la C.E. tomada en campo

$r$  es el coeficiente de correlación

$R^2$  es el coeficiente de determinación

$n$  es el tamaño de la muestra

$$\hat{Y} = 1.27764 + 1.08694 (x)$$

$$r = 0.92136$$

$$R^2 = 0.8489$$

$$n = 12$$

donde;  $\hat{Y}$  es la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5

$x$  es la C.E. tomada en campo

No obstante, estos resultados no deben considerarse definitivos sino-preliminares.

5.- El método de campo propuesto debe aplicarse en muestras de suelo que por su grado de humedad, puedan considerarse como secas al aire.

6.- El método del extracto Suelo:Agua 1:5 si es confiable teniendo como base el método del extracto de saturación en la medición de la C.E. - para la zona del muestreo, por lo que se puede utilizar en caso de no contar en un momento dado con una bomba de vacío para la extracción - del extracto de saturación y calcular la C.E. con la siguiente ecuación:

$$\text{C.E. ext} = 0.11991 + 1.04674 (x)$$

donde; C.E. ext es la C.E. del extracto de saturación y

"x" es la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5.

## VII.- RECOMENDACIONES.

- 1.- Este trabajo debe ser tomado como base para otros posteriores con el fin de obtener resultados que sean considerados definitivos.
- 2.- Considerar un mayor número de muestras en los trabajos posteriores, ya que en este estudio el número de muestras secas fue muy reducido (un total de 12 muestras) por lo que se recomienda trabajar con 50 -- muestras para corroborar los resultados que se obtuvieron.
- 3.- Determinar el efecto de la textura para ver en que grado afecta a el método propuesto.
- 4.- Seguir trabajando con muestras húmedas para así obtener un modelo matemático que tome en cuenta dicho factor.

## VIII.- RESUMEN

Se llevó a cabo un experimento para desarrollar un método de campo - propuesto por Pissani (1989) con el objetivo de medir cuantitativamente - la concentración de sales solubles del suelo de una forma rápida y sencilla. Se tomaron muestras de suelo por salinidad aparente en un lote de trigo (0-30 cm) y en otro lote de sorgo (0-15 cm). Las muestras tomadas en el lote de trigo se encontraban húmedas (mayor a capacidad de campo) y las que se tomaron en el lote de sorgo, secas al aire. En ambos casos la textura es arcillosa.

La metodología de campo consistió en tomar una muestra representativa en cada punto de muestreo a la profundidad deseada (0-15 ó 0-30 cm) y se enrasó a 50 ml (en el caso de muestras húmedas se enrasó a 80-100 ml - debido a los espacios vacíos entre los terrones de suelo) en una probeta de 1000 ml agregándosele agua destilada hasta 300 ml (relación 1:5) y se agitó durante 3 min., después de los cuales se tomó la lectura de la C.E.

Para tomar la C.E. en el laboratorio, la muestra de suelo se secó al aire, se molió y se paso por un tamiz de 2 mm. Después se preparó la --- pasta saturada del suelo y se extrajo el extracto del suelo y se le tomó la C.E.

El otro método para medir la C.E. en el laboratorio fue el del extracto Suelo:Agua 1:5. Todo esto se llevó a cabo según la metodología -- dada por Richards (1985).

Los resultados que se obtuvieron reportaron que, al analizarse los - datos tomando en cuenta la humedad de la muestra en el campo, las mues---

tras secas fueron las que mejor resultado dieron, ya que el grado de relación que se encontró entre el método de campo probado y los dos métodos de laboratorio (extractos de saturación y Suelo:Agua 1:5) son muy significativos ( $r= 0.8909$  y  $0.9213$ ;  $R^2= 0.7937$  y  $0.8489$ , respectivamente).

Por otra parte, el análisis de datos entre los dos métodos de laboratorio nos dió buenos resultados ( $r= 0.9037$  y  $R^2= 0.8167$ ) por lo que se puede utilizar el método del extracto relación Suelo:Agua 1:5 en los suelos de la zona de muestreo (Río Bravo, Tamps.) en caso de no contar en un momento dado con una bomba de vacío para la extracción del extracto del suelo.

## IX.- BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Aguirre Cossío J. (1987), Manual de prácticas de Edafología, Facultad de Agronomía, U.A.N.L., México.
- 2.- Bernstein L. (1974), Drainage for Agriculture, Ed. Jan Van Scilfgaarde, Wisconsin, U.S.A.
- 3.- Bhon H.L., McNeal B.L. y O'Connor G.A. (1985), Soil Chemistry, A Wiley Interscience Publication, N. York, U.S.A.
- 4.- Bowen J.E. y Kratky B.A. (1986), La salinidad del suelo, Agricultura de las Américas, Vol. 35 N° 10.
- 5.- Cabrera Delgado J.M. (1989), Acumulación catiónica relacionada con la adaptación del cultivo del maíz (Zea Mays L.) a la salinidad, - Tesis M.C., Chapingo, México.
- 6.- De la Serna Meléndez I. (1987), Efecto de la salinidad en el crecimiento de las plantas, Tesis (Seminario), U.A.N.L.
- 7.- Israelsen O.W. y Hansen V.E. (1975), Principios y Aplicaciones del riego, Ed. Reverté, México.
- 8.- Jackson M.L. (1970), Análisis químico de suelos, Ed. Omega, Barcelona, España.
- 9.- Läuchli A. (1986), Responses and adaptations of crops to salinity, -- Ed. Acta Horticulturae, U.S.A.



- 10.-Llerena Villalpando F.A. (1977), Definición óptimo económica del tamaño de muestra e intensidad de lavado para la recuperación de suelos con problemas de sales, Tesis M.C., Chapingo, México.
- 11.- Ojeda Ortega D. y Caballero Ortega J.L. (1974), Correlación entre la Conductividad Eléctrica medida en el Extracto de Saturación del Suelo y en Extractos con varias relaciones Suelo:Agua, 7º Congreso Nacional del Suelo, Ed. Guanos y Fertilizantes de México.
- 12.- Pissani Z.J.F. (1989), Prácticas de Calidad del Agua y Salinidad del Suelo, F.A.U.A.N.L.
- 13.- Pizarro F. (1978), Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos, Ed. Agrícola Española, Madrid, España.
- 14.- Rhoades J.D. (1978), Monitoring Soil Salinity : A review of methods American Water Resources Association, U.S.A.
- 15.- Rhoades J.D. y Corwin D.L. (1981), Determing Soil Electrical Conductivity - Depth Relations using an Inductive Electromagnetic -- Soil Conductivity Meter, Soil Science Am., Vol. 45 Nº 2.
- 16.- Richards L.A. (1985), Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos, Ed. Limusa, México.

**X.- APENDICE I**

Tabla 1. Conductividad Eléctrica obtenida en campo y laboratorio en el lote de trigo.

N I V E L	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (dS/m)		
	CAMPO	LABORATORIO	
		EXTRACTO DE SAT.	EXTRACTO 1:5
N1	1.85	7.25	6.665
N1R	2.25	11.74	4.54
N2	3.65	5.41	10.50
N2R	5.45	14.30	12.455
N3	10.75	17.86	18.70
N3R	9.00	16.30	14.55
N4	12.80	45.29	26.65
N4R	13.65	36.60	28.75
N5	16.00	31.05	31.00
N5R	18.00	34.752	24.85
N1	3.65	3.93	5.89
N1R	3.375	4.14	3.11
N2	13.50	9.13	10.00
N2R	14.70	10.52	12.70
N3	47.9	13.87	18.15
N3R	29.15	12.65	15.70
N4	26.00	17.50	21.05
N4R	42.00	29.40	30.00
N5	68.50	25.75	29.20
N5R	71.50	24.55	31.50

**Tabla 2. Conductividad Eléctrica obtenida en campo y laboratorio en el lote de sorgo.**

N I V E L	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (dS/m)		
	CAMPO	LABORATORIO	
		EXTRACTO DE SAT.	EXTRACTO 1:5
N1	2.3	4.23	3.665
N1R1	1.74	3.5	2.965
N1R2	2.015	3.41	3.39
N2	5.315	10.68	9.785
N2R1	5.015	8.64	7.51
N2R2	5.03	8.49	6.78
N1	4.62	6.79	6.26
N1R1	4.8	6.05	5.06
N1R2	3.07	3.75	3.51
N2	9.9	10.84	10.8
N2R1	6.65	9.24	8.86
N2R2	7.25	10.71	9.565

Tabla 3. Textura de varias muestras de suelo tomadas de los lotes de trigo y sorgo.

MUESTRAS TOMADAS DEL LOTE DE TRIGO				
NI VEL	% DE ARENA	% DE LIMO	% DE ARCILLA	TEXTURA
N1	38	18	44	Arcilloso
N2	36	12	52	Arcilloso
N3	30	18	52	Arcilloso
MUESTRA TOMADAS DEL LOTE DE SORGO				
N1	36	24	40	Arcilloso
N2	34	24	42	Arcilloso

**XI.- APENDICE II**

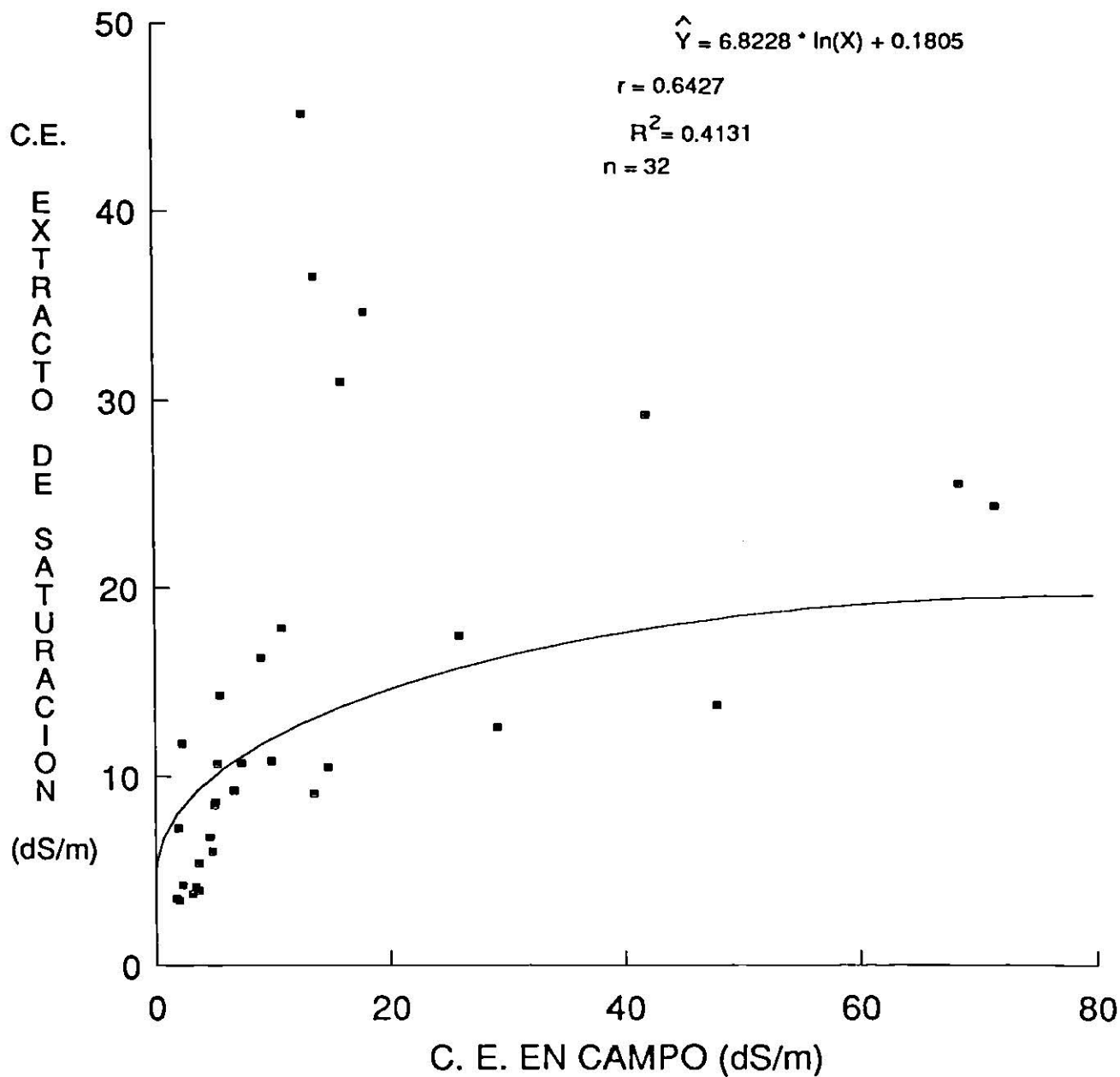


Figura 9. Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del extracto de saturación.

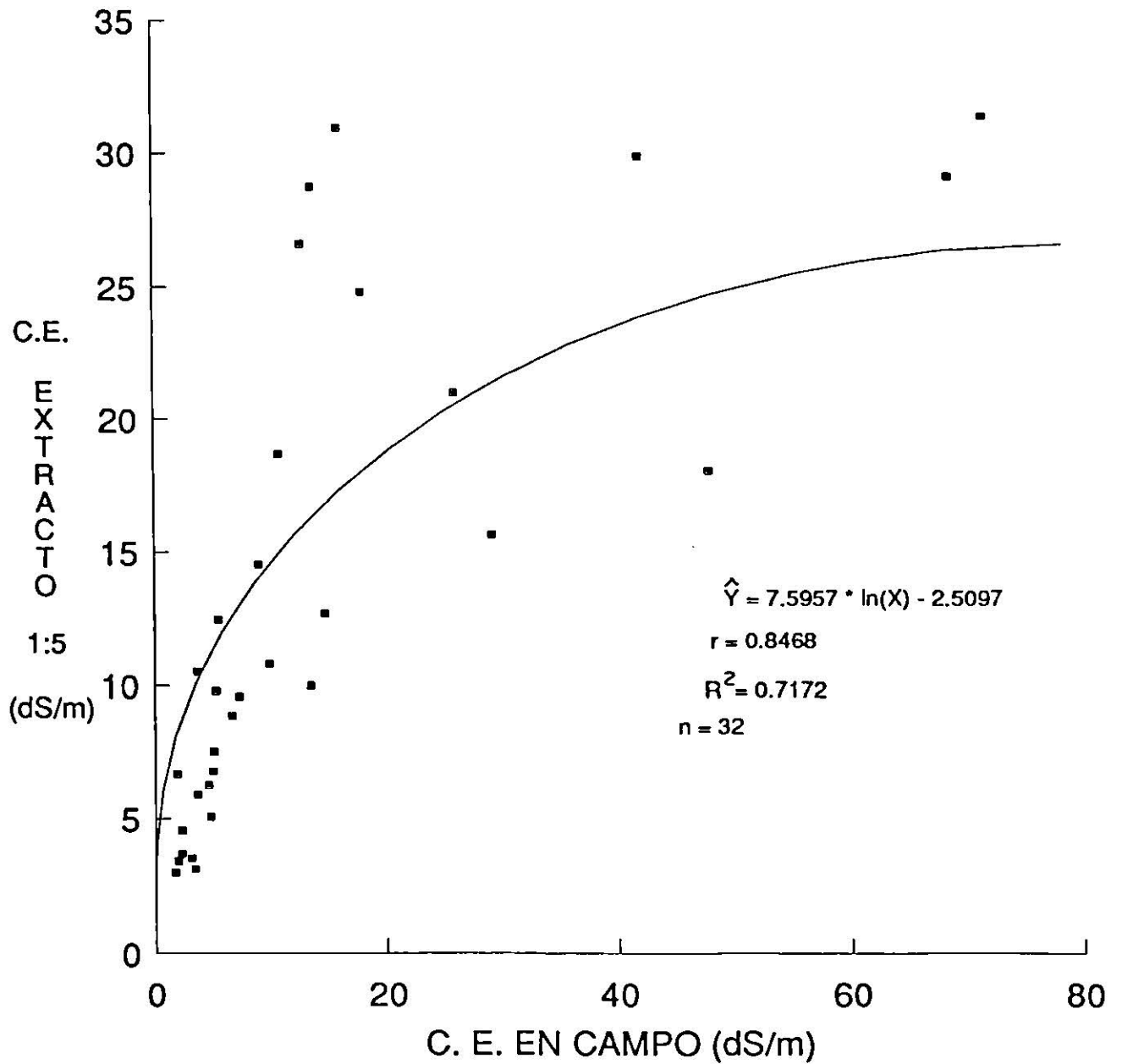


Figura 10. Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5.



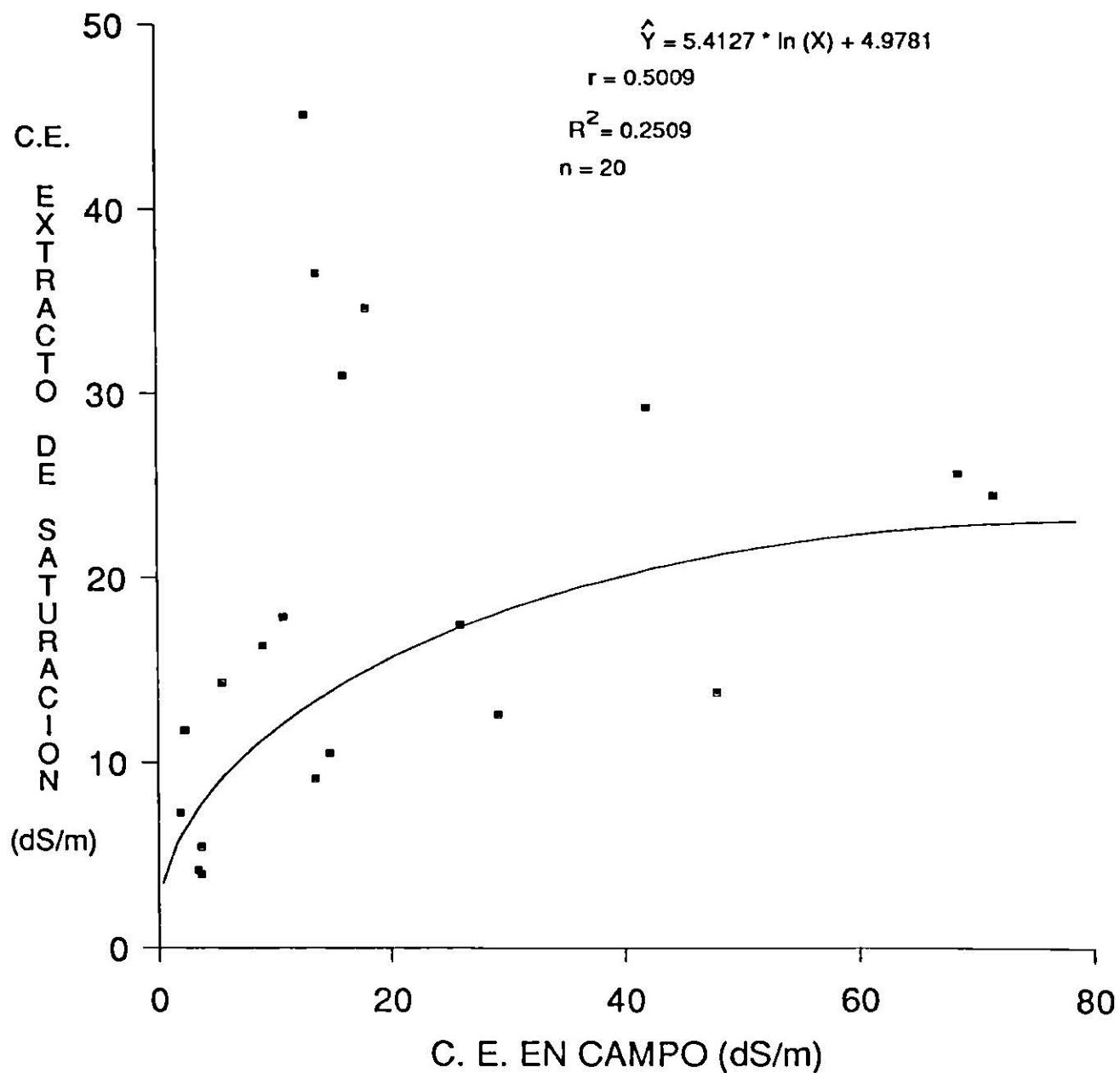


Figura 11. Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del extracto de saturación de las muestras húmedas.

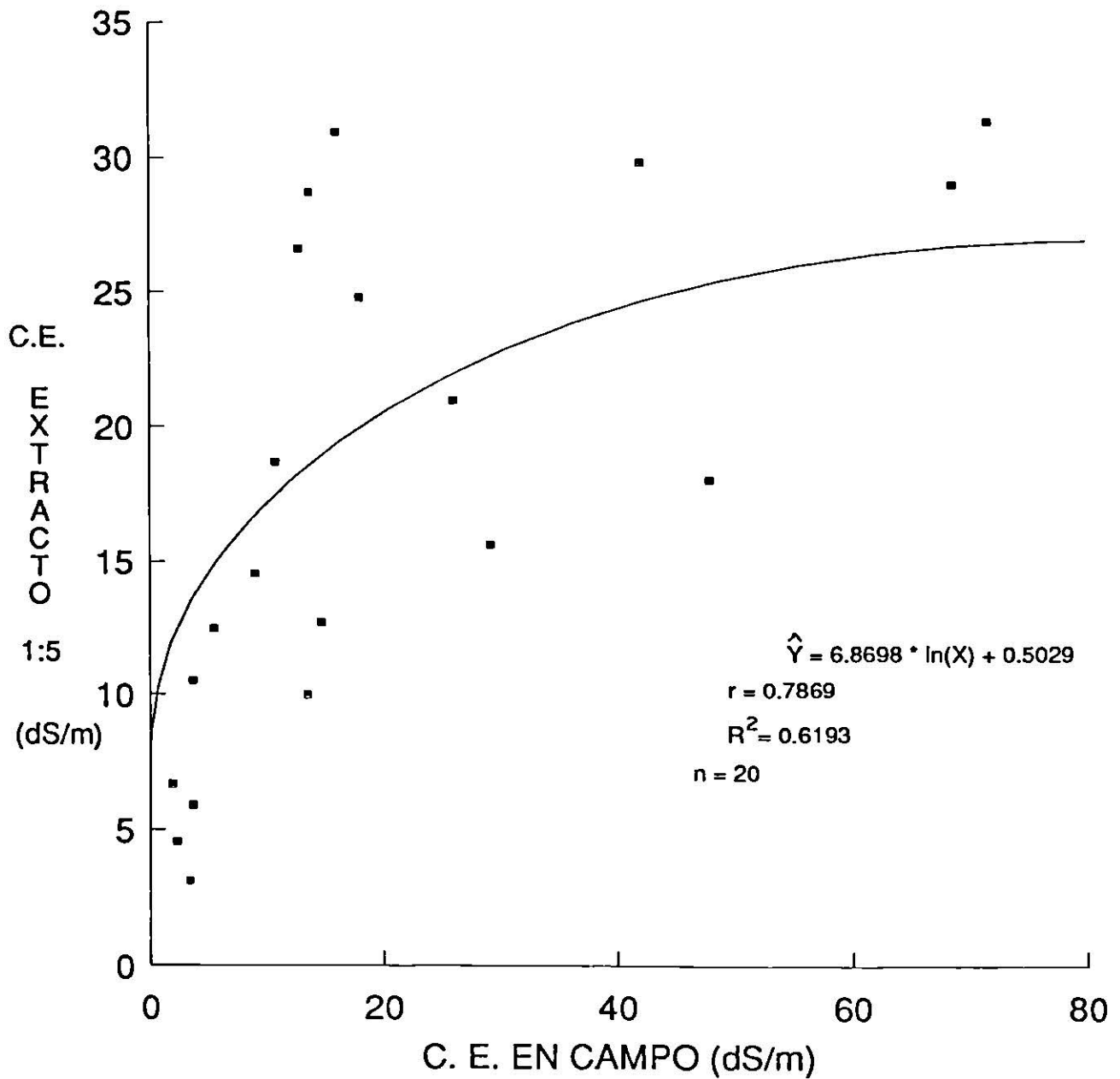


Figura 12. Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5 de las muestras húmedas.

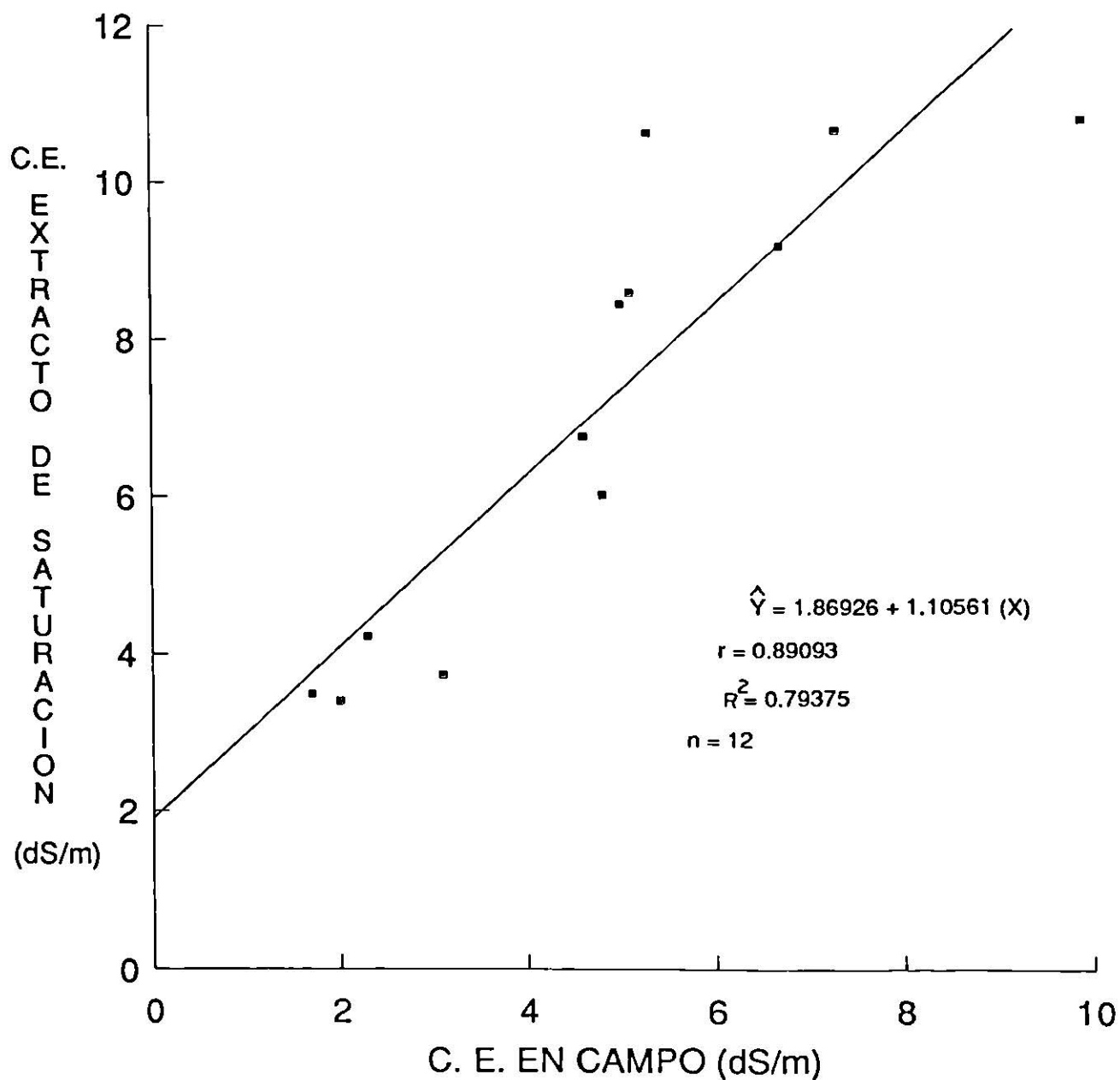


Figura 13. Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del extracto de saturación de las muestras secas.

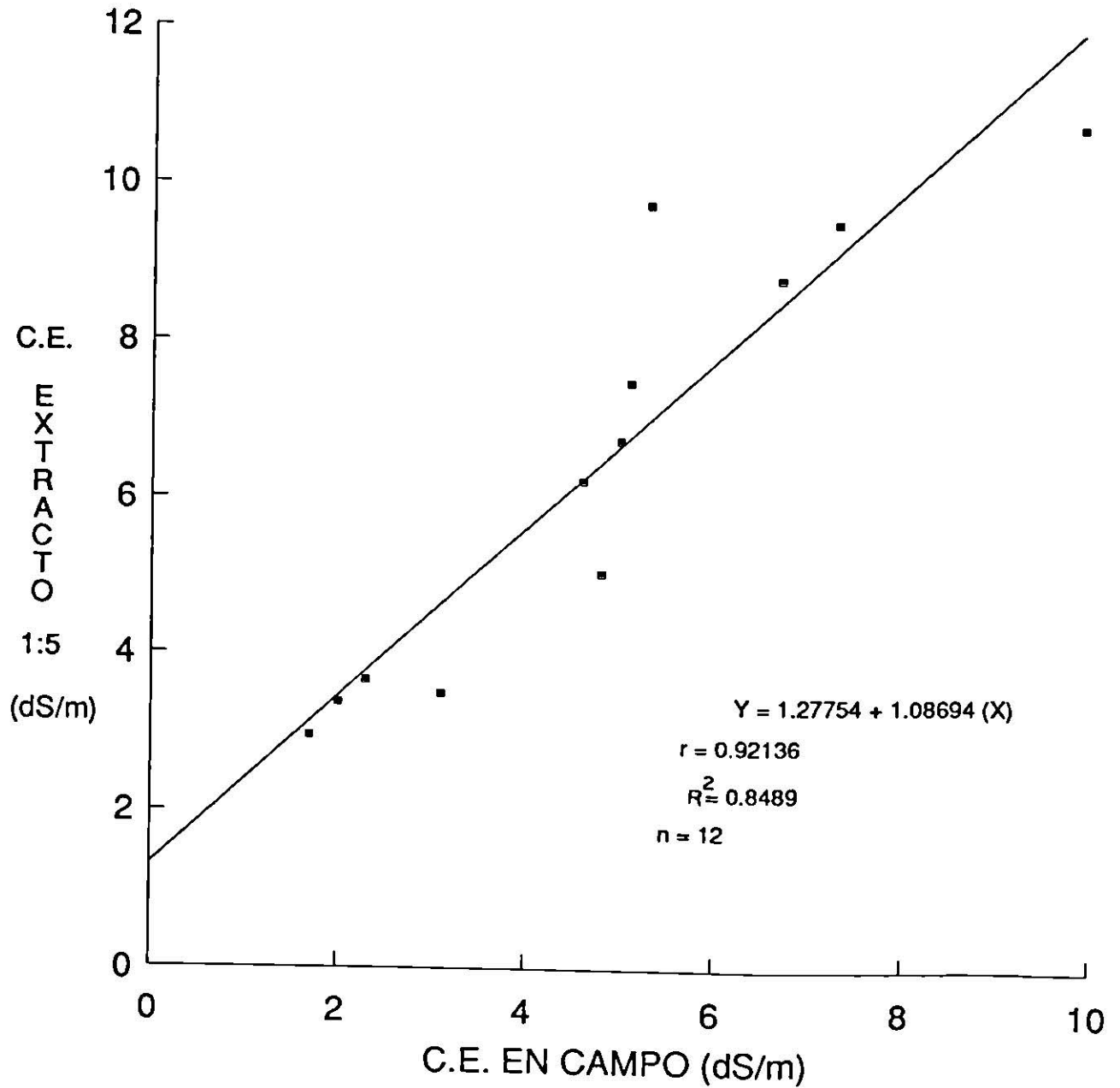


Figura 14. Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. detectada en campo y la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5 de las muestras secas.

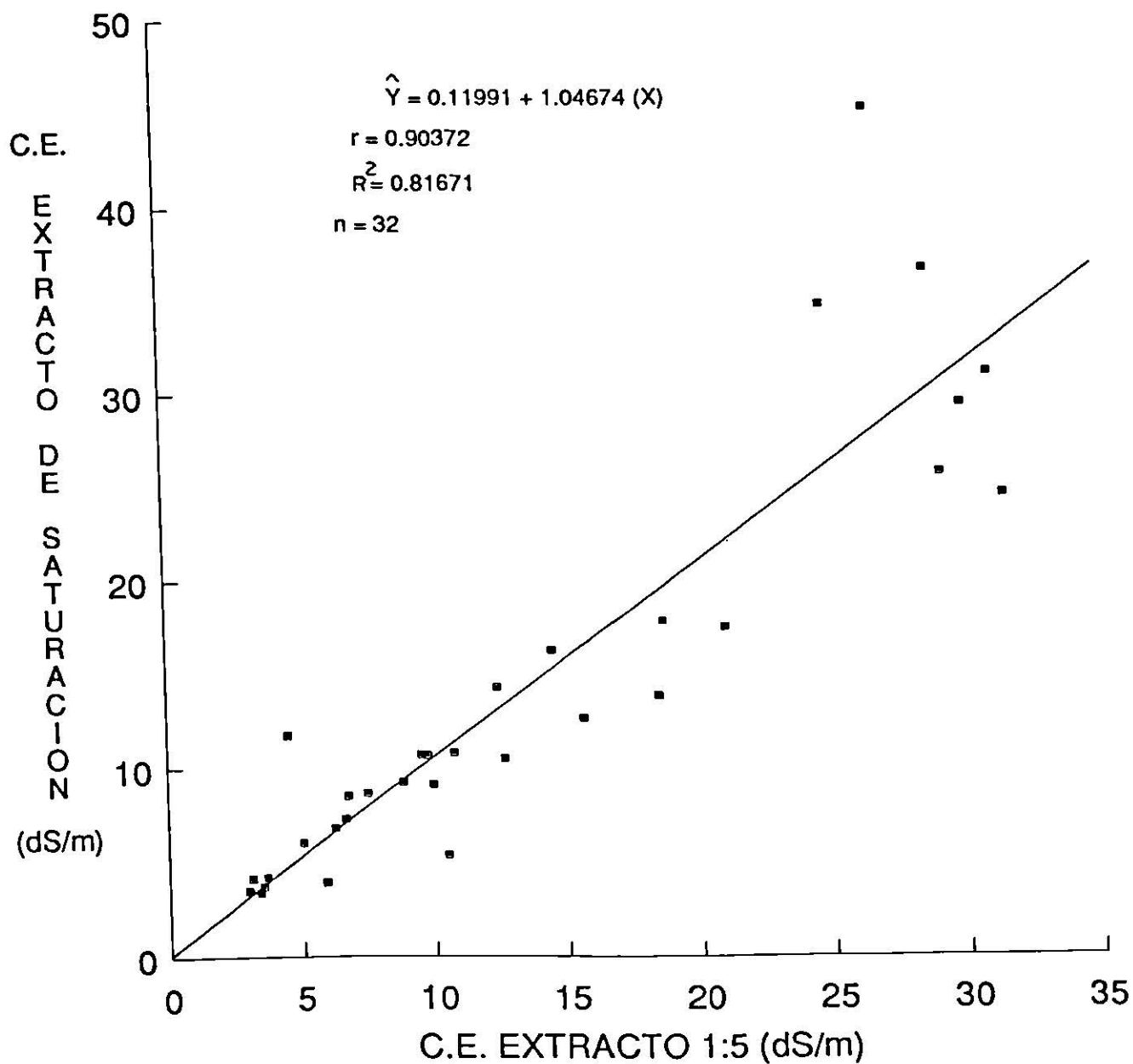
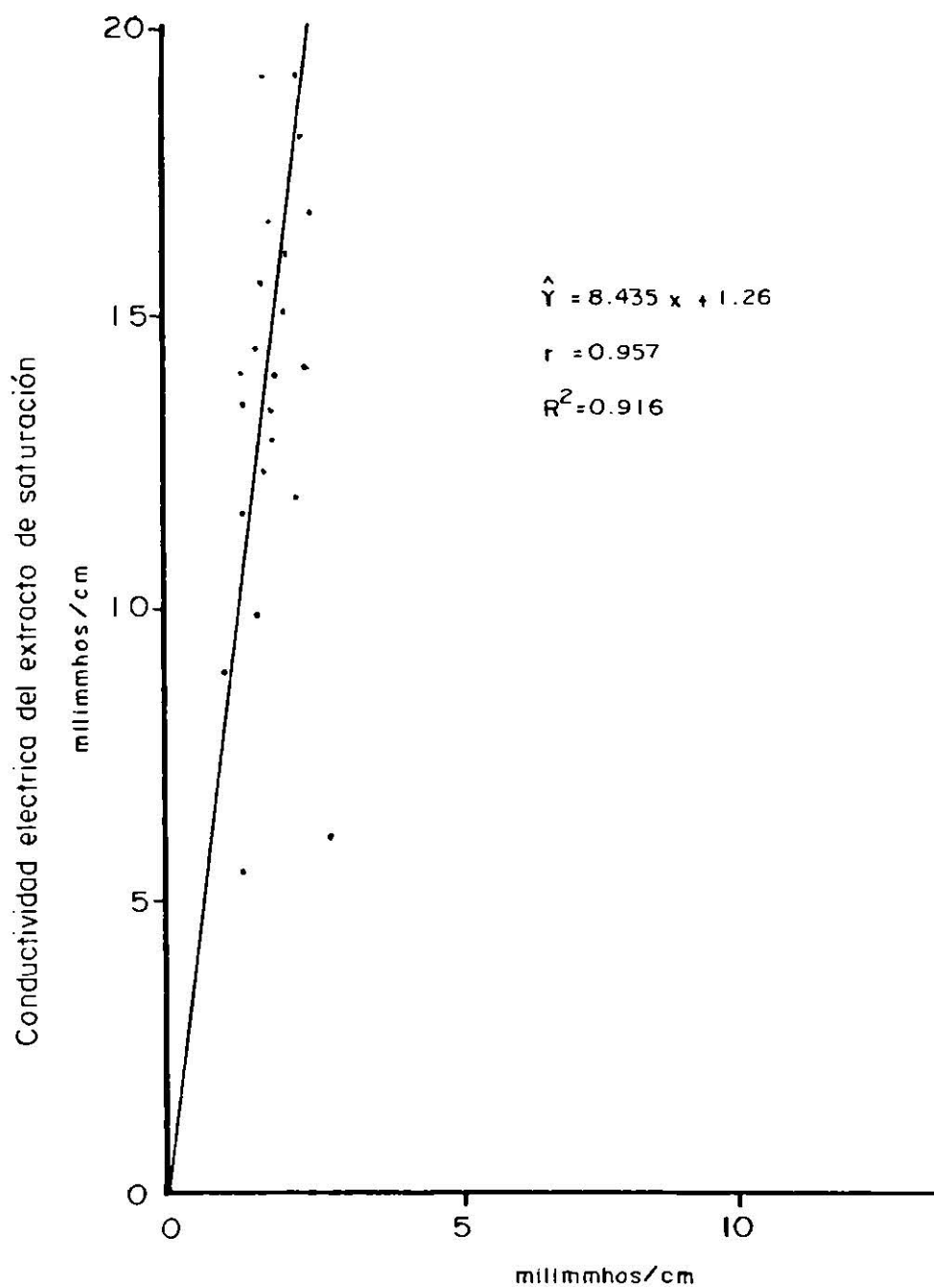


Figura 15. Ecuación de regresión encontrada entre los valores de la C.E. del extracto Suelo:Agua 1:5 y la C.E del extracto de saturación.



Conductividad eléctrica de extracto 1:5

Figura 16. Ecuación de regresión encontrada por Ojeda y Caballero (1974) para suelos agrícolas de Matamoros, Tamps. entre la C.E. del Extracto de Saturación y la C.E del extracto Suelo:Agua 1:5.

10771

