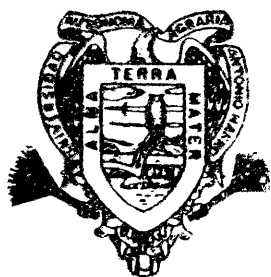


EFFECTO DE LA SALINIDAD EN EL RENDIMIENTO
DEL CULTIVO DE SORGO (*Sorghum bicolor*) EN
PRESENCIA DE MANTO FREATICO PARA LA
REGION DE RIO BRAVO, TAMAULIPAS

MANUEL ALVARADO CARRILLO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.

AGOSTO DE 1991

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular
de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar
al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE

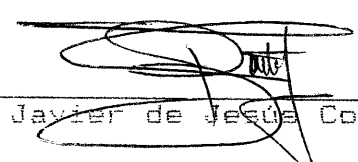
COMITE PARTICULAR

Asesor principal:



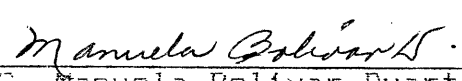
Dr. Juan Ego Pissani Zúñiga

Asesor:

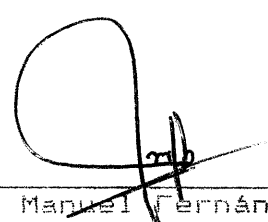


MC. Javier de Jesús Cortés Bracho

Asesor:



MC. Manuela Dolívar Duarte



Dr. José Manuel Fernández Brondo
Subdirector de Asuntos de Postgrado



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
U. A. A. A. N.
SALTILLO, COAH.

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Septiembre de 1991

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias por la oportunidad que me otorgó para alcanzar una meta más en mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro especialmente al Departamento de Riego y Drenaje por darme la oportunidad de superación.

A la Universidad México Americana del Norte que a través de la Lic. Edith Cantú de L. me apoyó y estimuló para seguir adelante y lograr mi objetivo propuesto.

Al Dr. Juan Fco. Fissani quien por su valiosa ayuda en asesorar y dirigir este trabajo de investigación hizo posible su culminación.

A los Inqs. M.C Javier de J. Cortés D. y Manuela Eolivar D. por sus atinadas sugerencias en la realización de este trabajo.

A mis compañeros de Maestría: Juan Estrada, Marco A. Arellano, Héctor Rodríguez y Vinicio Cisneros por su apoyo moral y amistad desinteresada que demostraron a lo largo de dos años.

DEDICATORIA

A mi esposa Rosalinda Villarreal L.

Quién con su cariño y comprensión supo apoyarme para afrontar los retos y adversidades de esta etapa que culmino.

A mis hijos Criselda Gpe. y Manuel Alejandro

Por ser la fuente de energía que le da vida a mi ser.

A mis padres José Alvarado R. y Juana Carrillo R.

Por sus consejos y apoyo moral recibidos en el transcurrir de los años encaucándome con rectitud por el camino de la vida.

A mis hermanos Carolina, Celia, Otilia (q.e.p.d.), Abelina, Josefina, Ignacio, Eugenia, Isabel, Flora y Juana. Porque a pesar de la distancia existe el cariño que nos hace cercanos y unidos.

COMPENDIO

Efecto de la Salinidad en el Rendimiento del Cultivo de
Sorgo (*Sorghum bicolor*) en Presencia de Manto Freático para
la Región de Río Bravo, Tamaulipas

POR

MANUEL ALVARADO CARRILLO

MAESTRIA EN CIENCIAS

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, AGOSTO 1991

Dr. Juan Fco. Pissani Zúñiga - ASESOR

Palabras clave: Salinidad, Conductividad eléctrica, Sorgo,
Correlación, Beneficio, costo.

El presente trabajo de investigación fue conducido
para evaluar el efecto de las sales del suelo en el
rendimiento de sorgo Pioneer 8239.

El estudio se realizó en el lote 12868, ubicado en
las brechas E-119 a 120 y N-15 a 16 del Distrito de
Desarrollo Rural III Control, del Municipio de Río Bravo,
Tam. durante el Ciclo Otoño-Invierno 1989-90. Se

muestrearon seis sitios a dos profundidades (0-15 y 15-30 cm) esto se hizo basándose en la apariencia del cultivo y del suelo, resultando todos los puntos con diferente conductividad eléctrica (dS/m) en un rango de 3.29 a 9.80 dS/m. Se tomó altura y rendimiento del cultivo en cada sitio, este último se transformó a rendimiento relativo (RR), con esto se corrió una regresión lineal simple, según la apariencia que manifestó y la opinión de algunos autores, resultando la ecuación: $Y = 130.12 - 13.868(X)$, donde X es conductividad eléctrica en dS/m, Y es rendimiento relativo en por ciento con r^2 de 0.804, existiendo significancia al 95 por ciento de probabilidad en el análisis de varianza de la regresión, para cada unidad de conductividad eléctrica (dS/m); el RR del sorgo disminuyó en 13.86 por ciento en el rango estudiado (3.29 a 9.80 dS/m). El parámetro que tuvo el más alto coeficiente de determinación ($r^2=0.97$) fue el peso de grano por panoja para cada nivel de salinidad, esto indicó que la salinidad tiene gran efecto sobre el tamaño de la panoja en sorgo. Se efectuaron una serie de correlaciones entre los iones, siendo el bicarbonato el único que presentó efecto antagónico sobre los demás.

También se hizo el análisis económico obteniéndose la relación beneficio-costo (B/C), resultando el modelo siguiente: $Y = 4.541 - 0.483(X)$ con r^2 de 0.804, donde X es conductividad eléctrica en dS/m, Y es la relación B/C en unidades.

ABSTRACT

The Effect of Salinity in the Yield of Sorghum (*Sorghum bicolor*) in the Presence of Groundwater for the Region of Río Bravo, Tamaulipas.

BY

MANUEL ALVARADO CARRILLO

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. AUGUST 1991

Dr. Juan Fco. Pissani Zúñiga -adviser-

Key words: Salinity, electric conductivity, sorghum, correlation, benefit, cost.

The present investigation was conducted in order to evaluate the effect of the soil salts in the yield of Pioneer sorghum 8239.

This study was realized on the lot 12048, located in the breaches E-119 to 120, and N-15 to 16 of the District of the III Rural Development Control of the region of Río Bravo, Tam. during the Autumn-Winter cycle of 1989-90. Six sites were established with depths of 0-15 and 15-

30. cm) this was done based on the appearance of the cultivation and of the soil, resulting all points with different electric conductivity (dS/m) in the range of 3.29 to 9.00 dS/m. Weight and yield were taken of the cultivation in each site, the latter was transformed to relative yield (RR) with this a simple lineal regression was run according to the appearance which was manifested, and the opinion of certain authors, with the resulting equation of: $y = 130.12 - 13.868(X)$ where X is electric conductivity in dS/m, Y is relative yield in percentage with r^2 of 0.804 existing significance to the 95 percent of probability in the analysis of variance of the regression, for each unit of electric conductivity (dS/m); the RR of sorghum diminished in a percentage of 13.86 in the range studied (3.29 to 9.80 dS/m). The parameter that had the highest coefficient of determination ($r^2 = 0.97$) was the weight of grain for panicle for each level of salinity, this indicated that the salinity has a great effect on the size of the panicle in sorghum. A series of correlations was effected between the ions; the bicarbonate being the only one which presented an antagonistic effect on the rest.

An economic analysis was also done obtaining the benefit-cost (B/C), relationship with the following resulting model: $Y = 4.541 - 0.483(X)$ with r^2 from 0.804 where X is electric conductivity in dS/m and Y is the relation B/C in units.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	4
Salinidad y Drenaje en Corqo.....	4
Salinidad y Drenaje en Maíz.....	7
Salinidad y Drenaje en otros Cultivos.....	10
Modelos en Salinidad y Drenaje.....	23
MATERIALES Y METODOS.....	30
Ubicación del Sitio Experimental.....	30
Características Climáticas de la Región.....	30
Características de los Suelos de la Región.....	32
Características de los Mantos Freáticos.....	33
Salinidad del Agua en Canales.....	35
Salinidad del Agua en Drenes.....	36
Metodología del Trabajo.....	36
Características del Pioneer 8239.....	36
Conducción del Experimento.....	37
Cosecha del Experimento.....	39
Análisis de Regresión y Correlación.....	40
Análisis Económico.....	40
RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
Características Químicas del Suelo.....	42
Calidad y Condición del Nivel Freático.....	49

• Rendimiento de Grano con Respecto a Salinidad..	49
Análisis de Regresión entre Variables	50
Análisis de Correlación entre Variables.....	58
Análisis de Varianza de la Regresión.....	61
Análisis Económico.....	62
CONCLUSIONES.....	66
LITERATURA CITADA.....	67
APENDICE.....	70

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1.	Variación de la superficie afectada por salinidad aparente, en grado medio y fuerte en el Área de riego del Distrito de Desarrollo Rural III Control, Tam. (Tomado de Ingeniería de Riego y Drenaje, 1987)33
3.2.	Distribución de la precipitación y variación del área afectada por mantos freáticos superficiales en Ciclo Otoño-Invierno 1989-90, en el Distrito de Desarrollo Rural III, Control, Tamaulipas. (Fuente: Campo Experimental Río Bravo e Ingeniería de Riego y Drenaje, 1990).....34
3.3.	Superficie en el Distrito de Desarrollo Rural III Control, con problemas de drenaje superficial (Tomado de Ingeniería de Riego y Drenaje, 1987).....34
3.4.	Labores de preparación, siembra y postsiembra del cultivo de sorgo en el lote experimental. Ciclo O-I 1989-90.....37
3.5.	Características de los pozos de observación y manto freático de los mismos en el experimento. Río Bravo, Tam.....38
4.1.	Resultados del análisis químico del suelo al establecer el experimento.....43
4.2.	Resultados del análisis químico del suelo al cosechar el experimento.....44
4.3.	Análisis químico del suelo promedio de los puntos muestreados en el ciclo del cultivo.....47
4.4.	Niveles preliminares y finales en conductividad eléctrica del suelo del sitio experimental en Río Bravo, Tam. Ciclo Temp. 1989-90.....48
4.5.	Efecto de la salinidad en la etapa vegetativa al establecer el experimento en la región de Río Bravo, Tam.....48
4.6.	Efecto de la salinidad en los componentes de rendimiento en sorgo Pioneer 8239, para la región de Río Bravo, Tam.....50

4.7.	Componentes de rendimientos encontrados en los niveles de salinidad en el cultivo de sorgo en Río Bravo, Tam. Ciclo Otoño-Invierno 1989-90.....	51
4.8.	Correlaciones obtenidas con las variables involucradas en el trabajo de investigación en sorgo en Río Bravo, Tam. Ciclo Otoño-Invierno 1989-90.....	59
A.1.	Lecturas tomadas para la determinación de conductividad hidráulica en los pozos realizados del sitio experimental en Río Bravo, Tam. Ciclo O-I 1989-90.....	71
A.2.	Análisis de varianza obtenido en la regresión entre el rendimiento de grano (Kg/ha) y el promedio de conductividad eléctrica entre los estratos del suelo de 0-15 y 15-30 cm en los puntos de cosecha.....	72
A.3.	Costos de producción utilizados por el productor, para el cultivo de sorgo en la región de Río Bravo, Tam. Ciclo O-I 1989-90.....	73
A.4.	Valor de la producción, costos y relación Beneficio-Costo en cada uno de los niveles de salinidad encontrados.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
3.1.	Ubicación del sitio experimental en la región de Río Bravo, Tamaulipas.....31
4.1.	Plano de isosalinidad promedio del suelo en dS/m de 0-30 cm de profundidad en el ciclo del cultivo.....46
4.2.	Diagrama de dispersión de conductividad eléctrica (dS/m) contra rendimiento en (Kg/ha), así como la ecuación de ajuste de la recta en los sitios muestreados en Río Bravo, Tam.....53
4.3.	Rendimiento relativo de sorgo de grano, en función con el incremento de salinidad promedio del suelo en los estratos 0-15 y 15-30 cm de profundidad.....54
4.4.	Peso de grano por panoja en función con el incremento de salinidad promedio del suelo en los estratos 0-15 y 15-30 cm de profundidad.....56
4.5.	Diagrama de dispersión de conductividad eléctrica (dS/m) contra altura de planta (cm), así como la ecuación de ajuste de la recta en los sitios muestreados en Río Bravo, Tam.....57
4.6.	Efecto de los niveles de salinidad promedio en la relación beneficio-costo de producción de sorgo.....63
4.7.	Diagrama de dispersión de conductividad eléctrica contra beneficio-costo de sorgo, así como la ejecución de ajuste de la recta.....65
A.1.	Variación de la superficie afectada por salinidad aparente en grado medio y fuerte en el área de riego del Distrito de Desarrollo Rural III Control, Tam. (Tomado de Ingeniería de Riego y Drenaje, 1987).....75
A.2.	Distribución de la precipitación pluvial, en el área de estudio. Ciclo 0-I 1989-90. Río Bravo, Tam. (Fuente: Campo Experimental de Río Bravo e Ingeniería de Riego y Drenaje, 1990).....76

A.3.	Variación de la superficie en el Distrito de Desarrollo Rural III Control, con problemas de drenaje superficial (Tomado de Ingeniería de Riego y Drenaje, 1987).....	77
A.4.	Plano de isosalinidad del suelo en el estrato 0-15 cm al momento de establecer el experimento.....	78
A.5.	Plano de isosalinidad del suelo en el estrato 15-30 cm al momento de establecer el experimento.....	79
A.6.	Plano de isosalinidad del suelo en el estrato 0-15 cm al momento de cosechar el experimento.....	80
A.7.	Plano de isosalinidad del suelo en el estrato 15-30 cm al momento de cosechar el experimento.....	81

INTRODUCCION

En México es prioridad mejorar la tecnología en todas las áreas de la producción agrícola y por consiguiente incrementar rendimientos. Un problema que se afronta en la actualidad es la degradación de los suelos agrícolas por muchos factores en los que podemos considerar la salinidad del suelo y la falta de aereación del mismo por mantos freáticos elevados que propician merma en rendimiento.

El Norte de Tamaulipas es una área importante en la producción de sorgo a nivel nacional, sembrándose alrededor de 120 000 ha de riego y 600 000 de temporal, obteniéndose el 70 por ciento del total nacional. (Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1990). La producción promedio anual es de 1.7 millones de toneladas, teniendo un rendimiento promedio de 2.36 toneladas por hectárea de grano en este cultivo, que se ve afectado por un gran número de factores limitantes, dentro de los cuales está la salinidad del suelo, aunado a esto los mantos freáticos superficiales (menores de 1.50 m de profundidad) que se incrementan día a día, creando condiciones indeseables desde el punto de vista agrícola.

Los incrementos del nivel freático son debidos a un mal manejo que se tiene del agua de riego al aplicar y desperdiciar grandes volúmenes de este insumo, esto implica recargar el acuífero en forma considerable en la época de riegos. Otra de las fuentes de recarga son las lluvias torrenciales de los meses de Mayo y Septiembre.

La acumulación de las sales puede deberse a: que provengan del agua freática del suelo o bien ser aportadas por el agua de riego. El proceso tiene lugar por la alteración del régimen de humedad del suelo y se presenta cuando las aguas de sobre riego, filtraciones etc. tienden a elevar el nivel freático, acercándolo a la superficie; por capilaridad, dejando en las primeras capas del suelo (zona radical) las sales que lleva consigo. Se sabe que las sales se acumulan por procesos naturales e inducidos como la capilaridad y evaporación que influyen directamente en el cambio de los suelos y la influencia de éstos en las plantas.

El mejoramiento de los suelos agrícolas por los programas de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en la región, han beneficiado en poca escala la superficie afectada por estos factores. Si no se lleva a cabo un programa bien estructurado de prevención y rehabilitación, se acelerará el proceso de degradación y al cabo de cierto tiempo se tendrán peores condiciones.

Objetivos

1. Evaluar el efecto de la salinidad del suelo en el rendimiento del cultivo del sorgo en presencia de manto freático, para la región de Rio Bravo, Tam.
2. Obtener un modelo de predicción del rendimiento en sorgo, con respecto a la salinidad del suelo en presencia de manto freático, para la región mencionada.

Hipótesis

El rendimiento en áreas de raquítrico o nulo crecimiento del sorgo se debe en gran parte a la salinidad del suelo y el manto freático superficial que crea condiciones indeseables para el cultivo.

REVISION DE LITERATURA

Salinidad y Drenaje en Sorgo

Francois et al. (1983) realizaron un trabajo en sorgo de grano en suelos salinos en la región Oeste de los Estados Unidos, este experimento se generó debido a la falta de información de los efectos que presentan las sales en las semillas; este estudio de parcela fue conducido estableciéndose seis tratamientos de salinidad en un suelo arcillo arenoso Hotville sobre montmorillonita micajonosa; éste se regó con agua salinizada con NaCl y CaCl₂ (1:1 por peso). La conductividad eléctrica del agua de irrigación fue de 1.5, 2.7, 5.0, 7.4, 9.8 y 12.1 dS/m. La germinación, el crecimiento vegetativo y el rendimiento de grano fueron medidos. El rendimiento relativo de dos cultivares, Doble TX y NK 265, no fueron afectados con una salinidad en el suelo superior a 6.8 dS/m (La conductividad eléctrica del extracto de saturación CEE). Cada unidad de salinidad arriba de 6.8 dS/m redujo la cosecha en 16 por ciento. Esto indica que el sorgo de grano es moderadamente tolerante a la salinidad. La reducción del rendimiento fue debida primordialmente al más bajo peso de panoja por un reducido número de espiguillas. El crecimiento vegetativo se afectó menos al incrementar la salinidad del suelo como

el rendimiento de grano. El sorgo de grano fue significativamente más tolerante a las sales en germinación que en los últimos estados de crecimiento.

En un estudio realizado por Howell et al. (1975) donde el propósito era evaluar los efectos de inundación por 12 días en suelos con cantidades de difusión de oxígeno y respuesta del cultivo durante la etapa temprana, crecimiento rápido y posteriores estados de crecimiento del sorgo para grano.

El sorgo para grano fue sembrado en un campo que contenía lisímetros en un suelo con capas no alteradas. La lluvia fue medida con lisímetros con un sistema de protección automática.

La cantidad de difusión de oxígeno y el potencial de presión del agua en el suelo fue medido en la zona radical. La primer medida de respuesta del cultivo incluyó índice de área foliar durante la estación de crecimiento y rendimiento. El agua fue aplicada en la superficie del suelo para mantener el potencial de presión del agua en el suelo en la zona radical del cultivo mayor que 0.4 bar, y de aquí prevenir el stress hídrico del cultivo, en periodos cuando no hubo inundación.

• El stress de oxígeno del cultivo fue determinado para cada tratamiento y evaluar el efecto de inundación específico en cantidad de difusión de oxígeno y respuesta del cultivo. Como un resultado de este estudio, las siguientes conclusiones son presentadas.

1. Los rendimientos del sorgo de grano fueron reducidos en aproximadamente 25 a 30 por ciento cuando la inundación ocurrió por 12 días previo a antesis. La inundación después de antesis no redujo los rendimientos de sorgo.

2. La proporción de crecimiento de las plantas de sorgo fue reducido durante la inundación previo a antesis. El porcentaje de crecimiento de las plantas después de 12 días de inundación durante la etapa vegetativo temprano aproximó el porcentaje de tratamiento testigo; sin embargo el rendimiento potencial nunca fue recuperado. 20 días de inundación durante el estado de bota redujo el potencial máximo de área foliar.

3. El stress de oxígeno considerable del cultivo ocurrió en todos los tratamientos inundados por baja proporción de difusión de oxígeno en la zona radicular durante los periodos de inundación.

Salinidad y Drenaje en Maíz

Kanwar *et al.* (1988) estudiaron la respuesta del maíz a la fluctuación natural del nivel freático en diferentes etapas de crecimiento, se estudió por tres años. Cincuenta parcelas de 15 X 15 metros fueron establecidas en 1984 en un suelo Nicollet en un área que no es artificialmente drenada. En el centro de cada parcela, un pozo de observación fue instalado para medir el nivel freático. El hidrograma anual del nivel freático fue desarrollado para cada parcela para cuantificar los factores de stress del cultivo de excesiva humedad (SEW 30, una suma de los días en los cuales la profundidad del nivel freático es menor de 30 cm).

Los resultados de estos estudios indican que los valores de SEW 30 menores de 40 cm por día en la etapa temprana de la estación de crecimiento, puede reducir significativamente los rendimientos de maíz. Los rendimientos de maíz disminuyeron linealmente con el incremento en los valores SEW 30 y el índice de stress diario (SDI). Los rendimientos menores de maíz resultaron de la disminución de las plantas y el pobre crecimiento del cultivo debido al exceso de humedad.

Hardjoamidjojo *et al.* (1981) desarrollaron un método para el Índice de Stress Diario y caracterizar los

efectos del exceso de agua en el suelo en rendimientos de maíz. El modelo de manejo de agua, DRAINMOD, fue modificado para computarizar el índice de stress diario (SDI) para cada tratamiento anual en 12 años de experimentos de campo en Ohio. El factor de Stress diario fue predicho por DRAINMOD, ya que la susceptibilidad del cultivo fue obtenido por otros investigadores en el área de drenaje, el producto es el SDI. Los rendimientos relativos fueron obtenidos de dividir la media de rendimiento para cada tratamiento por el potencial de rendimiento.

Un análisis de los resultados presentaron que hubo una fuerte relación entre el rendimiento relativo de maíz (Y_r) y SDI. Una tendencia a la regresión lineal fue apropiada a los datos. El modelo de regresión de Ohio tuvo buena correlación con los resultados de los experimentos independientes a pesar de las diferencias y variaciones en las condiciones experimentales entre ellas. Pruebas estadísticas presentaron que la relación obtenida de Y_r -SDI de varios experimentos son de la misma población. Además, el modelo de regresión de Ohio puede ser usado para representar la relación entre Y_r -SDI para todas las condiciones consideradas.

Carter *et al.* (1985) en un trabajo sobre necesidades de drenaje usando como indicador el alto nivel freático, se analizaron los datos de la tabla de agua

usando el concepto SEW 30 en el Este de Baton Rouge, Iberia; durante la estación de crecimiento de maíz y la estación de dormancia de la caña excedieron los 100 cm/día al considerar la entrada para dos periodos. El SEW 30 anual excedió los 400 cm/día en el umbral 15 de 20 años. El suelo de los sitios respondió al drenaje subterráneo como se indicó por una reducción significativa en el número de veces y duración de la tabla de agua que existió dentro de los primeros 30 cm de la superficie del suelo. La respuesta del cultivo fue favorable al drenaje subterráneo así como rendimientos de maíz en el sitio Este de Baton Rouge y el de St. James fue incrementado significativamente por el drenaje subterráneo.

Alvino y Zerbi (1985) en estudios de campo tendientes a obtener datos sobre el efecto de una tabla de agua en un cultivo de maíz de grano, con crecimiento en condiciones de exceso de lluvia e irrigado. Los datos presentaron que el rendimiento de grano decreció más cuando la tabla de agua se incrementó por efecto de la lluvia que por el riego.

El contenido de humedad de grano y peso individual de la semilla fue linealmente relacionado a la profundidad de la tabla de agua, pero ambos son independientes del régimen hídrico. Las diferencias en rendimiento entre los regimenes de agua fueron debidos al número de semillas por

mazorca en profundidad de la tabla de agua superficial y al por ciento de plantas estériles a la profundidad del nivel de la tabla de agua.

La altura de planta decreció cuando la profundidad de tabla de agua se incrementó. La senescencia de hojas fue más baja en plantas con crecimiento cercano al nivel de la tabla de agua.

Salinidad y Drenaje en otros Cultivos

Sammis et al. (1978) desarrollaron un trabajo donde probaron la influencia de la acumulación de la salinidad en los cultivos en hilera, realizando un lavado mínimo en el tratamiento seco con riego por goteo, en un período de cinco años; sin embargo no hubo datos estadísticos de sales en esos años de irrigación por algún método de riego excepto el tratamiento seco con aspersion y que no presentaba un análisis significativo del balance de sales. Los datos levantados en el cultivo de papa en 1976 presenta una significancia en los componentes de las sales en el tratamiento seco contra el húmedo de los 15 y 45 cm de profundidad para todos los tratamientos. La composición de la sal en el tiempo suplementario y en la estación de crecimiento en 1976 en el perfil a un máximo de 30 cm de profundidad donde ocurrió la germinación no fue tan grande como en el sistema de riego por goteo y en la cama

subsuperficial, comparado con la irrigación en surcos. El tratamiento seco de aspersión tuvo sobre todo el más grande contenido de sales, aproximadamente en el nivel de sensibilidad tóxico de sales para los cultivos; en 1976 se emparejó el nivel inicial al comienzo del experimento fue bajo. La variabilidad más grande del contenido de sal fue a los 7.5 cm. Consecuentemente el número más grande de muestras de suelo fue colectado de los 7.5 cm de profundidad al determinar si un buen porcentaje de germinación ocurriría.

Thomas et al. (1980) dicen: que la irrigación suplementaria en caña de azúcar con aguas subterráneas salinas puede hacerse necesario en las partes bajas del Valle del Río Grande de Texas, puesto que los requerimientos de este cultivo exceden grandemente la irrigación de agua asignada. En el trabajo que ellos condujeron, los objetivos experimentales fueron determinar la factibilidad de usar agua subterránea salina para suplemento de irrigación en caña de azúcar y comparar los efectos de la calidad del agua en caña y rendimiento de azúcar; calidad del jugo y la composición mineral de hojas y jugo. La caña de azúcar se estableció en un suelo Miqajón Arcillo Arenoso que fue regado con aguas del Río Bravo (C.E=1.4 mmhos/cm) y una agua salina preparada (C.E=4 mmhos) bajo cinco tratamientos de riego. En el rendimiento de caña se tuvo un $r=-0.85$ con significancia al nivel 0.05

de probabilidad; media estacional de proporción de elongación de caña o tallo ($r=-0.95$, significancia a el nivel 0.01 de probabilidad); longitud de caña a la cosecha ($r=-0.94$, significancia a el nivel de 0.01 de probabilidad) y conductividad eléctrica (C.Ej) de el juco ($r=-0.93$) fue correlacionado linealmente con lo esperado. Las concentraciones de cloro en el juco fueron linealmente correlacionadas ($r=0.94$, significativamente a el nivel 0.01 de probabilidad) con las concentraciones de cloro de las aguas de irrigación. Los niveles de salinización de la zona radical (CEe) fueron menos que el umbral del nivel de salinidad de 5.9 mmhos/cm. Consecuentemente, los efectos de calidad del agua en rendimientos fueron pequeños y generalmente no significativos.

El promedio anual de lluvia (67.9 a 43.9 cm) en las partes bajas del Valle del Rio Grande es probablemente suficiente a más baja salinidad si las aguas bien salinas fueran usadas para suplemento de irrigación en suelos de textura media. En 1974, 42.3 cm de lluvia al final de la irrigación decrecieron los valores de la conductividad eléctrica del agua (CEw) a los 46 cm de profundidad a menos de un mmhos/cm. Esto sugiere que las aguas con concentraciones de salinidad cercana a 4 mmhos/cm probablemente serían usadas para irrigación de caña de azúcar en suelos de textura media en los bajos del Valle del Rio Grande de Texas.

• Gayle *et al.* (1980) en resultados de un experimento de cuatro años en el Sureste de Luisiana donde usaron el desarrollo del modelo de Índice de Stress Diario para relacionar rendimiento de caña de azúcar a stress causado por condiciones de agua excesiva en el suelo. El stress fue cuantificado por la suma de agua excesiva cercana a 45 cm. de profundidad, SEW 45.

El stress fue medido de acuerdo a tres etapas de crecimiento del cultivo y factores de susceptibilidad de éste, que fueron determinados de acuerdo a resultados publicados de otros estudios.

El modelo de manejo de agua, DRAINMOD, fue modificado para calcular los stress y el índice de stress diario debido a condiciones excesivas de humedad en cada etapa de crecimiento para un diseño de sistema de drenaje dado. Los análisis de predicción de cantidades de evapotranspiración para el período de cuatro años presentó que el deficit de agua en el suelo estresado fue desapercibido para todos los años excepto para 1977. Así, el efecto mencionado de stress hídrico en rendimiento de caña de azúcar para diferentes tratamientos de drenaje fue casi en su totalidad debido a altas tablas de agua.

Fowler y Hamm (1980) reportaron haber sometido cereales a condiciones salinas en Parkland de Saskatchewan.

Canadá y encontraron que la siembra de cereales en otoño no ofrece ninguna ventaja sobre los cereales sembrados en primavera en suelos salinos. Los cultivos sembrados fueron cebada y avena en condiciones altamente salinas en años con buenas condiciones ambientales como 1977, con conductividades de 17.8 dS/m. Sin embargo, bajo las más favorables condiciones de crecimiento, significa menor rendimiento ya que se experimentó en suelos severamente salinos y en años de producción igual en cebada y avena, no siendo provechoso la siembra en estas áreas. Previo a 1977 en las áreas con conductividades mayores que 8 dS/cm creció más que la Kochia y el abrojo Ruso. Al finalizar Mayo de 1977 diez hectáreas en esta categoría fueron sembradas con una mezcla de abrojo Ruso y Rye Grass salvaje. Poco redituable la paja de trigo y la alfalfa común (1:1.6) en una proporción de 11.5 Kq./ha. (Forsberg 1953; Rauser y Crowle 1963), citados por Fowler y Hamm, 1980. La alfalfa permaneció variable, reflejando variación en el nivel de salinidad del suelo, sobre los pastos establecidos en el resto del área. En 1978 y 1979 cultivos de heno promediaron en cosecha 2000 y 3400 Kq/ha respectivamente.

En un trabajo efectuado por Kaddah *et al.* (1974) en invernadero, se evalúa la interacción después del estado de bota, de salinidad, textura del suelo y proporción de drenaje en arroz. El mejoramiento de la línea IV 213 fue transplantado en un recipiente de 11 litros lleno con otro

suelo de Arcilla Arenoso o Arena Miqajonosa e irrigados con aqua del Río Colorado, S1(C.E=1.4 mmhos/cm) hasta cosecha con S1, S2 (C.E=4.0 mmhos/cm) y S3 (C.E 8.0 mmhos/cm). El análisis de suelo y planta presentaron que: los porcentajes de salinidad en la zona radical fueron de dos a cuatro veces la salinidad de las aguas de riego respectivamente. En general la salinidad se incrementó con el desarrollo de la planta y con el porcentaje de disminución de drenaje. Los componentes de sal adicionada al aqua del Río Colorado se incrementaron en paja y grano sin efecto en el rendimiento.

En un trabajo efectuado por Francois (1980) sobre manejo de alfalfa bajo condiciones salinas en invernadero con lisímetro y cero lavados para determinar capacidad de almacenaje de sal en la parte más baja de la zona radical y efectos a largo plazo de este manejo en crecimiento de la planta, el suelo del lisímetro fue Miqajón Arenoso fino, la alfalfa se estableció con y sin lavado usando aqua de riego que tenía una conductividad eléctrica de 1.0 dS/m en perfiles de suelo 0.6, 1.2 y 1.8 metros de profundidad para periodos de 9, 14 y 20 meses, respectivamente. Durante esos periodos de tiempo respectivos el rendimiento en los lisímetros sin lavados fueron reducidos a menos de 25 por ciento luego más que 14.6, 30.2, y 45.6 Mg/ha de sal que fue almacenada en la base media de los tres perfiles de suelo. Lo más profundo del suelo, tuvo la mayor capacidad

de sal almacenada con mínima reducción en el rendimiento. El rendimiento fue drásticamente reducido desde que empezó a acumularse la sal en la porción más alta de la zona radical. Consecuentemente el riego al lavar, acumuló sal fuera de lo más alto de la zona radical, puede ser necesariamente por esto ya que en el invierno o fuera de estación es cuando el agua es más fácilmente aprovechable. Con frecuencia perfiles de suelo poco profundos pueden requerir más lavados.

Waissman y Miyamoto (1986) realizaron un estudio para evaluar la disminución de emergencia en semilla de alfalfa por irrigación con aguas salinas y la relación existente entre germinación de semilla, daños al hipocotilo por sal, y emergencia de plántula. Experimentos en invernadero fueron conducidos usando suelo de textura Arena Miqajonosa fina, la emergencia de la planta y acumulación de la sal cercana a la superficie del suelo fue monitoreada a tres profundidades (3, 10 y 15 mm) e irrigado con agua de 0.8 a 7.6 dS/m. En el experimento dos, la germinación de la semilla fue medida en esponjas humedecidas con soluciones salinas (0.8-32 dS/m). En el experimento tres, la emergencia de la plántula fue monitoreada después de establecerla con una capa de 5 mm de arena salina teniendo el extracto de saturación una concentración de 0.8 a 45 dS/m en emergencia de plántula para evaluar daños por sal en hipocotilo. Los resultados indicaron que el porcentaje y

final de emergencia de ambos cultivares declinó cuando la salinidad de las aguas de riego excedió 4.3 dS/m, luego aunque la semilla germinó bien en soluciones salinas de 28 dS/m, las sales solubles se acumularon mayormente en la superficie 5 mm de profundidad donde la salinidad se incrementó a 20 dS/m en cuatro días cuando se regó a 4.3 dS/m. Una significancia en la reducción de emergencia ocurrió en el experimento tres cuando la salinidad de la arena localizada en la superficie excedió 17 dS/m. La reducción de emergencia observada a una profundidad de siembra de tres mm fue probablemente debido a la reducción en germinación de semilla, mientras que las profundidades de siembra de 10 mm o más la emergencia pareció ser limitada por daños al hipocotilo por sal después de germinación. La alfalfa fue establecida con mínimo daño de agua salina arriba de 4 dS/m, cuando se sembró aproximadamente a 10 mm de profundidad.

Jame *et al.* (1984) en un estudio que hicieron sobre irrigación de alfalfa con agua salina durante ocho años en Saskatchewan, Canadá dicen: que si se maneja correctamente es seguro usar el agua residual salina sin afectar seriamente la producción de este cultivo.

Con el promedio de conductividad eléctrica de la corriente de agua residual mayor que 2.6 dS/m en sobrerriegos de 10 a 15 por ciento con conductividades

eléctricas a la normal aplicada, proveera suficiente agua para lavar el perfil y así mantener un balance de sales en la zona radical favorable para el crecimiento de la planta. Con esta cantidad aplicada se espera que en los suelos bien drenados el nivel de salinidad en la capa superior de la zona radical se aproximara la conductividad eléctrica a 2.5 dS/m, y se incrementara con la profundidad con un valor aproximadamente entre 4 y 6 dS/m en la parte inferior de la zona radical, con la salinidad en este nivel es posible mantener la producción mayor de 85 por ciento comparada con los suelos no salinos, cuando los nutrimentos no son limitados por el crecimiento. Cantidades más altas aplicadas no son recomendadas ya que reducirían la productividad por unidad de agua aplicada, incrementando el riesgo de lixiviación química potencialmente dañina en el agua subterránea. Este estudio también presentó que las sales se acumulan más fácilmente en la zona radical y causan problemas serios de salinidad en presencia de nivel freático alto comparandolo con suelos bien drenados.

Papadopoulus y Rendiq (1982) realizaron un estudio con tomate en invernadero para determinar los efectos de salinidad en crecimiento y rendimiento. Las plantas crecieron en suelos de uso regular en cuatro envases de compartimientos permitiendo división de los sistemas radicales. Las soluciones nutritivas salinas se hicieron con NaCl y CaCl₂ a conductividades eléctricas de 1,2,3,4 y

5 dS/m (dS/m = mmhos/cm, referenciado a 25° C) que fueron aplicados dos veces en un día en el sistema radical sin dividir. En los casos de separar raíz, cada uno de los cuatro compartimientos fue regado con soluciones de diferente C.E: después los contenidos regulares fueron regados con una solución nutritiva salinizada a un nivel equivalente a la media de los valores de las soluciones usadas para regar las cuatro unidades de compartimiento. Las soluciones nutritivas fueron recicladas a través de los contenidos, así que la respuesta de las plantas se sujetó a incrementar la salinidad arriba de 35 dS/m que sería evaluado. Con incrementos de salinidad el peso de la fruta fresca decreció marcadamente, con menor decremento en pesos disparados en ambos sistemas. Las plantas con su sistema radical dividido y crecimiento en envases con suelos diferencialmente salinizados fueron menos afectadas. El rendimiento y crecimiento correlacionaron mejor con la conductividad eléctrica inicial (C.E in) de las soluciones nutritivas aplicadas, que con los valores de las soluciones extraídas para el suelo.

Las raíces fueron menos sensitivas a la salinidad de la zona radical que en las partes superiores. En el sistema radical dividido, una reducción en el crecimiento de raíz en los recipientes con altos niveles de salinidad fue compensado por más crecimiento de esas porciones del sistema radical en el ambiente menos salino. Durante la

ultima parte del crecimiento, los niveles de salinidad de la solución del suelo fueron generalmente más grandes en los suelos en los que las plantas crecieron en los sistemas radicales no divididos que en suelos con sistema radical dividido.

Hamed y Troeh (1981) cuantificaron el proceso de salinización y relación de la profundidad del suelo, cultivo y fluctuación de la tabla de agua. Tal información ha sido necesaria. Los datos fueron reunidos por medición hacia arriba del movimiento del agua y sal del agua subterránea simulada. El trabajo se hizo con 30 cm² de columnas de suelo y 50 y 75 cm de alto siendo suspendidas en bandejas de agua subterránea artificial. El experimento fue ubicado en un invernadero creando un ambiente árido. El pasto sudán creció en medio de las columnas y las otras fueron barbechadas o limpiadas. El consumo de agua fue incrementado por la más baja profundidad de agua subterránea, por la menor salinidad de esta agua (C.E de 4 mmhos/cm Vs 11) y por la presencia de un cultivo. El cultivo tuvo poco efecto en la concentración de sal en la superficie húmeda de las columnas de 50 centímetros, pero redujo la acumulación de sal al ya más seco y menos superficie salina de las columnas mas altas. La acumulación de sal en la zona radical fue incrementada por la presencia de un cultivo.

Miyamoto (1985) en un trabajo efectuado para evaluar los efectos de salinidad en germinación, emergencia y mortalidad de plántula en cebolla obtuvieron los siguientes resultados en germinación: cuando se sembró en una solución de 0.8 dS/m todos los cultivares probados empezaron a germinar de 2 a 3 días, lográndose un 90 por ciento de germinación en 5 días. La semilla Ring Master tuvo la más alta germinación cuando se midió a los tres días. La germinación de la semilla se hizo lenta con incrementos de salinidad en 20 dS/m por muestra; de siete a nueve días tuvieron que transcurrir para que se realizara un 80 por ciento de germinación. El Análisis de Varianza reveló una significancia, pero no alta diferencia en germinación entre los cultivares, cinco días después de la siembra.

La emergencia de la plántula en la textura de arena miqajonosa empezó de seis a siete días después de la siembra, cuando se regó con solución de 0.8 y 2.8 dS/m.

El riego con solución de más alta salinidad demoró la primera emergencia sobre los 4 días, continuó creciendo hasta alcanzar uniformidad a los 10 días donde se presentó una clorosis. Cuando la salinidad del agua de riego excedió los 4.9 dS/m la emergencia ocurrió a los 21 días después de la siembra.

La emergencia de plántulas en parcelas con arena miqajonosa se inició primero con Ring Master en seis días, seguido por Ben Shemar y grano Amarillo en ocho días; dos días después el Placement; el cultivar que más rápido emergió tuvo un alcance de 50 por ciento en lo más bajo y 10 por ciento en lo más salino.

Una significancia en reducción en el período final de emergencia (tomó 21 días después de la siembra) ocurrió en arena salina con rangos de 28 a 35 dS/m dependiendo de los cultivares. El período de emergencia de Ben Shemar y Grano Amarillo fue significativamente más alto que otros cultivares.

Miyamoto *et al.* (1983) realizaron un trabajo para evaluar el efecto de las sales en emergencia y mortandad de plántula en quayule. Esto se efectuó en cajas petri con concentraciones salinas de 22 dS/m, en suelos arenosos bien irrigados la emergencia se redujo hasta 10 por ciento con agua de una concentración de sales de 4.5 dS/m en parcelas de campo irrigadas dos veces al día. La mortandad de la semilla disminuyó cuando se regó con agua destilada o agua baja en sales, pero se incrementó con el aumento de la salinidad. La emergencia y porcentaje de supervivencia de plántula fueron altamente correlacionadas ($r=-0.94$) con la salinidad de muestras de suelo de la superficie (0 a 1 cm de profundidad). Las sales se introdujeron a través del

•
agua de riego acumulada principalmente en la superficie con concentraciones de 4 a 22 dS/m en extractos de saturación de suelo. Concentraciones de sal en profundidad de siembra (0.5 a 0.8 cm) fue sin embargo, bastante baja para permitir la germinación. La baja emergencia y mortalidad de plántula se observó en apariencia en hipocotilo y daños en semilla por acumulación de sales en la superficie del suelo. Tal daño puede ocurrir en suelos clasificados como no salinos cuando se riegan con aguas conteniendo sales tan bajas como un dS/m.

Modelos en Salinidad y Drenaje

Maas y Hoffman (1977) en un estudio realizado encontraron que los cultivos toleran una salinidad arriba de un nivel límite, después del cual el rendimiento disminuye casi linealmente con respecto al incremento de la concentración de sales. En este trabajo se presentó la mejor estimación del nivel límite de salinidad y la disminución del rendimiento por incremento unitario de salinidad, para un número grande de cultivos agrícolas. Se obtuvo la siguiente ecuación $Y = 100 - B(CEe - A)$, en donde A es el límite de salinidad en milimhos y B es el porcentaje de disminución del rendimiento por incremento unitario de salinidad. Se examinaron los métodos apropiados de medición de la salinidad y los parámetros de la planta

para así obtener datos significativos de tolerancia a las sales sobre muchas plantas.

Gates y Grismer (1989) desarrollaron un modelo de simulación el cual considera, para un mejor procedimiento, la salinidad y el comportamiento de la tabla de agua superficial en regiones afectadas por salinidad en agricultura de riego. Los procesos incluyeron agua y balance de sales en la zona radical, considerando flujo hacia arriba de agua y sal en un acuífero no confinado, drenaje artificial subterráneo, profundidad de la tabla de agua y efectos de salinidad en la zona radical sobre el rendimiento del cultivo con costos económicos y considerando la relación beneficio costo de los cultivos regionales; adicionando elementos regionales de variabilidad estocástica en la aplicación de la irrigación, rendimiento de cultivo, parámetros físicos que afectan la respuesta de la tabla de agua que fue incorporada al modelo.

El modelo puede ser usado para desarrollar irrigación óptimamente económica y estrategias de drenaje para un periodo largo de manejo regional. El Oeste del Valle de San Joaquín en California representa un sistema de condiciones que considera la irrigación del suelo, tabla de agua, sistema de drenaje como un todo, así pues indica los méritos del modelo, en considerar decisiones con un

conjunto de estrategias y alternativas para su posible implementación en un proyecto regional.

El efecto más grande en expectativas regionales que se pueden esperar, es en los parámetros físicos de relación beneficio costo incluyendo también aplicación del riego, variabilidad de la conductividad hidráulica regional y salinidad en la disolución dentro de la zona radicular.

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que en el desarrollo continuo de modelos manejados estocásticamente se considere sustancialmente hacer énfasis en las decisiones para manejo de investigación en un medio complejo.

En un trabajo efectuado por Chang et al. (1987) para determinar salinidad en suelos con diferente contenido de arena e irrigados encontraron que: para los primeros estratos de profundidad muestreados (0-15, 15-30 cm) el contenido de arena en el área estudiada 20X25 m fue distribuida aleatoriamente. Sin embargo, el contenido de arena en los dos primeros intervalos de profundidad y la conductividad eléctrica en todos los intervalos fueron relativamente espaciados. Aunque los conceptos de Geoestadística y Kriging son complejos en teoría, su aplicación puede ser relativamente simple y usual como se demostró en este estudio.

En el análisis estadístico para Conductividad Eléctrica (C.E) del suelo, la media de ésta decreció con la profundidad, pero el coeficiente de variación de C.E permaneció constante. La máxima variación de C.E fue 20.48 dS/m en la profundidad 15 a 30 cm y una mínima de 12.41 dS/m de 60 a 90 cm. La diferencia en C.E entre el valor máximo y mínimo en cada intervalo de profundidad fue grande; la diferencia más pequeña de 12.88 dS/m fue de los 60 a 90 cm de profundidad. El valor del coeficiente de variación de la C.E fue similar a las profundidades y el valor alto fue de 90 a 120 cm de profundidad.

La prueba de normalidad indica que la C.E fue normalmente distribuida en cada intervalo de profundidad. La C.E del suelo en una profundidad dada fue altamente correlacionada a la C.E del suelo del estrato inferior. Los coeficientes de correlación entre los intervalos de profundidad en general decrecieron.

Los semivariogramas para conductividad eléctrica en varios intervalos de profundidad son similares a los semivariogramas de los contenidos de arena en el estrato 0-15 cm de profundidad. En todas las profundidades la variación de la conductividad eléctrica tuvo una tendencia regional con variación local isotrópica. Todos los semivariogramas para C.E fueron ajustados a una línea con un modelo umbral, donde el valor umbral fue forzado a ser

igual a la varianza general para cada intervalo de profundidad. El rango de los semivariogramas estuvo entre 7.15 y 10.6 dS/m y se incrementó con aumentos de profundidad por debajo del primer intervalo. La porción de valor fue de 1.35, 6.62, 3.91, 1.65 y 3.18 dS/m para intervalos de profundidad de 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 y 90-120 respectivamente con el más alto valor ocurrido en la segunda profundidad. Los datos de C.E fueron interpolados por los métodos: Ordinario y Kriging Universal. En el mapa de conductividad eléctrica para el intervalo de profundidad de 0-15 cm del el área estudiada fue casi idéntica. Estos mapas tuvieron una diferencia de 2 dS/m entre líneas de contorno, indicando que los contenidos de sal soluble del suelo no fue uniformemente distribuida por toda el área de la parcela (20X25 m). Los modelos de los mapas de contorno de conductividad eléctrica en los otros intervalos de profundidad fueron similares, pero los valores de C.E fueron más pequeños en magnitud que los de la superficie.

En un trabajo realizado por Ravelo et al. (1981) sobre la incorporación de las necesidades del cultivo al diseño del sistema de drenaje, se llevaron a cabo los siguientes pasos: primero, fue desarrollado un modelo de respuesta del cultivo, basado en el concepto de Índice de Stress Diario obtenido por investigadores en el área de drenaje a fin de continuar trabajando. El índice de Stress Diario es el producto de un factor de stress diario (SDd) y

un factor de susceptibilidad del cultivo (CSd). Segundo, el SDD fue caracterizado, como el área bajo el actual hidrograma de tabla de agua cercano de algún nivel crítico de la tabla de agua; CSd fue caracterizado como está dado en la siguiente ecuación: $CSd = (X_o - X_i) / X_o$, donde X_o es el rendimiento de la tabla de agua de un tratamiento de control, y X_i es el rendimiento en el tratamiento que fue sujeto a deficit solamente durante la i -ésima estación de crecimiento. En seguida el modelo de respuesta del cultivo fue incorporado a otro modelo de manejo de agua. Luego fue desarrollada una metodología de diseño a través del análisis de frecuencia de simulación de resultados para el modelo de manejo modificado de agua. Finalmente, fue dado un procedimiento, para usar el resultado del diseño gráfico diario de sistemas de drenaje agrícola. El acercamiento sobre todo provee un método racional para incorporar necesidades del cultivo a un diseño de sistemas de drenaje.

Van der Tak y Grismer (1986) en una evaluación de campo sobre el impacto del agrietamiento de los suelos en irrigación, drenaje y salinidad de los mismos, que fue conducido en un suelo de arcillas friables en el Valle Imperial de California, identificaron que el movimiento del agua dentro de las grietas del suelo controlan la aplicación uniforme del agua, el humedecimiento del perfil del suelo, lavado de sales y respuesta del sistema de drenaje a la irrigación. De las observaciones en la

trayectoria de avance lineal del límite del campo irrigado, el volumen de grietas fue estimado como 1600 metros cúbicos por hectárea. La máxima penetración del contenido de agua fue de 0.7 metros. La respuesta del drenaje a la aplicación del agua ocurrió durante el evento de irriación despreciando la permeabilidad extremadamente baja del suelo. La salinidad del suelo excedió la salinidad del agua del dren implicando ocurrencia de mínimo lavado.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Sitio Experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el Ciclo Temprano 1989-90, en el lote No. 12868, propiedad del Sr. Fernando Burquete Rovira, ubicado en las brechas E-119,120 y N-15,16 del área de riego del Distrito de Desarrollo Rural III del Municipio de Rio Bravo Tam. (Figura 3.1). Siendo su localización geográfica, Latitud $26^{\circ} 00' N$ y Longitud $98^{\circ} 30' W$; con una altitud de 22 metros sobre el nivel medio del mar.

Características Climáticas de la Región

El clima del norte de Tamaulipas según el sistema de clasificación de Koppen, modificado por Garcia (1981) se considera BSh, seco estepario con precipitaciones en verano igual a 70 por ciento de la media anual, recibida en los seis meses más calientes, con temperatura media anual mayor de $18^{\circ} C$.

La temperatura media anual es de $24^{\circ} C$, con máximas de $40^{\circ} C$ de Mayo a Agosto. La precipitación promedio anual

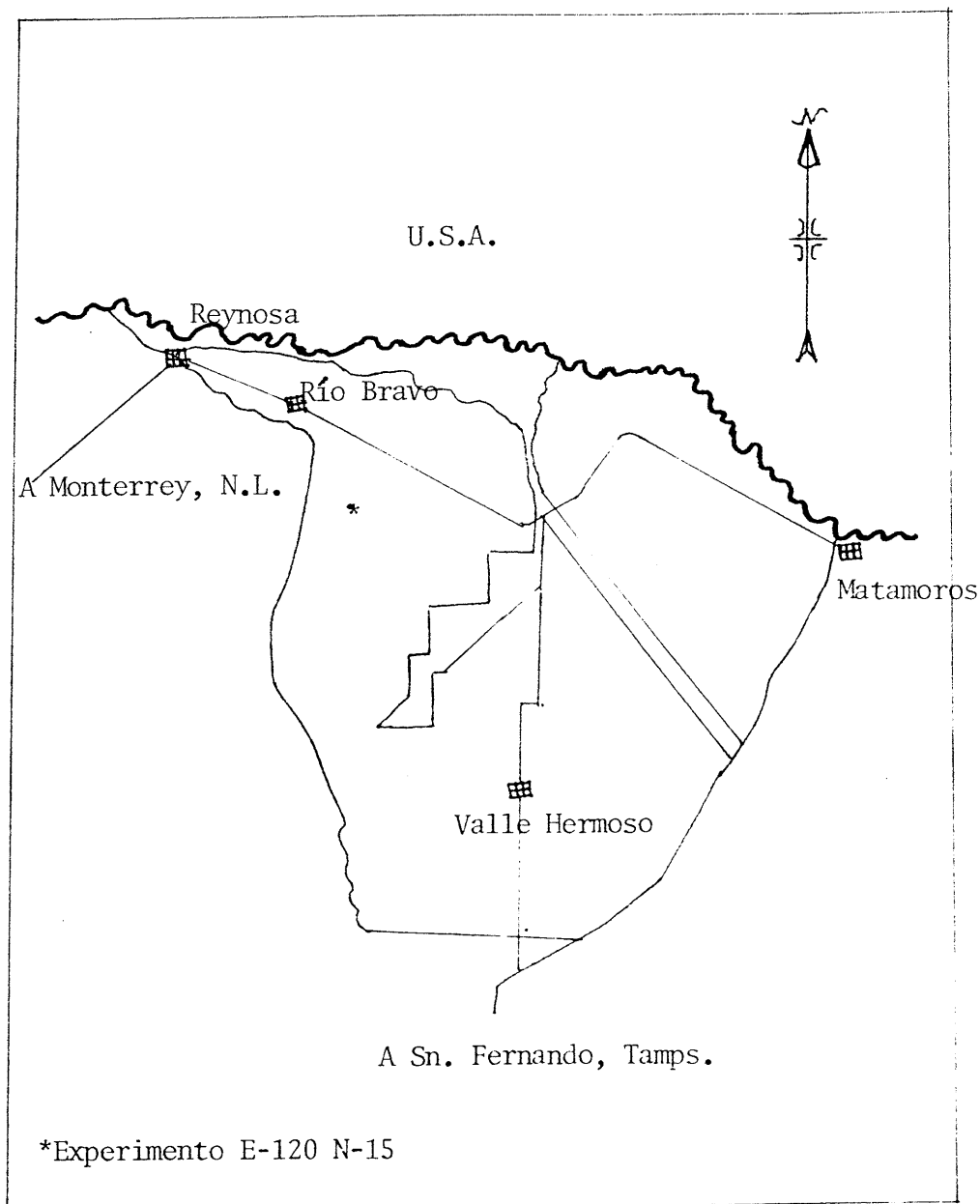


Figura 3.1. Ubicación del sitio experimental en la región de Río Bravo, Tamaulipas.

es de 650 mm siendo los meses más lluviosos Mayo y Septiembre con 51 y 91 mm respectivamente y una humedad relativa de 65 por ciento.

Características de los Suelos de la Región

Los suelos existentes en el Norte de Tamaulipas están distribuidos de la siguiente manera: 70 por ciento de arcillas, 29 por ciento de francos o miqajones y uno por ciento de arenas finas; con la predominancia de arcillas se dificulta el manejo de éstos y su conservación. También hay que considerar que dicha región se encuentra dentro de la planicie costera del Golfo que se extiende desde las proximidades de Nueva York E.U.A. hasta la desembocadura del Río Soto la Marina, donde la pendiente natural del terreno es muy pobre (0 a 0.5 por ciento), esto propicia que se tenga un drenaje natural de los suelos deficiente creando consiqo la formación de áreas con problemas de sales, principalmente en las partes bajas, acumulándose éstas en la superficie del suelo.

De acuerdo a la información recabada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) de esa región, se ha levantado la información referente a Salinidad Aparente en base al cultivo, realizada antes de iniciar la cosecha en cada ciclo de cultivo. (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Variación de la superficie afectada por salinidad aparente en grado medio y fuerte en el Área de riego del Distrito de Desarrollo Rural III Control, Tamaulipas. (Tomado de Ingeniería de Riego y Drenaje, 1987)

ANO	SUPERF.(ha)	ANO	SUPERF.(ha)
1976	24699	1982	19286
1977	22442	1983	16248
1978	21823	1984	18482
1979	24337	1985	15359
1980	24249	1986	14944
1981	22515	1987	11683

Características de los Mantos Freáticos

La superficie que presenta mantos freáticos superficiales (0 - 1.50 m de profundidad) varía en el orden de 10 000 a 50 000 ha en estiaje y aplicación de riego y lluvia respectivamente: este segundo caso hace que el sistema de drenaje del Distrito sea insuficiente y se agrave dicho problema. Considerando también que el área de riego tiene una salinidad promedio en el manto freático que varía de 5000 hasta 30000 micromhos/cm a una profundidad de 1.50 m. El Centro de Desarrollo Rural con más baja salinidad es Río Bravo, incrementándose para Valle Hermoso, Control y Matamoros.

En el tiempo que coinciden los eventos riego-lluvia el problema se incrementa y se crean períodos largos de anegamiento ocasionando clorosis y posteriormente muerte de la planta en su ciclo vegetativo (Cuadro 3.2 y Figura A.2).

Cuadro 3.2. Distribución de la precipitación y variación del área afectada por mantos freáticos superficiales en el Ciclo Otoño-Invierno 1989-90 en el Distrito de Desarrollo Rural III, Control, Tamaulipas. (Fuente: Campo Experimental de Río Bravo e Ingeniería de Riego y Drenaje, 1990)

MES	P.P.(mm)	SUP.M.F < 1.50 m. PROF.(ha)	
ENERO	20	22600	*RIEGOS
FEBRERO	54	20750	
MARZO	12	11773	
ABRIL	40	20930	
MAYO	51	43042	*RIEGOS
JUNIO	0	26253	*RIEGOS
JULIO	32	36700	
AGOSTO	58	2580	
SEPTIEMBRE	91	6950	

En la actualidad se tienen 2426 kilómetros de drenes construidos a cielo abierto en dicho distrito, con una profundidad promedio de 2.8 m a fin de mantener el nivel freático por debajo de 1.5 m de profundidad. A pesar de esto, existen áreas que presentan enlaqueamiento de tres o más días creando áreas de gran siniestro (Cuadro 3.3. y Figura A.3).

Cuadro 3.3. Variación de la superficie en el Distrito de Desarrollo Rural III Control, con problemas de drenaje superficial. (Tomado de Ingeniería de Riego y Drenaje, 1987).

ANO	SUPERF.(ha)	ANO	SUPERF.(ha)
1976	29138	1982	2362
1977	3444	1983	2039
1978	2862	1984	2335
1979	2950	1985	2108
1980	3469	1986	1978
1981	2770	1987	1981

Salinidad del Agua en Canales.

La salinidad promedio del agua en los canales de riego es de 1300 micromhos/cm desde la presa hasta la red de distribución. Normalmente se incrementa muy poco el contenido de sales a través de su recorrido general. Esta agua es clasificada como altamente salina y con bajo contenido de sodio (C3S1); su uso es permisible en riego, si se tiene buen drenaje, además la relación de adsorción de sodio (RAS) es clase baja (menor de 3 me/l), un porcentaje de sodio posible (PSP) menor de 50 por ciento considerándose buena para riego y con carbonato de sodio residual (CSR) de cero me/l, características que le favorecen (Fuente: Manual 5. Manejo de Tierras de Riego. Patronato para la Investigación Fomento y Sanidad Vegetal. PIFSV, 1987).

En cada lámina de 10 cm que se aplica se aporta al suelo aproximadamente 892 Kq/ha de sales, de éstas 340 Kq corresponden a sulfatos de calcio (CaSO_4); 300 kilogramos, a cloruros de sodio (NaCl), 244 Kq a bicarbonatos de sodio, potasio, calcio y magnesio, y 8 Kq a sales de potasio solubles.

Salinidad del Agua en Drenes

La salinidad promedio de los drenes en el área de riego es de 4.26 dS/m, pero en áreas afectadas por salinidad las aguas de los drenes llegan a tener conductividades eléctricas superiores a 14.00 dS/m (PIFSV, 1987).

Metodología del Trabajo

Después de haber hecho un recorrido por el área se seleccionó el predio antes mencionado, ya que presentaba condiciones contrastantes en cuanto a desarrollo del cultivo de sorgo, este trabajo se realizó en el ciclo temprano Otoño-Invierno 1989-1990 con el híbrido de sorgo Pioneer 8239; las labores de preparación, siembra y cosecha se realizaron como lo hace el productor (Cuadro 3.4.).

Características del Pioneer 8239

- a). Panoja Semicompacta.
- b). Buena uniformidad.
- c). Ciclo Tardío.
- d). Altura de planta 120 a 130 cm.
- e). Días a floración 72 a 76 días.
- f). Días a cosecha 116 a 122 días.

Cuadro 3.4. Labores de preparación, siembra y postsiembra del cultivo de sorgo en el lote experimental. Ciclo.0-I 1989-90. Río Bravo, Tam.

ACTIVIDAD	FECHA
Desvare	16 Septiembre 1989
Rastreo	18 Septiembre 1989
Fertilización (Fósforo)	20 Septiembre 1989
Subsoleo	29 Septiembre 1989
Cruza	20 Noviembre 1989
Bordeo	28 Noviembre 1989
Melqueo	15 Enero 1990
Const. de Regaderas	17 Enero 1990
1er.Riego (Presiembra)	20 Enero 1990
Siembra	5 Febrero 1990
Tumba de bordo	5 Marzo 1990
Escarda (1a.)	20 Marzo 1990
Escarda (2a)	30 Marzo 1990
Fertilización en Planta	7 Abril 1990
1er.Riego Auxilio	2 Mayo 1990
2o. Riego de Auxilio	28 Mayo 1990
Cosecha	28 Junio 1990

Conducción del Experimento

Para el establecimiento del trabajo se localizaron los puntos de muestreo para los diferentes niveles de salinidad, ésto se realizó cuando el cultivo empezaba a manifestar el daño por este factor utilizando el conductivímetro portátil, apoyandose con una técnica de campo desarrollada por Pissani (1989), que consistió en tomar una muestra de suelo seco de aproximadamente 50 mililitros y depositarlos en una probeta de litro, aforar a 300 mililitros con agua destilada y luego someterla a agitación durante tres minutos para posteriormente con un conductivímetro portátil determinar la conductividad eléctrica. De este muestreo se extrajeron 12 muestras

basándose en la apariencia del cultivo y del suelo, las profundidades de muestreo fueron 0-15 y 15-30 cm, estos niveles se corroboraron con los análisis de laboratorio; se perforaron dos pozos a una profundidad mas allá del nivel freático, tomándose una muestra de agua de dicho manto freático, esto se realizó al momento de establecer el experimento y en cosecha (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Características de los pozos de observación, y manto freático del mismo en el Experimento. Ciclo Otoño-Invierno 1989-90

	POZO 1	POZO 2	POZO 1	POZO 2
	INICIO DEL EXPERIMENTO		A LA COSECHA DEL EXP.	
PROF.(cm)	171.0	160.0	171.0	160.0
PROF.N.F (cm)	81.5	82.0	104.0	95.0
C.ELEC. (dS/m)	14.2	8.8	12.3	12.4

En cada uno de estos pozos se realizó una prueba de conductividad hidráulica en el sitio experimental utilizando el método del agujero de barrena.

Para fijar niveles definitivos se analizaron las muestras y promediaron los resultados obtenidos al establecer y cosechar el experimento, en el laboratorio de Calidad de Aguas y Rehabilitación de Suelos del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Al momento de establecer el experimento se tomaron datos fenológicos del cultivo en los niveles preliminares de salinidad encontrados con el conductivímetro portátil, pero reafirmados en el laboratorio. Los datos recolectados en ese tiempo fueron: número de hojas del cultivo considerando también las hojas basales secas, sin incluir la hoja líder de crecimiento. La altura de planta y el número de hojas se hizo en base a consultas previas con los investigadores en sorgo del Campo Experimental de Río Bravo (CERIB); esto se hizo para no caer en errores que nos enmascararan los resultados. En estas observaciones son las que la salinidad impacta grandemente y nos ubicó con gran aproximación en los puntos de salinidad que se deseaban tener.

Cosecha del Experimento

La etapa de madurez fisiológica se alcanzó aproximadamente al tener el grano de sorgo 18 por ciento de humedad, procediéndose a tomar nuevamente 12 muestras de suelo de los seis sitios que se habían establecido al inicio del experimento en los mismos estratos del perfil del suelo y teniendo precaución al cosechar el sitio o nivel de interés en salinidad, para esto se cosecharon las plantas que equivalían a un metro cuadrado sobre la hilera del surco en cada nivel establecido previamente. Se midió altura de plantas cosechadas en cada sitio muestreado, así

cómo número de plantas, número de panojas, peso de panoja y peso de grano.

Análisis de Regresión y Correlación

Después de tener los datos de cosecha y algunos componentes de rendimiento, se tomaron los resultados de laboratorio (Cationes, Aniones, Cond. Eléctrica y Ph) y se efectuó una serie de regresiones lineales simples para ver el comportamiento que presentaban las variables involucradas. El objetivo fundamental de este trabajo fue crear un modelo de regresión lineal entre conductividad eléctrica y rendimiento, ya que algunos autores, afirman que es la tendencia que manifiesta la salinidad del suelo sobre el rendimiento.

Análisis Económico

Pensando en que este trabajo tuviera utilidad práctica sobre los productores de la región en estudio, se hizo un análisis económico, llevando hasta la relación beneficio-costos (B/C) para cada uno de los niveles de salinidad encontrados; para esto se obtuvieron los costos de cada uno de las labores e insumos efectuados y aplicados respectivamente por el productor cooperante, determinando los costos específicos para ese predio, después con el valor de la producción en cada nivel o punto de salinidad

muestreado, se obtuvo la relación (Valor de la producción/Costos de producción) = (D/C).

Con esta información nos lleva a diagnosticar si es rentable establecer el cultivo de sorgo en áreas que presentan cierto grado de salinidad bajo las condiciones presentes en este trabajo.

BANCO DE TESIS

U.A.A.A.N.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características Químicas del Suelo

Las muestras de suelo analizadas obtenidas de los sitios de interés muestreados reportan que se trata de un suelo arcilloso en los dos estratos muestreados (0-15 y 15-30 cm). En cuanto a Conductividad eléctrica se tuvieron seis puntos de muestreo que van desde ligeramente salinos (3.29 dS/m), hasta altamente salinos (9.80 dS/m), en estos suelos según el Manual 60, prosperan todos los cultivos en el valor más bajo y ningún cultivo prospera en el valor más alto. (1 dS/m = 1 mmhos/cm)

Con respecto al pH, va desde ligeramente alcalino, hasta medianamente alcalino. Con los resultados de análisis encontradas para cationes en los suelos, se puede decir lo siguiente (Cuadros 4.1 y 4.2); el Calcio se encuentra en grado pobre hasta rico, considerándose desde 585 Kq/ha en el nivel más bajo y 2800 Kq/ha en el nivel más alto. El magnesio se considera en su clasificación que va desde rico hasta muy rico con cantidades de 265 hasta 1436 Kq/ha respectivamente. En el caso del potasio se encontró clasificado desde medio hasta rico en un rango respectivo de 202 a 421 Kq/ha. En las muestras que se extrajeron al establecimiento del experimento se puede notar que las

Cuadro 4.1 Resultados del análisis químico de suelo al establecer el experimento.

No	IDENT.	PROF. (cm)	pH	COND.ELECT (dS/m)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ (me/l)	K ⁺	-CO ₃	-HCO ₃	-Cl	-SO ₄
1	N2	0-15	7.3	11.5	56.0	33.6	146.0	4.8	0.5	3.0	116.0	43.3
2	N2	15-30	7.4	9.0	39.2	25.2	143.4	2.3	0.3	4.0	75.0	47.1
3	N2R2	0-15	7.6	8.34	42.0	28.0	112.1	2.5	0.5	5.0	70.0	41.8
4	N2R2	15-30	7.7	8.76	36.4	28.0	140.8	2.5	0.3	4.0	72.5	47.4
5	N2R1	0-15	7.8	8.01	64.4	53.2	161.3	4.3	0.3	7.0	122.5	50.3
6	N2R1	15-30	7.6	7.55	26.6	28.0	117.3	3.0	0.5	4.0	55.0	46.0
7	N1	0-15	7.7	3.66	21.0	9.8	31.3	3.3	0.5	5.0	26.5	22.6
8	N1	15-30	7.4	5.14	30.8	16.8	139.1	2.8	0.5	4.0	31.0	40.9
9	N1R1	0-15	7.4	3.30	13.0	8.0	40.4	2.8	3.0	7.0	15.6	21.4
10	N1R1	15-30	7.2	4.35	15.0	9.0	44.3	2.5	5.0	6.0	23.4	29.4
11	N2R1	0-15	7.7	2.82	14.0	8.4	35.6	2.5	0.3	4.0	16.0	22.0
12	N1R2	15-30	7.6	3.48	18.2	9.8	128.2	3.3	0.3	5.0	21.0	27.0

Cuadro 4.2 Resultados de los análisis químicos del suelo al cosechar el experimento.

No.	IDENT.	PROF. (cm)	pH	COND.ELECT. (dS/m)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺ (me/l)	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
13	N1	0-15	7.34	5.33	24.0	15.0	62.6	2.5	3.0	5.0	28.5	46.0
14	N1	15-30	7.40	5.62	21.5	14.5	67.8	2.5	5.0	6.0	27.6	44.1
15	N1R1	0-15	7.60	4.81	22.4	19.6	130.4	3.0	0.5	5.0	43.5	27.6
16	N1R1	15-30	7.4	5.58	28.0	28.0	135.6	3.5	0.3	5.0	47.0	35.0
17	N1R2	0-15	7.58	3.44	15.0	7.0	39.1	3.0	2.0	6.0	18.4	27.6
18	N1R2	15-30	7.62	3.44	14.0	10.5	40.4	3.3	4.0	5.0	8.2	36.9
19	N2	0-15	7.33	9.35	25.0	25.0	156.5	2.8	5.0	5.0	66.2	49.0
20	N2	15-30	7.58	4.86	30.0	23.0	130.4	3.3	4.0	6.0	58.4	45.6
21	N2R1	0-15	7.53	7.32	21.0	15.0	114.7	3.5	5.0	5.0	44.1	50.0
22	N2R1	15-30	7.55	8.29	25.0	19.0	117.4	3.8	3.0	6.0	51.0	41.5
23	N2R2	0-15	7.54	8.16	25.0	21.0	121.7	3.5	2.0	6.0	56.1	47.0
24	N2R2	15-30	7.66	6.45	20.0	22.0	112.1	4.1	5.0	5.0	48.7	26.3

muestras numero 7,9 y 11 no presentan problemas de salinidad ni sodicidad y la muestra 10 es salina junto con el resto (Cuadro 4.1).

Al finalizar el experimento la clasificación de las muestras es la siguiente: las muestras 17 y 18 no presentan alto grado de salinidad ni sodicidad y el resto si presentan problemas de salinidad (Cuadro 4.2).

Para hacer más detallada la variación que existe de salinidad a lo ancho del predio y basándose en los análisis de laboratorio se procedió a realizar los planos de Isosalinidad en dS/m por estratos, al establecer y cosechar el experimento (Figuras A.4 a A.7) así como el plano de Conductividad eléctrica promedio a lo largo del ciclo del cultivo, detectandose que los sitios salinos dentro del cultivo están bien identificados, quedando ubicados los puntos altamente salinos hacia el este del predio y disminuyendo la salinidad hacia el Oeste, el cultivo tambien nos lo confirmó al establecer el experimento y observar los análisis químicos de suelo promedio (Figura 4.1 y Cuadro 4.3).

Las condiciones de salinidad que se presentaron en el trabajo dieron lugar a tener seis valores diferentes de conductividad eléctrica que iban desde 3.295 hasta 9.80 dS/m (Cuadro 4.4).

ISOSALINIDAD PROMEDIO

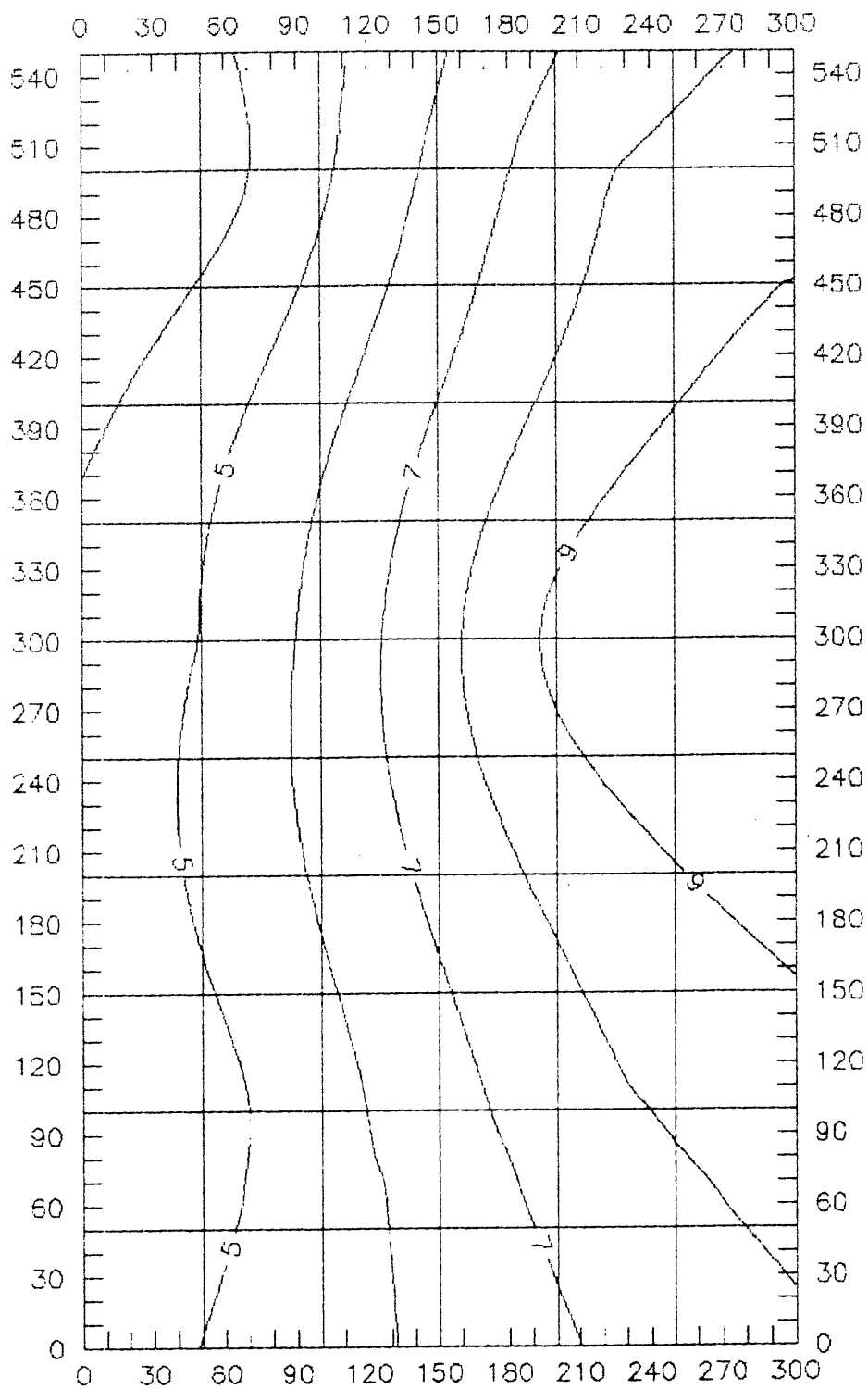


Figura 4.1. Plano de isosalinidad promedio del suelo en dC/m de 0-30 cm de profundidad del suelo, en el ciclo del cultivo.

Cuadro 4.3. Análisis químico promedio del suelo en los puntos muestreados en el ciclo del cultivo.

Nivel	Punto	C.E (dS/m)	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	-CO ₃	-HCO ₃	-Cl	-SO ₄
N1	1	4.97	7.70	41.4	29.4	144.7	3.55	0.4	3.5	95.75	45.20
N1R1	2	4.505	7.61	37.0	28.0	120.1	4.50	0.4	4.5	71.35	44.60
N1R2	3	4.225	7.70	45.5	40.6	139.3	3.65	0.4	5.5	89.75	48.15
N2	4	9.800	7.55	25.9	15.5	85.2	3.05	0.5	4.5	28.75	31.75
N2R1	5	7.802	7.35	14.0	8.5	42.3	2.65	0.4	6.5	19.50	25.40
N2R2	6	7.927	7.65	16.1	9.1	51.9	2.90	0.3	4.5	18.50	24.50

Cuadro 4.4. Niveles preliminares y finales en conductividad eléctrica de los suelos del sitio experimental en Río Bravo, Tam. Ciclo. Temp. 1989-90.

NIVEL	C.E CAMPO (dS/m)	C.E LABORATORIO (dS/m)
N1	2.3	4.937
N1R1	1.74	4.507
N1R2	2.01	3.295
N2	5.31	9.800
N2R1	5.10	7.802
N2R2	5.03	7.927

El método de campo utilizado para detectar los niveles de salinidad tuvo gran aproximación, considerando que ningún valor detectado se repitió, las muestras de los puntos de interés fueron analizadas con lo que se hizo el análisis de la información. En la etapa de establecimiento del trabajo se tomaron datos de altura de planta y número de hojas al cultivo (Cuadro 4.5), con esto se corrió una regresión lineal resultando la siguiente ecuación: $Y = 127.82 - 8.825(X)$, donde $X = \text{Cond. Eléctrica (dS/m)}$, $Y = \text{Alt. de Planta (cm)}$, era de esperarse un valor alto del coeficiente de determinación ($r^2=0.99$), ya que la altura de la planta fue el principal indicador para ubicar los puntos de muestreo.

Cuadro 4.5 Efecto de la salinidad en la etapa vegetativa al establecer el experimento en la región de Río Bravo, Tam.

NIVEL	C.E DETEC. (dS/m)	No. DE HOJAS	ALT. PLANTA(cm)
N1	4.40	6.2	35.9
N1R1	5.90	7.2	33.2
N1R2	3.15	6.0	33.7
N2	10.25	3.4	8.9
N2R1	7.78	4.0	10.6
N2R2	8.55	4.6	13.5

Calidad y Condición del Nivel Freático

Con respecto a la freatimetría y calidad del agua de la misma, se perforaron dos pozos mas allá del nivel freático, teniendo en el pozo uno un abatimiento desde el establecimiento del experimento a la cosecha de 22.5 cm y el pozo dos de 13 cm. Con respecto a la salinidad del agua freática se tuvo una variación en el pozo uno de 8.78 a 14.2 dS/m de establecido a la cosecha y en el pozo dos no hubo variación, considerado altamente salino (Cuadro 3.5). Se realizaron dos pruebas de Conductividad Hidráulica resultando para el pozo uno de 15.3 cm/día y el pozo dos de 2.10 cm/día, clasificándose como moderada y muy lenta respectivamente. Los datos de campo para estas pruebas se reportan en el Cuadro A.1.

Rendimiento de Grano con Respecto a Salinidad

El día 21 de Junio de 1990 se procedió a cosechar el experimento en cada uno de los sitios que se establecieron al inicio de éste, cosechándose las plantas sobre un surco equivalente a un m² de cultivo y tomando datos de altura final de estas en cada nivel detectado, esto se observa mejor en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4.6. Efecto de la salinidad en los componentes de rendimiento en sorgo pionner 8239 para la región de Río Bravo, Tamaulipas. Ciclo 0-I. 1989-90.

IDENTIF.	PROF.(cm)	COND. ELECT. (dS/m)	ELECT. REND. (Kq/ha)	No.PTAS. (m ²)	ALT.PTA. (cm)	
N1	0-15	3.66	5.33	4672.7	29	89.68
	15-30	5.14	5.62			
N1R1	0-15	7.46	4.81	6489.3	39	87.86
	15-30	4.35	5.58			
N1R2	0-15	2.82	3.44	4582.9	24	93.04
	15-30	3.48	3.44			
N2	0-15	11.5	9.35	00.0	1	44.0
	15-30	9.0	4.86			
N2R1	0-15	8.01	7.32	131.4	12	47.66
	15-30	7.55	8.29			
N2R2	0-15	8.34	8.16	1625.9	35	57.25
	15-30	8.76	6.45			

En el Cuadro 4.6, se observa que las variaciones de salinidad en cada uno de los sitios desde el inicio hasta el final del trabajo no fueron significativas, obteniéndose un promedio de éstos en los dos estratos.

Los rendimientos en grano de sorgo, panoja, así como el rendimiento relativo se aprecian en el Cuadro 4.7. para cada nivel de salinidad analizado promedio a lo largo del ciclo del cultivo. Los valores de rendimiento relativo (R.R) se obtuvieron en base a un rendimiento potencial de 7000 Kq/ha proporcionado por la Compañía Semillera Pionner.

Análisis de Regresión de Variables

Uno de los objetivos de este trabajo fue de obtener un modelo para predecir rendimiento en base al grado de salinidad, para ésto se elaboró un diagrama de dispersión y

Cuadro 4.7. Componentes de rendimiento encontrados en los niveles de salinidad en el cultivo de sorgo en la estación de Rio Bravo, Tam. ciclo temprano 1989-90.

NIVEL	No.	C.E.(ds/m)	ALT. PLANT.(cm)	P.PAN.(g)	P.G/PAN.(g)	RTD.(kg/ha)	R.R.(%)
N1	1	4.937	89.59	19.853	16.112	4672.7	66.75
N1R12	2	4.507	87.26	19.632	16.639	6489.3	92.70
N1R2	3	3.295	93.04	22.025	19.095	4582.9	65.47
N2	4	9.800	44.0	4.690	00.00	00.0	00.00
N2R1	5	7.802	47.66	5.271	1.095	131.4	1.87
N2R2	6	7.927	57.25	7.778	4.645	1625.9	23.22

C.E es Conductividad Eléctrica
 ALT.PTA. es Altura de planta
 P. PAN. es peso de panaja
 P. G/PAN. es peso de grano por panaja
 RTD. es Rendimiento
 R.R es Rendimiento Relativo

se obtuvo un modelo de las muestras obtenidas en el perfil 0-30 cm, el modelo obtenido fue el siguiente: $Y = 9108.075$

$970.76(X)$, con $r^2 = 0.004$, donde; X es Conductividad Eléctrica (dS/m) y, Y es Rendimiento en Kg/ha, y válido para el rango 3.29 a 9.80 dS/m (Figura 4.2). Implicando que con un 95 por ciento de seguridad el coeficiente de regresión va a variar entre los valores 306.60 y 1634.72 Kilogramos por cada dS/m de modificación en la salinidad del suelo. Este modelo se transformó y el rendimiento se expresó en Rendimiento relativo quedando el modelo de la siguiente forma: $Y = 130.1263 - 13.848(X)$ con $r^2 = 0.004$ donde X = Conductividad Eléctrica (dS/m)

Y = Rendimiento relativo en por ciento, el ajuste de la regresión se aprecia en la Figura 4.3, así como el diagrama de dispersión. El modelo obtenido aquí, coinciden grandemente con los que obtuvo Mass y Hoffman en 1977 para cultivos moderadamente tolerantes como es el caso del sorgo.

En el Manual 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) se hace mención que el sorgo con 10 dS/m hace decrecer el rendimiento potencial en 50 por ciento, clasificándose a este cultivo como medianamente tolerante, en nuestro caso este valor fue de 5.77 dS/m, considerando una profundidad del suelo de 0 a 30 cm y una fluctuación del manto freático entre 02 a 100 cm de profundidad durante el ciclo del cultivo.

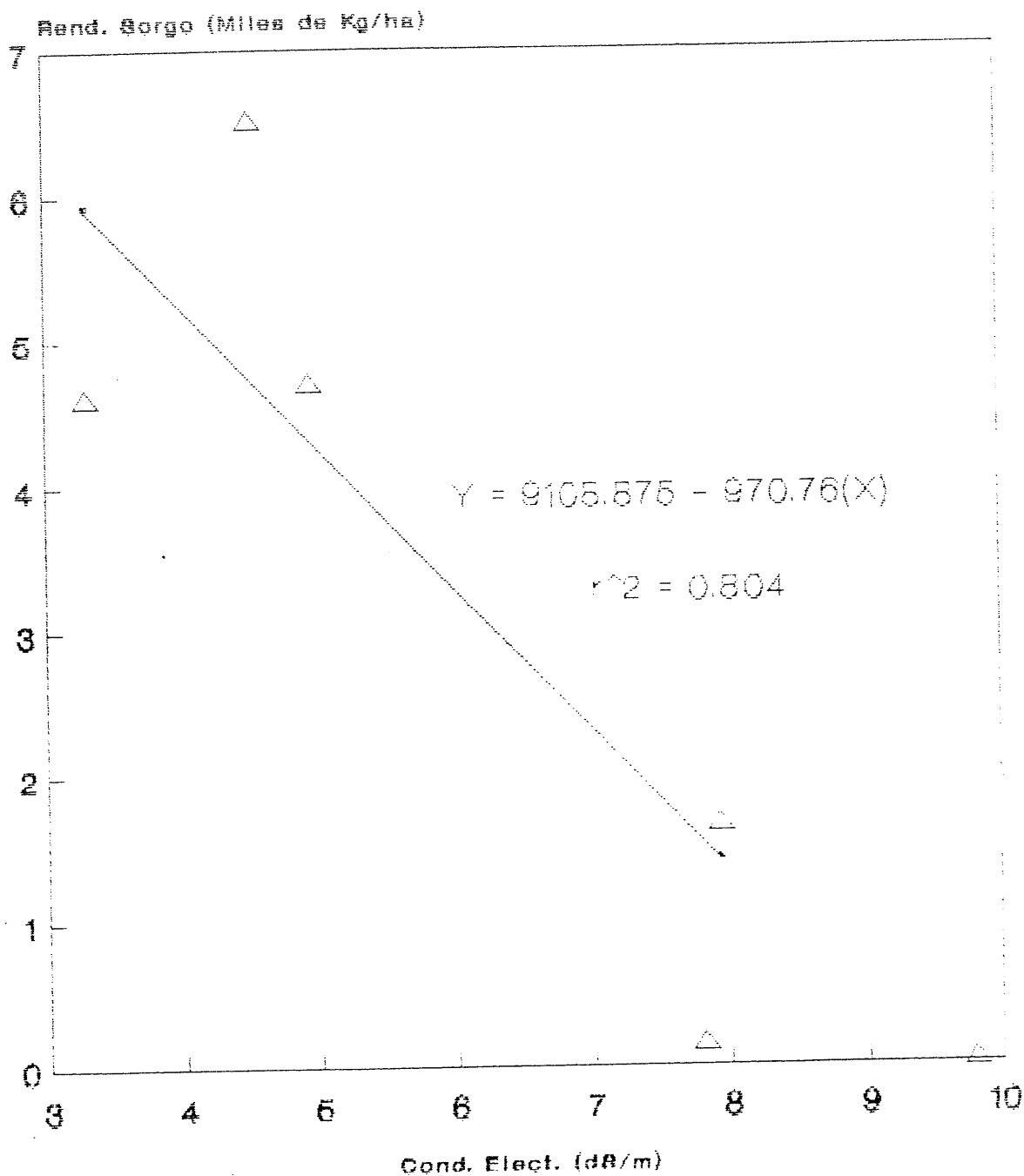


Figura 4.2. Diagrama de dispersión del promedio de conductividad eléctrica (dC/m) contra rendimiento (Kg/ha), así como la ecuación de ajuste de la recta en los sitios muestreados en la región de Río Bravo, Tam.

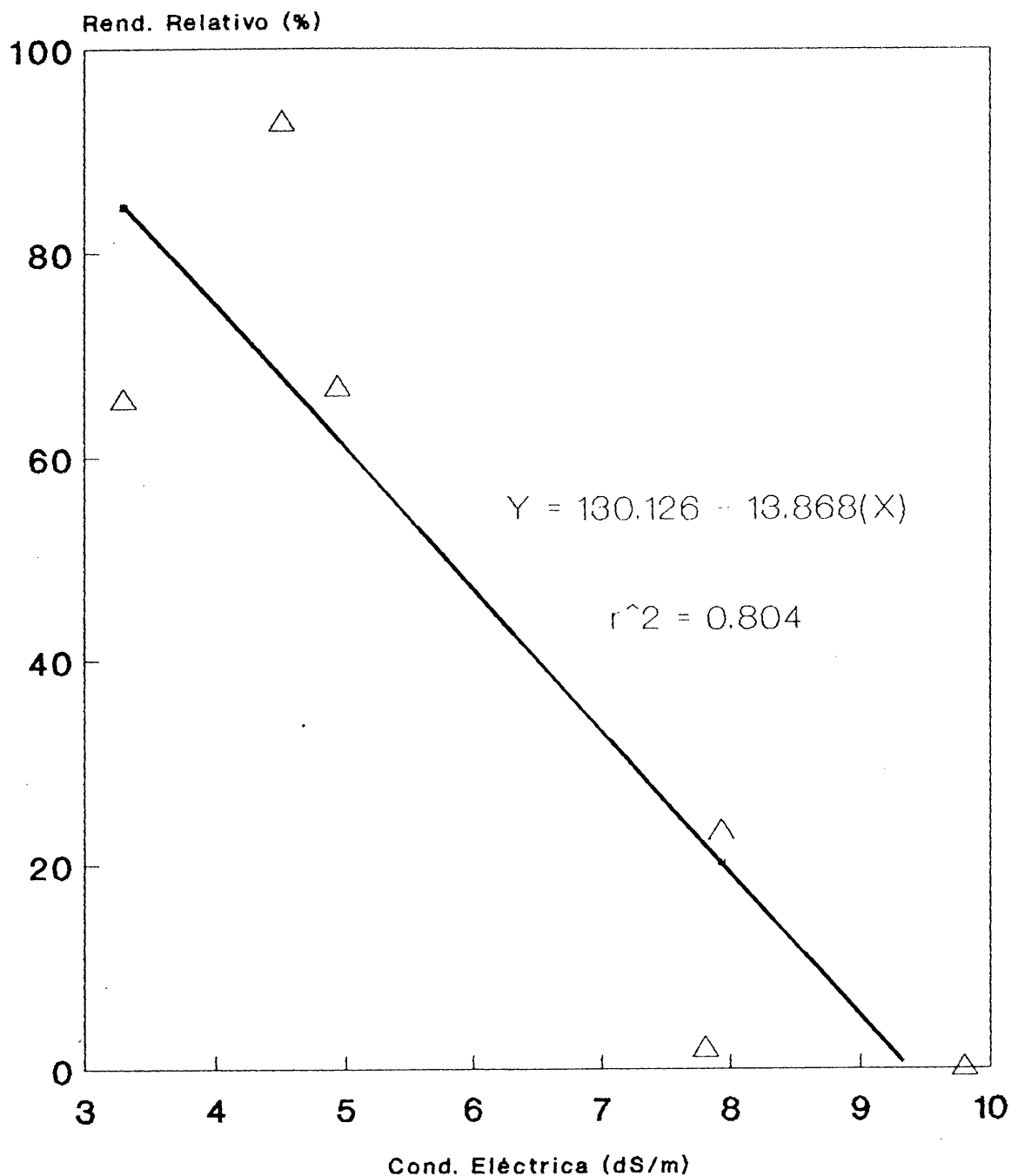


Figura 4.3. Rendimiento Relativo de sorgo de grano, en función con el incremento de salinidad promedio del suelo en los estratos 0-15 y 15-30 cm de profundidad.

También se corrieron las siguientes regresiones:

Conductividad Eléctrica (C.E), Contra Peso de Panoja resultando la ecuación $Y = 33.16 - 3.12(X)$ con r^2 de 0.964, donde X es Conductividad Eléctrica en $\mu S/m$, Y = Peso panoja (g). Conductividad Eléctrica, Contra Peso de Grano por Panoja obteniéndose la ecuación $Y = 30.745 - 3.346(X)$ con r^2 de 0.97, donde X es C.E en $\mu S/m$, Y es peso de grano por panoja en gramos, entre 3.29 a 9.80 $\mu S/m$ (Figura 4.4).

Otro modelo obtenido el de Conductividad Eléctrica, Contra Altura final de planta resultando: $Y = 125.77 - 0.757(X)$ con r^2 de 0.929, donde X es C.E en $\mu S/m$, Y es Altura de planta en cm (Figura 4.5). Como se puede observar la regresión que presentó más alto coeficiente de determinación ($r^2=0.97$) fue C.E y peso de grano por panoja, lo que indica que tuvo gran impacto la C.E en dicho parámetro: se pudo haber analizado la información con este dato, pero habría que asumir valores, implicando con esto alejarnos de la realidad.

La razón por la cual se utilizó un modelo lineal simple fue por lo que fundamentan y dicen Mass y Hoffman, 1977., en general el rendimiento no disminuye significativamente hasta en tanto no se haya excedido un límite permisible en el nivel de salinidad y que, ese rendimiento aproximadamente disminuye linealmente a medida que la salinidad aumenta más allá del límite permisible. Lo

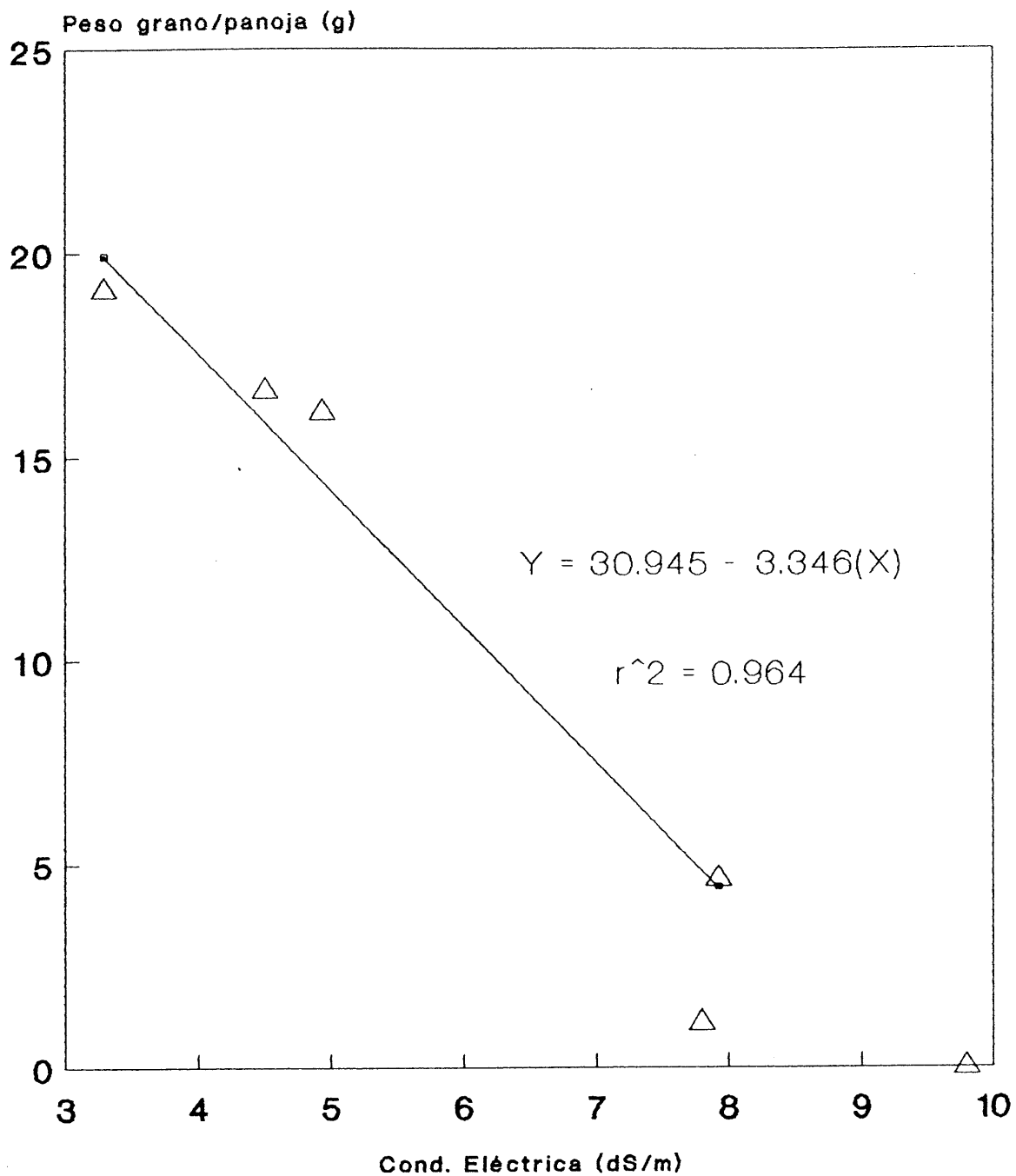


Figura 4.4. Peso de grano por panocha, en función con el incremento de salinidad promedio del suelo en los estratos 0-15 y 15-30 cm de profundidad.

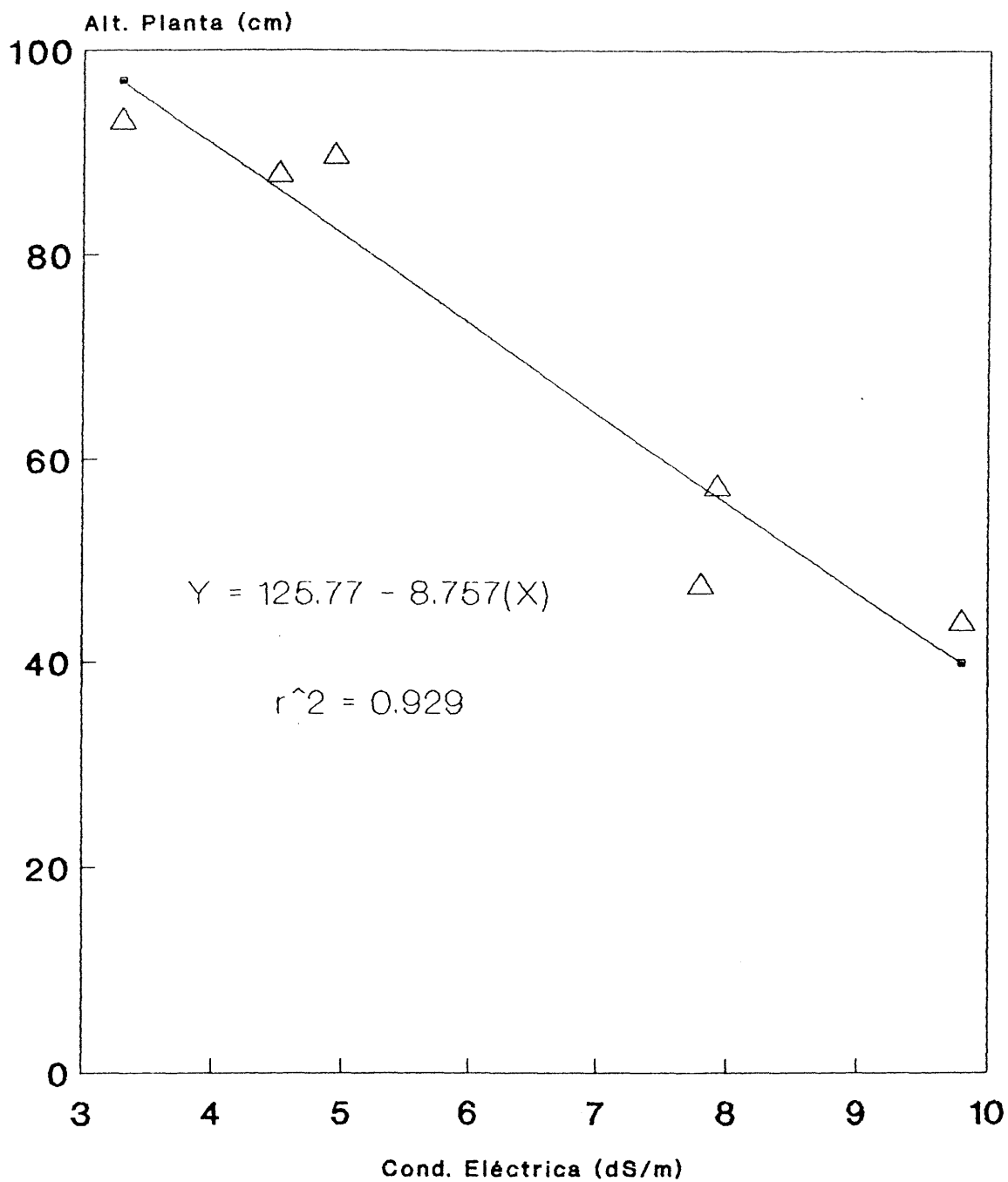


Figura 4.5. Altura de planta, en función con el incremento de salinidad promedio del suelo, en los estratos 0-15 y 15-30 cm de profundidad.

siguiente fue reafirmado al observar el diagrama de dispersión de la Figura 4.2 que presentó una tendencia lineal.

Análisis de Correlación entre Variables

Los análisis de correlación se efectuaron con las 14 variables de los análisis de laboratorio de las muestras obtenidas y los datos levantados en campo del cultivo en cada punto considerado (Cuadro 4.8) observándose que la conductividad eléctrica (dS/m) promedio, en el estrato 0-30 cm resultó correlacionada con el rendimiento en grano ($r=-0.89$), el peso de panoja ($r=-0.96$), el peso de grano por panoja ($r=-0.97$) y la altura de planta ($r=-0.96$), así como sulfatos, cloro, sodio, magnesio y calcio.

En el Cuadro 4.8 se observa que el rendimiento en peso de Panoja, estuvo más afectado por la C.E ($r=-0.96$), altura de planta ($r=-0.99$), magnesio ($r=0.95$), sulfatos ($r=0.94$), sodio ($r=0.92$) y calcio ($r=0.92$).

La correlación entre los iones Carbonatos y Bicarbonatos (CO_3^{2-} y HCO_3^-) con el rendimiento, se manifiesta negativa y significativa al 99 por ciento de probabilidad indicando efectos tóxicos. La presencia de efectos osmóticos son debidos principalmente a la concentración total de sales (C.E) presentes en el suelo. En el Cuadro 4.8, se observa que los iones más altamente

Cuadro 4.0. Correlaciones obtenidas con las variables involucradas en el trabajo de
 Investigacion en sorgo en Rio Bravo, Tam. Ciclo Otoño-Invierno 1989-90.

	Rendim. kg/ha	Peso de panoja	P.G.F	A.P	C.E	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	-CO ₃	-HCO ₃	-Cl	-SO ₄
PH	0.32	0.26	0.30	0.25	-0.25	0.14	0.32	0.30	0.00	-0.20	-0.04	0.07	0.22
SO ₄ ⁼⁼	0.82*	0.94**	0.92**	0.92**	-0.66*	0.98**	0.97**	0.93**	0.52*	0.21	-0.35	0.97**	
Cl ⁻	0.85*	0.95**	0.92**	0.94**	0.87*	0.98**	0.94**	0.94**	0.61*	0.09	-0.41		
HCO ₃ ⁻	0.40	0.33	0.31	0.35	0.09	0.48*	0.22	-0.61*	-0.29	0.00			
CO ₃ ⁼⁼	0.19	0.12	0.17	0.18	0.23	0.21	0.10	0.02	0.10				
K ⁺	0.19	0.48*	0.46*	0.46*	0.40	0.52*	0.51*	0.51*					
Na ⁺	0.82*	0.92**	0.91*	0.91**	0.79*	0.96**	0.90*						
Mg ⁺⁺	0.81*	0.95**	0.94**	0.92**	-0.90*	0.94**							
Ca ⁺⁺	0.92*	0.92**	0.95*	0.90*	-0.89*								
C.E	0.89*	0.96**	0.97**	-0.95**									
A.P	0.95**	0.99**	0.99**										
P.G.F	0.95**	0.99**											
P.P	0.94**												

* Significancia al 99 % de probabilidad.

Donde, C.E es conductividad eléctrica

A.P es altura de planta

P.G.F es peso de grano por panaja

P.P es peso de panaja

correlacionados entre sí son: Na y Cl, Ca y SO₄, Na y SO₄, Cl y SO₄, Ca y Cl, Mg y C, Ca y Na así como Ca y Mg. Por la presencia del sulfato de Calcio, el ion calcio retiene y absorbe las partículas del suelo por lo cual éste no se deflocula, a pesar de los riegos y lluvias que causan lixiviación de las sales solubles como el cloruro de sodio.

Las correlaciones presentes en el Cuadro 4.8 son significativas al 99 por ciento por lo que las conclusiones tendrán alta confiabilidad.

Todos los iones analizados tienen una correlación negativa con la conductividad eléctrica (dS/m), a excepción del HCO₃ y CO₃, lo cual nos indica que al existir un aumento de una parte existirá una disminución de la otra.

El Bicarbonato fue el único ion que presentó efecto antagónico sobre los demás iones analizados en las muestras de suelo.

Debido a que la conductividad eléctrica promedio (dS/m) de los estratos 0-15 y 15-30 cm, explican en un 80.4 por ciento la variación del rendimiento en grano, en los diferentes puntos de muestreo de cosecha, el modelo encontrado: $Y = 130.1263 - 13.868(X)$, lo podemos utilizar con ciertas reservas, indicando que al ocurrir un incremento de una unidad de Conductividad Eléctrica (dS/m)

promedio de los estratos estudiados, el rendimiento en grano disminuye en un 13.86 por ciento a partir de 3.29 a 9.80 dS/m en conductividad eléctrica para este caso.

Francois *et al.* 1983 encontraron que el rendimiento potencial de sorgo, disminuye en 50 por ciento con una conductividad eléctrica promedio en el perfil 0-120 cm, de 10 dS/m.

Algunos otros autores mencionan que el sorgo disminuye su rendimiento potencial en un 50 por ciento, cuando la conductividad eléctrica es de 11 dS/m.

El USDA en un trabajo de salinidad en sorgo, siendo un cultivo semitolerante, disminuye en un 50 por ciento cuando la conductividad eléctrica del suelo es de 8 dS/m.

En la Figura 4.3, se observa que el rendimiento relativo de sorgo disminuye en un 50 por ciento, cuando la conductividad eléctrica promedio de los estratos 0-15 y 15-30 cm es de 5.77 dS/m.

Análisis de Varianza de la Regresión

En el Cuadro A.2, se observa el análisis de varianza de la regresión entre el rendimiento en grano

(Kg/ha), y el promedio de conductividad eléctrica (dS/m) entre los estratos mencionados anteriormente de las muestras colectadas en los puntos de cosecha, e indican que existe una significancia entre la conductividad eléctrica y el rendimiento o de otra forma, es impactante la primera sobre la segunda.

Análisis Económico

Con la finalidad de interpretar y saber hasta que grado de salinidad es redituable o no establecer el cultivo de sorgo bajo las condiciones que se presentaron en el trabajo, se realizó un análisis económico, los costos de producción de las labores son las que manejó el Banco Rural de esa región para el otorgamiento de crédito en el ciclo Otoño- Invierno 1989-90 (Cuadro A.3), también en el mismo cuadro se agrupan los costos de los insumos sumados a los primeros dan el costo total de producción por hectárea manejado por el productor que fue de 721786.70 pesos.

Para cada nivel de salinidad encontrado, se calculó el valor de la producción con el rendimiento por hectárea, relacionando esto con los costos de producción se obtuvo la relación beneficio-costo para cada nivel muestreado (Figura 4.6 y Cuadro A.4).

Con estas relaciones obtenidas se corrieron regresiones resultando las siguientes: Conductividad

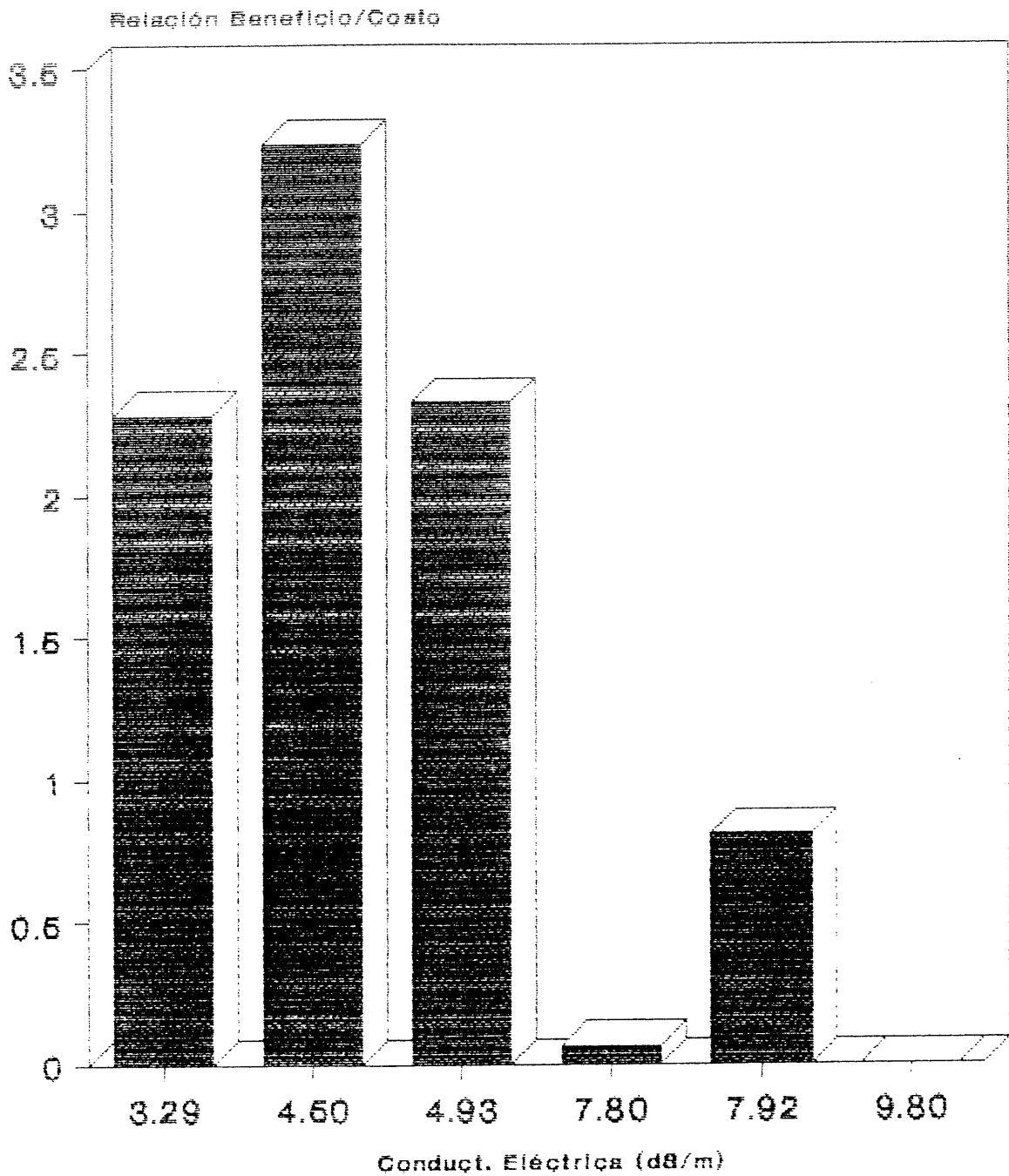


Figura 4.6. Efecto de los niveles de salinidad promedio en la relación Beneficio/Costo de la producción de sargo.

Eléctrica Contra Ganancia Neta: $Y = 2556687 - 349379.0(X)$
donde r^2 es 0.804 y los valores de Y representan ganancias netas en pesos, por lo tanto X es la Conductividad eléctrica (dS/m). En el caso de la regresión de Conductividad Eléctrica contra Beneficio/Costo la ecuación fue $Y = 4.541 - 0.483(X)$ donde $r^2 = 0.804$, X la Conductividad Eléctrica (dS/m), Y es la relación B/C (Figura 4.7).

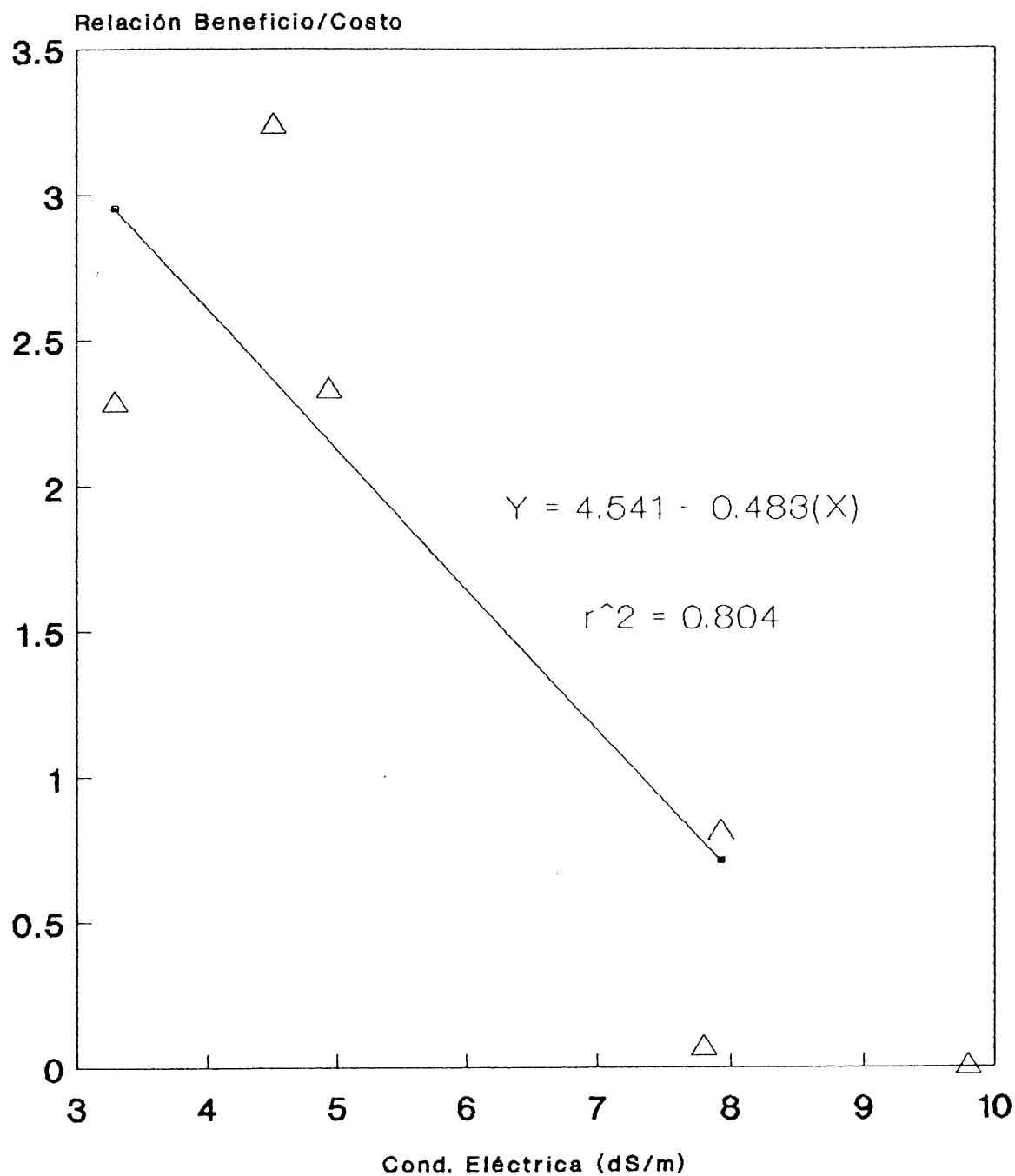


Figura 4.7. Diagrama de dispersión de conductividad eléctrica (dS/m) contra la relación Beneficio-Costo de sorgo, así como la ecuación de ajuste de la recta.

CONCLUSIONES

Por cada unidad de conductividad eléctrica expresada en dS/m, promedio de los estratos 0-15 y 15-30 cm, el rendimiento relativo de grano de sorgo, disminuye en un 13.86 por ciento a partir de 3.29 hasta 9.80 dS/m.

Al aumentar en un dS/m la conductividad eléctrica, la altura de planta decrece en 8.757 centímetros, hasta llegar a 43.60 centímetros, donde el rendimiento se hace nulo.

El rendimiento potencial de grano de sorgo, disminuyó en un 50 por ciento, cuando la conductividad eléctrica promedio del perfil de suelo 0-30 cm es de 5.77 dS/m.

Según el modelo obtenido, cuando la conductividad eléctrica del suelo es de 7.33 dS/m, solamente se obtienen los costos de producción en el cultivo de sorgo, siendo la relación Beneficio-Costo de uno en este punto.

En el modelo obtenido, con el valor de 3.295 dS/m se obtiene el 84.43 por ciento del rendimiento relativo (R.R) del cultivo de sorgo y la relación B/C es de 2.95 siendo la más alta para este trabajo. Con 9.383 dS/m en el suelo se hace cero el rendimiento relativo.

LITERATURA CITADA

- Alvino, A., and G. Zerbi . 1965. Water-table level effect on the yield of irrigated and unirrigated grain maize. Transactions of the ASAC. Vol. 29(4):1086-1089. United States of America.
- Carter, C.E., R.L. Doughton and J.S. Rogers. 1985. Drainage needs as indicated by high water tables. Transactions of the ASAC Vol.31(5):1410-1415. United States of America.
- Chang, C.,T.C Sommerfeld and T.Entz. 1987. Soil salinity and sand content variability determined by two statistical methods in an irrigated saline soil. Canadian Journal Soil Science 68: 209-221. Canada.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). 1962. Manual 60. Diagnostico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6 ed. Internacional. México. 172 p.
- Fowler,D., and J.W Hamm. 1980. Crop response to saline soil conditions in the Parkland Area of Sashatchewan. Canadian Journal Soil Science. 60:439-449. Canada.
- Francois, L.E. 1980. Alfalfa management under saline conditions with zero leaching. Agronomy Journal. Vol. 73(6):1042-1044. United States of America.
- Francois,L.E., T. Donovan and E.V. Mass. 1983. Salinity effects on seed yield, growth, and germination of grain sorghum. Agronomy Journal 75:741-744. United States of America.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía UNAM. p. 117. México.
- Gates, T., and M.C. Grismer. 1989. Irrigation and drainage strategies in salinity-affected regions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 115(2):255-264. United States of America.
- Gayle,B.A., R.W. Skaggs and C.E. Carter.1980. Effects of excessive soil water conditions on sugarcane yields. Transactions of the ASAE Vol.20(4):993-997. United States of America.

- Hamed, H.S., and F.D. Troen. 1981. Salt distribution and water consumption from a water table with and without a crop. Agronomy Journal. Vol.74(2):321-324. United States of America.
- Hardjoamidjojo, G., R.W. Skaqq and B.D. Schawab. 1981. Corn yield response to excessive soil water conditions. Transactions of the ASAE. Vol.30(5):922-927. United States of America.
- Howell, T.A., L.A. Miller., D. Zolezzi and C. Ravelo. 1975. Grain sorghum response to inundation at three growth stages. Transactions of the ASAE. Vol.19(5):875-880. United States of America.
- Jame, Y.W., V.D. Diederbeck., W. Nocholaichuk and H.C. Korven. 1984. Salinity and alfalfa yield under effluent irrigation in Southwestern Saskatchewan. Canadian Journal. Soil Science. 64: 323-332. Canada.
- Kadadan, M.T., W.P. Lehman and F.E. Robinson. 1974. Salinity effects on rice after the boot stage. Agronomy Journal. Vol.67(3):436-439. United States of America.
- Kanwar, R.S. 1983. Drainage needs and return in North Central Iowa. Transactions of the ASAE. Vol.32(1):457-464. United States of America.
- Kanwar, R.S., M. Baker and S. Mukhtar. 1968. Excessive soil water stresses at various stages of development on the growth and yield of corn. Transactions of the ASAE. Vol. 11(1):133-141. United States of America.
- Maas, E.V., and G.S. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 103(2):110-134. United States of America.
- Miyamoto, S. 1985. Salt effects on germination, emergence, and seedling mortality of onion. Agronomy Journal. Vol.81(2):450-454. United States of America.
- Miyamoto, S., K. Piela., J. Davis and L.B. Fenn. 1983. Salt effects on emergence and seedling mortality of quayule. Agronomy Journal. Vol.76(2):293-300. United States of America.
- Papadopoulus, I., and V.V. Rendiq. 1982. Tomato plant response to soil salinity. Agronomy Journal. Vol.75(4):696-700. United States of America.

- Patronato para la Investigación Fomento y Sanidad Vegetal (PIFCV). 1987. Manejo de tierras de riego. Manual No.5. 1a. Serie. Matamoros, Tam. México. 107 p.
- Pissani Z., J.F. 1989. Apuntes de drenaje de tierras agrícolas. Programa de Graduados. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. México.
- Ravelo, C.J., L.R. Donald., C.A. Miller and R.W. Skaugs 1981. Incorporating crop needs into drainage system design. Transaction of the ASAE. Vol.25(3):623-629. United States of America.
- Sammis, T.W., D.L. Weeks and C.G. Hanson. 1978. Influence of irrigation methods on salt accumulation in row crops. Transaction of the ASAE. Vol.10:791-796. United States of America.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1990. Guía para cultivar sorgo en el norte de Tamaulipas. INIFAP. Folleto para productores No. 5. p. 14. México.
- Thomas, J.R., F.G. Salinas and G.F. Gerther. 1980. Use of saline water for supplement irrigation of sugarcane. Agronomy Journal. Vol.73(6):1011-1017. United States of America.
- Van der Tak, L.D., and M.C. Grismer. 1986. Irrigation, drainage and soil salinity in cracking soils. Transaction of the ASAE. Vol.30(3):740-744. United States of America.
- Waissman, S.N., and S. Miyamoto. 1986. Salt effects on alfalfa seedling emergence. Agronomy Journal. Vol.79(4):710-714. United States of America.

A P P E N D I C E

Cuadro A.1. Lecturas tomadas para la determinación de Conductividad Hidráulica en los pozos realizados del sitio Experimental en Río Dravo, Tam. Ciclo G-I. 1989-90.

P O Z O 1		P O Z O 2	
Tiempo (min)	Prof. (cm)	Tiempo (min)	Prof. (cm)
0	154	0	137
1:52	153	2:54	136
3:28	152	6:37	135
5:16	151	11:41	134
6:57	150	16:19	133
8:55	149	22:35	132
10:29	148	31:49	131
12:15	147	35:50	130
14:05	146	41:50	129
16:09	145	43:45	128

Cuadro A.2. Análisis de varianza obtenido en la regresión entre el rendimiento de grano (Kg/ha), y el promedio de Conductividad Eléctrica (dS/m) entre los estratos de suelo de 0-15 y 15-30 cm en los puntos de cosecha.

Fuentes de variación	G.L	Suma de cuadrados	Cuad.Medio	F.Calc	F Tabla	
					0.05	0.01
Regresión	1	29408118.0	29408118.0	16.45*	7.71	21.2
Residual	4	7147600.0	1786900.0			
Total	5	36555718.0				

Cuadro A.3. Costos de producción utilizados por el productor en el Ciclo O-I, 1989-90, para el cultivo de sorgo en la región de Río Bravo, Tam.

LABOR E INSUMO	COSTO/HECTAREA (¢)	
	MANO DE OBRA	INSUMO
Desvare	26 000.00	
Rastra	26 000.00	
Fertilización (fósforo)	7 700.00	
Superfosfato Triple de Calcio (87 Kq)		52260.87
Subsuelo	70 000.00	
Cruza	52 000.00	
Bordeo	20 500.00	
Melqueo	8 000.00	
Construcción de Regaderas	8 000.00	
1er. Riego de Asiento	20 000.00	
Cuota de Agua		35 000.00
Siembra	25 000.00	
Semilla Pioneer (14.8 Kq)		63 437.83
Fertilización (Nitrogeno)	15 700.00	
Fertilizante NH ₃ (122 Kq)		12 688.00
Tumba de Bordo	16 500.00	
Escardas (2)	33 000.00	
1er. Riego de Auxilio	20 000.00	
Deshierbe	20 000.00	
2o. Riego de Auxilio	20 000.00	
Aplicación de Insecticida	40 000.00	
Cosecha	70 000.00	
Acarreo o flete	60 000.00	
TOTAL	558 400.00	163 386.70
COSTO TOTAL DE PRODUCCION	\$ 721 786.70	

Costos proporcionados por la Jefatura del Centro de Desarrollo Rural de Río Bravo, Tamaulipas. SARH.

Quadro A.4. Valor de la producción, costos y relación Beneficio-Costo en cada uno de los niveles de salinidad encontrados.

C.ELECT. (ds/m)	RENDIM. (Kg/ha)	VAL.DE PROD. (₺)	COST.PROD. (₺)	BENEF/COSTO
4.937	4672.7	1682172.00	721786.70	2.330
4.507	6489.3	2336148.00	721786.70	3.236
3.295	4582.9	1649044.00	721786.70	2.285
9.800	00.0	000.00	721786.70	0.000
7.802	131.4	47304.00	721786.70	0.065
7.927	1625.9	585324.00	721786.70	0.810

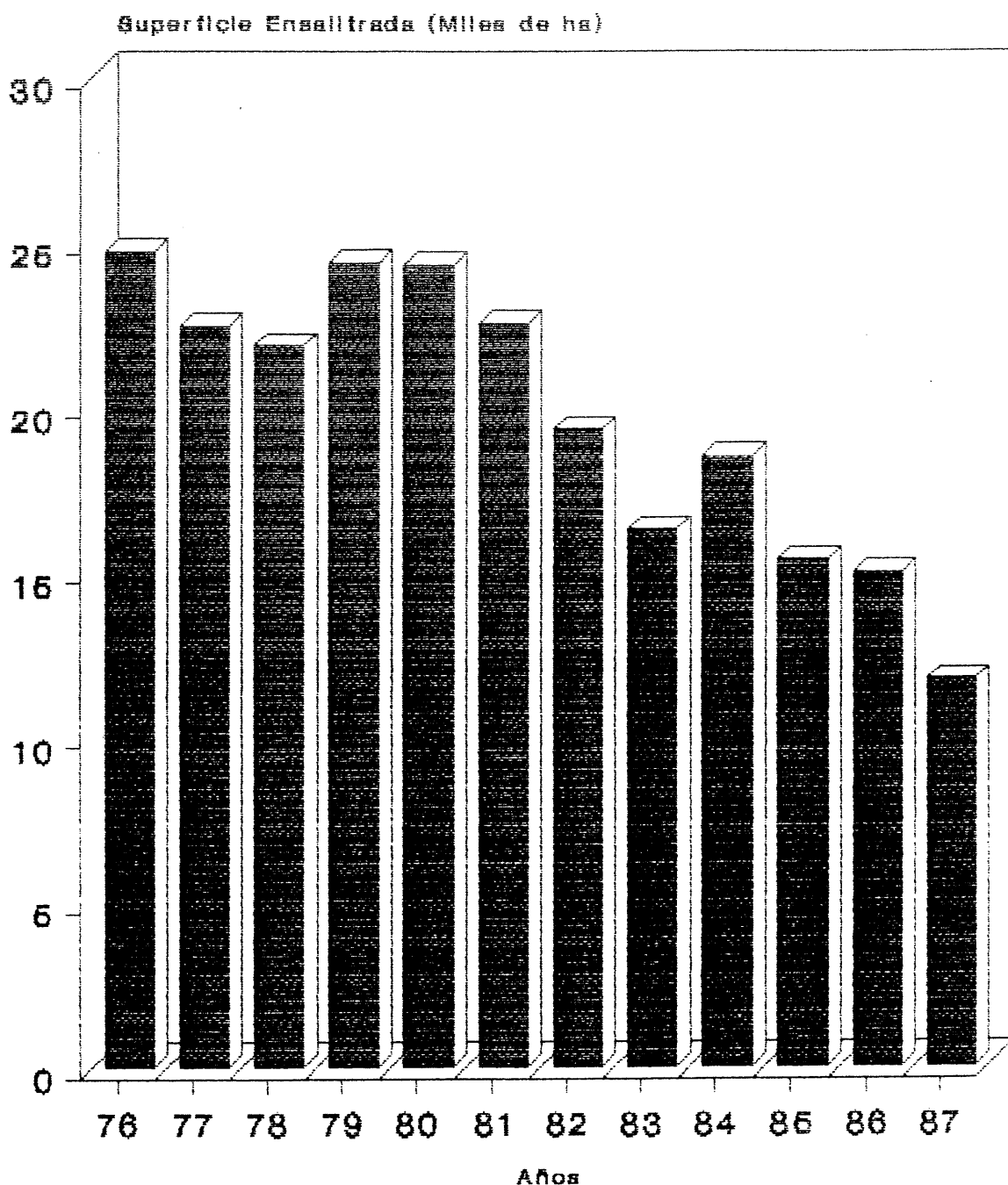


Figura A.1. Variación de la superficie afectada por salinidad aparente en grado medio y fuerte, en el área de riego del Distrito de Desarrollo Rural III Control, Tamaulipas. (Tomado de Ingeniería de Riego y Drenaje, 1987).

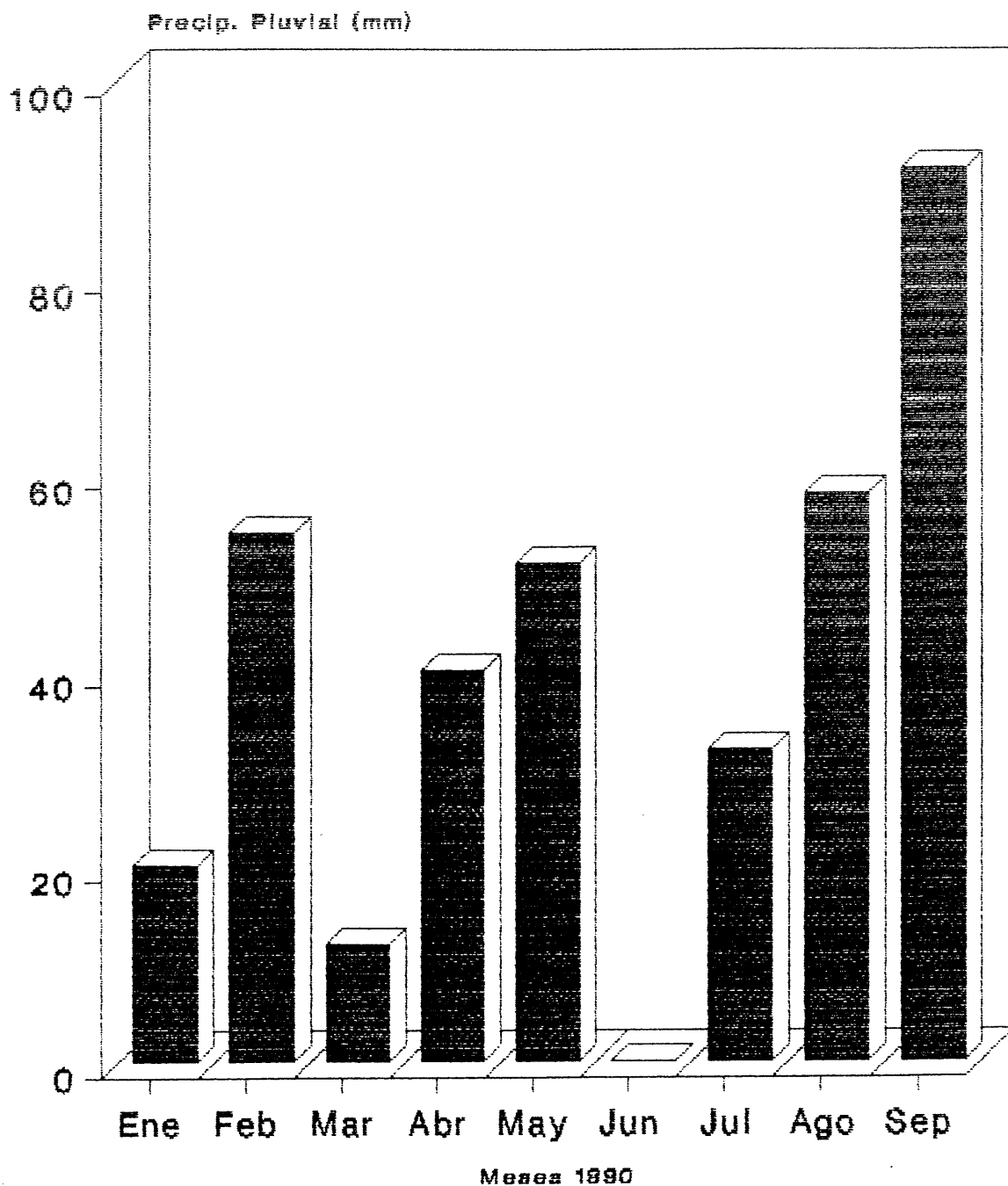


Figura A.2. Distribución de la precipitación pluvial en el área de estudio. Ciclo Otoño-Invierno 1989-90, Río Bravo, Tamaulipas. (Fuente: Campo Experimental Río Bravo e Ingeniería de Riesgo y Drenaje, 1990)

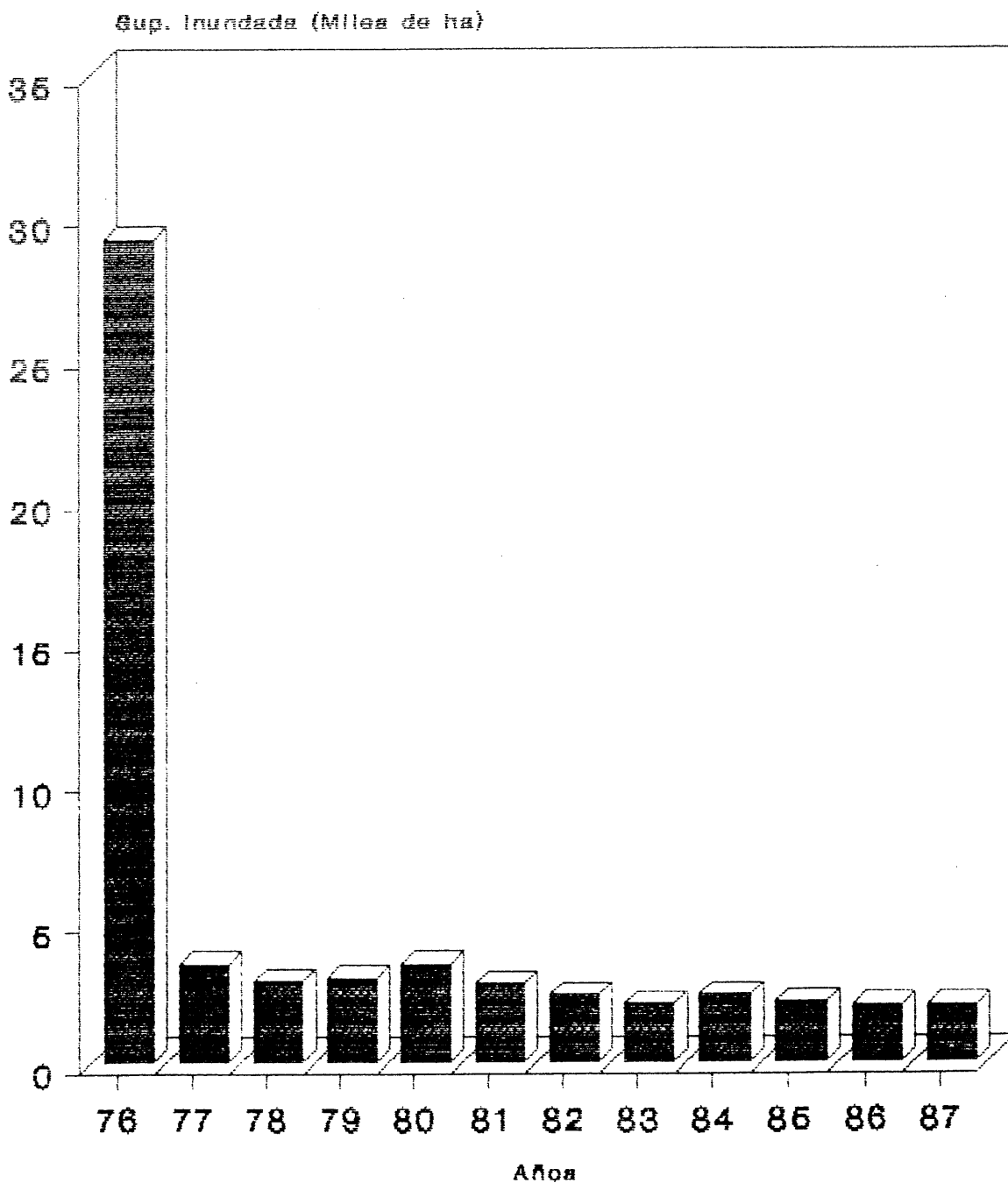


Figura A.3. Variación de la superficie en el Distrito de Desarrollo Rural III, Control, con problemas de drenaje superficial (Tomado de Ingeniería de Riego y Drenaje, 1987).

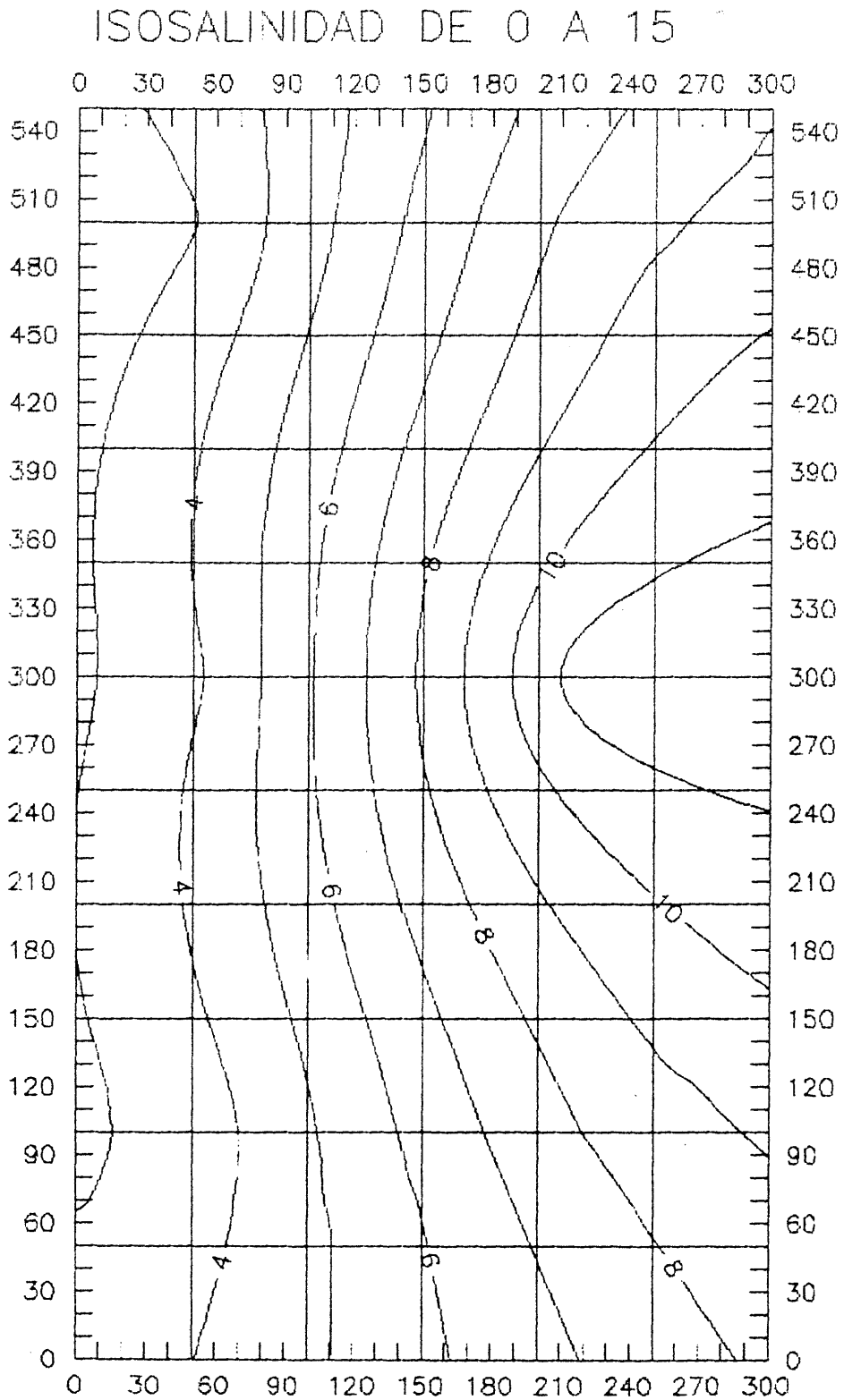


Figura A.4. Plano de isosalinidad del suelo en el estrato 0-15 cm al momento de establecer el experimento.

ISOSALINIDAD DE 15 A 30 Cm

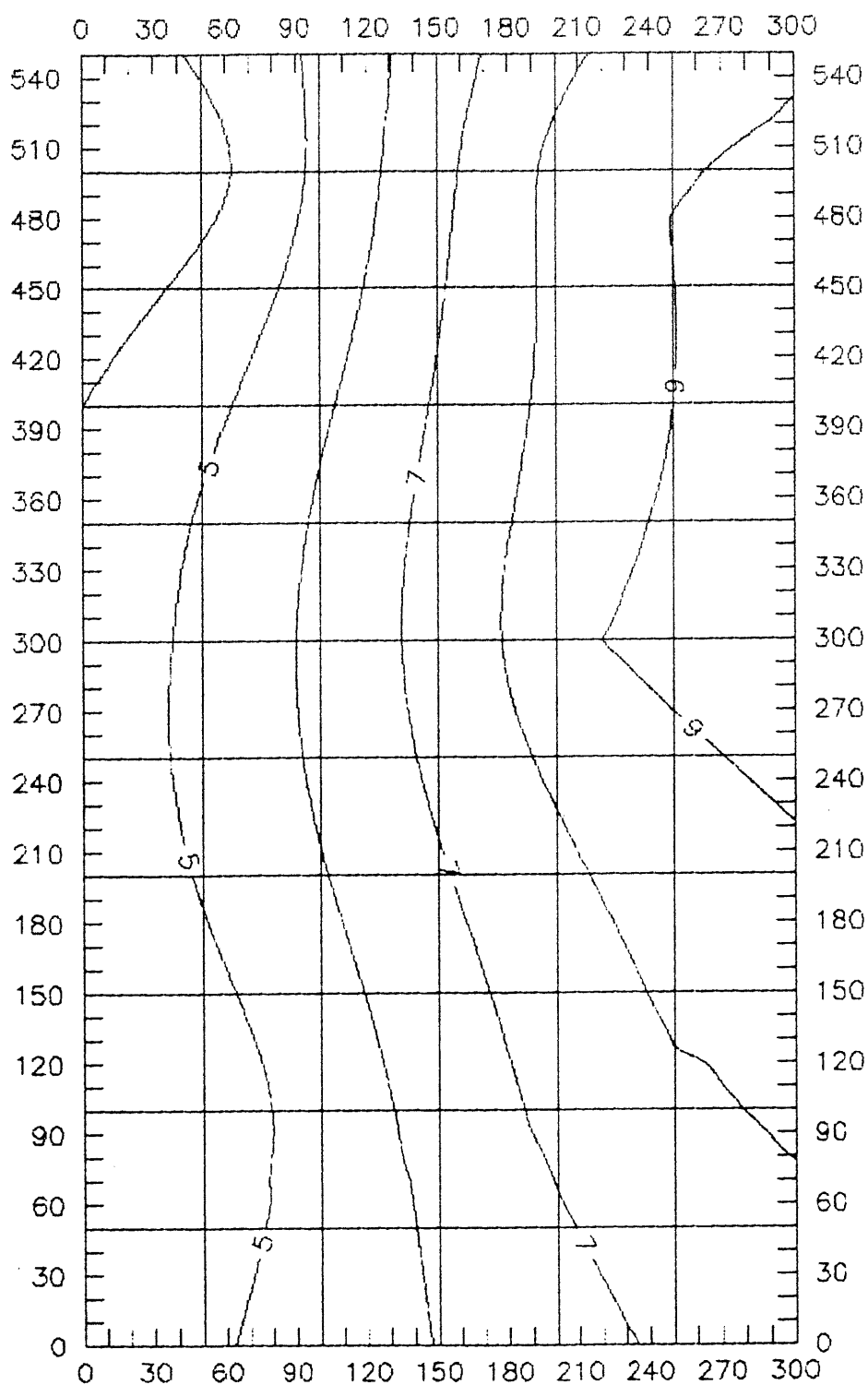


Figura A.5. Plano de isosalinidad del suelo en el estrato 15-30 cm al momento de establecer el experimento.

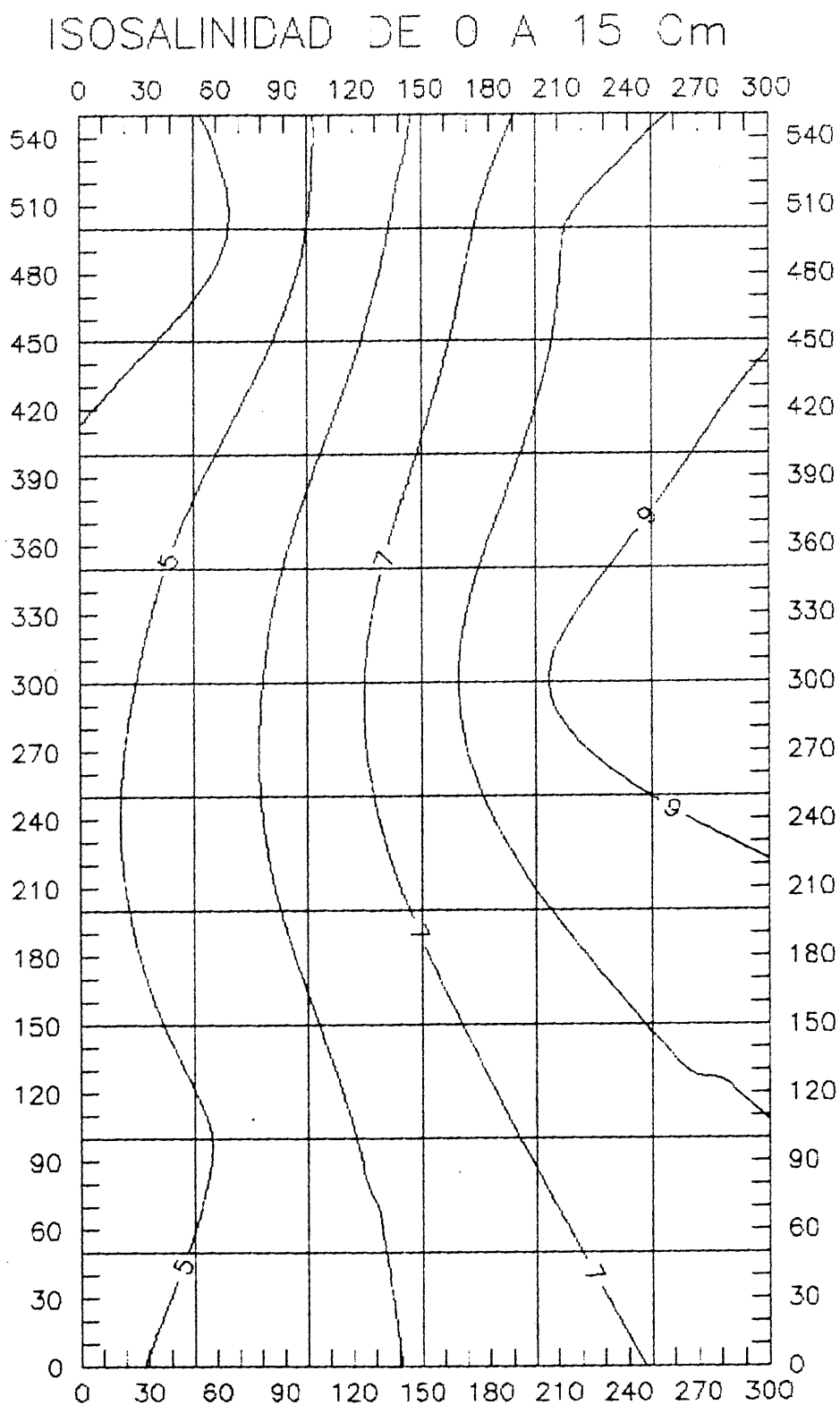


Figura A.6. Plano de isosalinidad del suelo en el estrato 0-15 cm al momento de cosechar el experimento.

ISOSALINIDAD DE 15 A 30 Cm

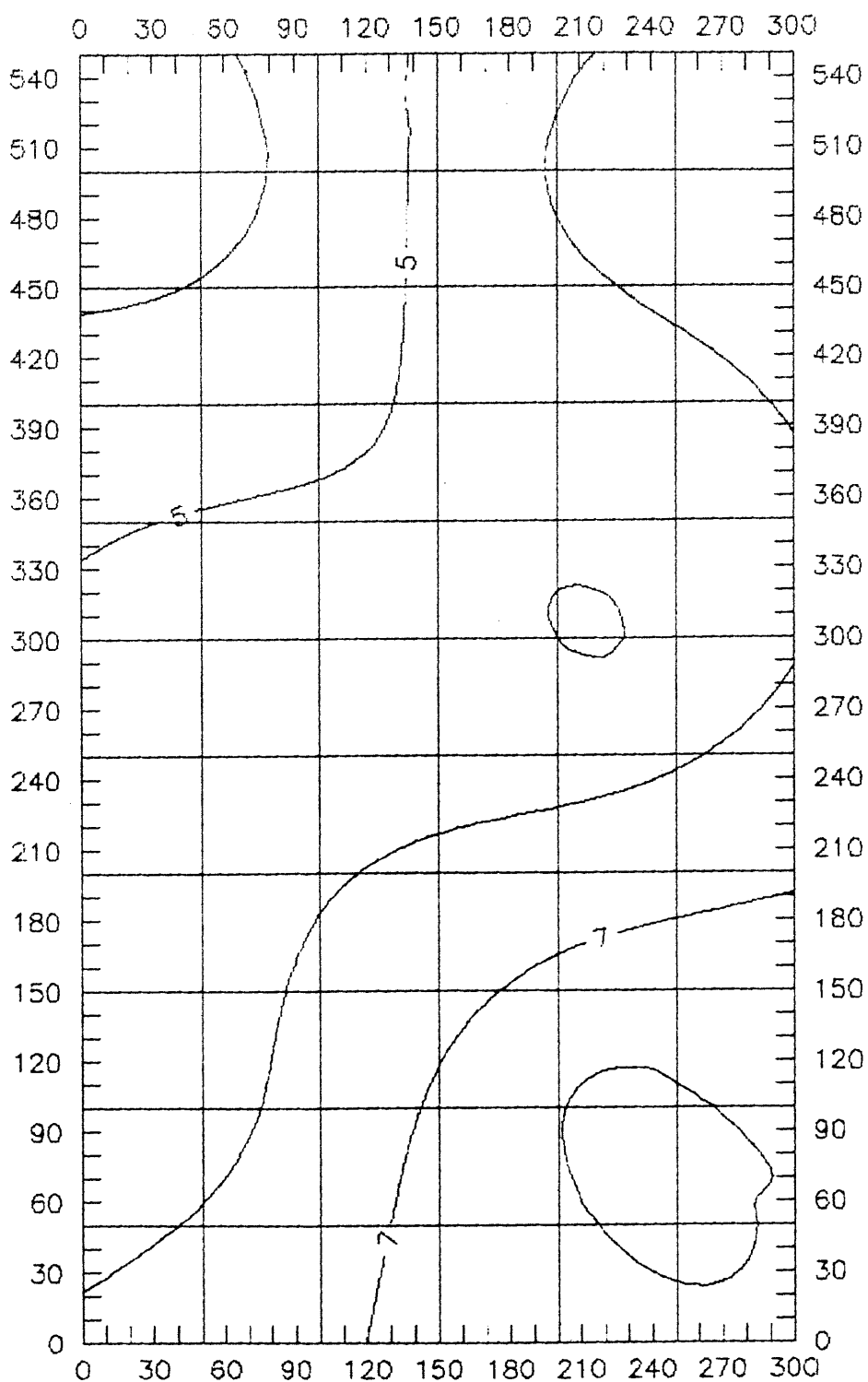


Figura A.7. Plano de isosalinidad del suelo en el estrato 15-30 cm al momento de cosechar el experimento.