

EFFECTO DE LA SALINIDAD EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SORGO (*Sorghum bicolor*) EN PRESENCIA DE MANTO FREÁTICO PARA LA REGIÓN DE RÍO BRAVO, TAMAULIPAS.

Manuel Alvarado C. ¹
Juan Fco. Pissani Z. ²
Manuela Bolívar D. ³
Javier de J. Cortés B. ⁴

RESUMEN

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, Tamps., durante el ciclo otoño-invierno 1989-90. Se muestrearon seis sitios a dos profundidades (0-15 y 15-30 cm), esto se hizo en base a la apariencia del cultivo y del suelo; todos los puntos presentaron 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, el rendimiento 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 la conductividad eléctrica en dS/m; Y es rendimiento relativo medido en porcentaje, con r^2 de 0.804, existiendo significancia al 95% 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 % 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 esta condición 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.

1. Alumno de Postgrado. Especialidad Riego y Drenaje.

2. Dr. Maestro-Investigador, Depto. Riego y Drenaje, Div. Ingeniería. UAAAN.

3 y 4. Ing. M.C. Maestros-Investigadores, Depto. Riego y Drenaje, Div. de Ingeniería. UAAAN.

También se hizo el análisis económico y se obtuvo la relación beneficio-costo (B/C), cuyo modelo es el 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.

INTRODUCCIÓN

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 aireación del mismo, ocasionados 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, en donde se siembran alrededor de 120 000 ha de riego y 600 000 de temporal, obteniéndose el 70% del total nacional. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, (SARH), 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 debido 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.

El mejoramiento de los suelos agrícolas por los programas de la 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.

Bajo esta problemática, se plantearon los objetivos siguientes: evaluar el efecto de la salinidad del suelo en el rendimiento del cultivo del sorgo en presencia de manto freático y obtener un modelo de predicción del rendimiento en sorgo, con respecto a la salinidad del suelo para la región de Río Bravo, Tamps.

REVISIÓN DE LITERATURA

Francois *et al.* (1983) realizaron un trabajo en sorgo de grano sobre suelos salinos en la región Oeste de los Estados Unidos; este estudio de parcela

fue conducido estableciéndose seis tratamientos de salinidad en un suelo arcillo-arenoso Hotville sobre montmorillonita migajonosa; éste se regó con agua salinizada con NaCl y CaCl_2 (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 fue afectado con una salinidad en el suelo superior a 6.8 dS/m (la conductividad eléctrica del extracto de saturación CEe). Cada incremento en salinidad cercano a 6.8 redujo el rendimiento en 16 por ciento. 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.

Kanwar *et al.* (1988) estudiaron por tres años la respuesta del maíz a la fluctuación natural del nivel freático en diferentes etapas de crecimiento. En 1984, se establecieron 50 parcelas en un suelo Nicollet; en el centro de cada parcela se instaló un pozo de observación para medir el nivel freático.

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, pueden 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.

Carter *et al.* (1985), en un trabajo sobre necesidades de drenaje usando como indicador el alto nivel freático, analizaron los datos de la tabla de agua usando el concepto SEW 30 en el Este de Baton Rouge, Iberia y encontraron que los registros, durante la estación de crecimiento de maíz y la estación de dormancia de la caña, excedieron los 100 cm/día. El SEW 30 anual superó 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 el rendimiento de maíz en el sitio Este de Baton Rouge.

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, descubrieron que el rendimiento de grano decreció más cuando la tabla de agua se incrementó por efecto de la lluvia que por el riego.

Las diferencias en rendimiento entre los regímenes de agua fueron debidos al número de semillas por mazorca en profundidad de la tabla de agua superficial y al porcentaje 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.

Fowler y Hamm (1980) sometieron cereales a condiciones salinas en Parkland de Saskatchewan, Canadá y encontraron que la siembra de éstos en otoño no ofrece ninguna ventaja sobre los 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, por lo que no es provechosa la siembra en estas áreas.

Papadopoulos y Rendig (1982) realizaron, en invernadero, un estudio con tomate para determinar los efectos de salinidad sobre el crecimiento y rendimiento. Las plantas crecieron en cuatro envases de compartimientos permitiendo división de los sistemas radicales. Las soluciones nutritivas salinas se hicieron con NaCl y CaCl_2 a conductividades eléctricas de 1, 2, 3, 4 y 5 dS/m ($\text{dS/m} = \text{mmhos/cm}$, referenciado a 25°C) que fueron aplicadas dos veces en un día en el sistema radical sin dividir. 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. 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.

Durante la última 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.

Miyamoto (1985) en un trabajo efectuado para evaluar los efectos de salinidad en germinación, emergencia y mortalidad de plántula en cebolla, observó lo siguiente: cuando se sembró en una solución de 0.8 dS/m todos los cultivos probados empezaron a germinar de 2 a 3 días, lográndose un 90% de germinación en cinco 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 20dS/m por muestra; de 7 a 9 días tuvieron que

transcurrir para que se realizara un 80% de germinación. El análisis de varianza reveló una significancia, pero no alta diferencia en germinación entre los cultivos, cinco días después de la siembra.

Cuando la salinidad del agua de riego excedió los 4.9 dS/m la emergencia ocurrió a los 21 días después de la siembra.

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 cultivos. El período de emergencia de Ben Shemar y Grano Amarillo fue significativamente más alto que otros cultivos.

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.

MATERIALES Y MÉTODOS

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 a 120 y N- 15 a 16 del área de riego del Distrito de Desarrollo Rural III del Municipio de Río Bravo, Tamps., y cuya localización geográfica es: Latitud 26°00' N y Longitud 98° 30' W; con una altitud de 22 msnm.

El clima del norte de Tamaulipas, según el sistema de clasificación de Koppen modificado por García (1981), se considera BSh, seco estepario con precipitaciones en verano igual a 70 % de la media anual, recibida en los seis meses más calientes, con temperatura media anual mayor de 18°C.

La temperatura media anual es de 24°C, con máximas de 40°C de mayo a agosto. La precipitación promedio anual es de 650 mm, los meses más lluviosos son mayo y septiembre con 51 y 91 mm, respectivamente, y una humedad relativa de 65%.

Los suelos existentes en el Norte de Tamaulipas están distribuidos de la siguiente manera: 70 % de arcillas, 29 % de francos o migajones y 1 % de arenas finas; esta 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 %), esto propicia que se tenga un drenaje natural de los suelos deficiente creando la formación de áreas con problemas de sales, principalmente en las partes bajas.

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 el área de riego se considera posee una salinidad promedio en el manto freático que varía de 5000 hasta 30000 micromhos/cm a una profundidad de 1.50 m.

La salinidad promedio del agua en los canales de riego es de 1300 micromhos/cm desde la presa hasta la red de distribución. 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), con un porcentaje de sodio posible (PSP) menor de 50 %, considerándose buena para riego y con carbonato de sodio residual (CSR) de cero me/l, características que le favorecen.

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

La salinidad promedio de las aguas de drenes en el área de riego es de 4.26 dS/m, pero en áreas afectadas por salinidad llegan a tener conductividades eléctricas superiores a 14.00 dS/m (Patronato para la investigación, fomento y sanidad vegetal (PIFSV), 1987).

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.

Para el establecimiento del trabajo se localizaron los puntos de muestreo para los diferentes niveles de salinidad, esto se realizó cuando el cultivo empezaba a manifestar el daño por este factor, utilizando el conductímetro portátil, y apoyándose 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 ml con agua destilada y luego someterla a agitación durante tres minutos para posteriormente, con el conductímetro 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

ron con los análisis de laboratorio; se perforaron dos pozos a una profundidad más allá del nivel freático, tomándose una muestra de agua de éste al momento de establecer el experimento y en cosecha.

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 conductímetro portátil, pero reafirmados en el laboratorio. Los datos recolectados en ese tiempo fueron: número de hojas del cultivo considerando también las hojas basales secas. 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). En estas observaciones es donde la salinidad impacta grandemente y nos ubicó con gran aproximación en los puntos de salinidad que se deseaban tener.

La etapa de madurez fisiológica se alcanzó al tener el grano de sorgo 18% 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 1m^2 sobre la hilera del surco en cada nivel establecido previamente. Se midió la altura de las plantas cosechadas en cada sitio muestreado, así como número de plantas, número de panojas, peso de panoja y peso de grano.

Después de tener los datos de cosecha y algunos componentes de rendimiento, se tomaron los resultados de laboratorio 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.

Pensando en que este trabajo tuviera utilidad práctica para los productores de la región en estudio, se hizo un análisis económico, llegando hasta la relación beneficio-costos (B/C) para cada uno de los niveles de salinidad encontrados; para esto se obtuvieron los costos de producción utilizados por el agricultor cooperante, 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) = (B/C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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 ninguno se desarrolla en el valor más alto. (1 dS/m = 1 mmhos/cm).

Con respecto al pH, va desde ligeramente alcalino, hasta medianamente alcalino. En las muestras que se extrajeron al establecimiento, se detecta 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 también nos lo confirmó al establecer el experimento y observar los análisis químicos de suelo promedio (Cuadro 1).

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 2).

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 observadas 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 2), 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.

Con respecto a la freaticimetría y calidad del agua de la misma, se perforaron dos pozos, teniendo un abatimiento de 2.25 cm, en el pozo uno desde el establecimiento del experimento a la cosecha, y de 13 cm en el pozo dos. Con respecto a la salinidad del agua freática se tuvo una variación de 8.78 a 14.2 dS/m en el pozo uno, de establecido a la cosecha, y en el pozo dos no hubo variación, considerado altamente salino. 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 rendimientos en grano de sorgo, panoja, así como el rendimiento relativo, se aprecian en el Cuadro 3 para cada nivel, promedio de salinidad analizado a lo largo del ciclo del cultivo. Los valores de rendimiento relativo (R.R) se obtuvieron en base a un rendimiento potencial de 7000 /kg/ha, proporcionado por la Compañía Semillera Pioneer.

Cuadro 1. Análisis químico promedio del suelo de 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
		(me/l)									
N1	1	4.937	7.35	47.6	29.4	144.7	3.55	0.4	3.5	95.75	45.20
N1R1	2	4.505	7.65	39.2	28.0	126.4	2.50	0.4	4.5	71.25	44.60
N1R2	3	3.295	7.70	45.5	40.6	139.3	3.65	0.4	5.5	88.75	48.15
N2	4	9.800	7.55	25.9	13.3	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	81.9	2.90	0.3	4.5	18.50	24.50

Cuadro 2. Efecto de la salinidad en la etapa vegetativa al establecer el experimento en la región de Río Bravo, Tamps.

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

Cuadro 3. Componentes de rendimiento encontrados en los niveles de salinidad en el cultivo de sorgo en la región d Río Bravo, Tamps. Ciclo temprano 1989-90.

NIVEL	No.	CE (dS/m)	ALT. PTA. (cm)	P. PAN. (g)	P.G/PAN. (g)	RTO. (Kg/ha)	R.R (%)
N1	1	4.937	89.68	19.853	16.112	4672.7	66.75
N1R1	2	4.507	87.86	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 panoja

P. G/PAN. es peso de grano por panoja

RTO. es Rendimiento

R.R es Rendimiento Relativo

Uno de los objetivos de este trabajo fue de obtener un modelo para predecir rendimiento en base al grado de salinidad, para esto se elaboró un diagrama de dispersión y se obtuvo un modelo de las muestras obtenidas en el perfil 0-30 cm, el modelo obtenido fue el siguiente: $Y = 9108.875 - 970.76(X)$, con $r^2 = 0.804$, donde: X es conductividad eléctrica (dS/m) y, Y es rendimiento en kg/ha. Implicando que con un 95% de seguridad el coeficiente de regresión va a variar entre los valores 306.60 y 1634.92 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: $Y = 130.1263 - 13.868 (X)$ con $r^2 = 0.804$ donde x = conductividad eléctrica (dS/m), Y = rendimiento relativo (porcentaje). El modelo obtenido aquí, coincide grandemente con los que obtuvo Mass y Hoffman (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 %, clasificándose a este cultivo como medianamente tolerante, en nuestro caso, este valor fue de 5.77 dS/m, probablemente se debió a que el rendimiento potencial del sorgo fue muy bajo a la presencia del manto freático en la cercanía de la zona radical del cultivo que afectó el rendimiento.

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 (dS/m), Y = peso panoja (g). Conductividad eléctrica contra peso de grano por panoja, obteniéndose la ecuación $Y = 30.945 - 3.346 (X)$, con r^2 de 0.97, donde X = conductividad eléctrica, (dS/m). Y = peso de grano por panoja (g).

Otro modelo obtenido el de conductividad eléctrica, contra altura final de planta, cuyo modelo es: $Y = 125.77 - 8.757(X)$, con $r^2 = 0.929$, donde X = C.E. (dS/m). Y = Altura de planta (cm). 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 Maas y Hoffman, (1977), quienes señalan que 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.

Debido a que la conductividad eléctrica promedio (dS/m) de los estratos 0.15 y 15-30 cm, explica en un 80.4 % 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% 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% 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%, 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% cuando la conductividad eléctrica del suelo es de 8 dS/m.

En el Cuadro 4, 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.

Con la finalidad de interpretar y saber hasta qué grado de salinidad es reductible o no establecer el cultivo de sorgo bajo las condiciones que se presentaron en el trabajo, se realizó un análisis económico; el costo total de producción por hectárea manejado por el productor fue de 721 786.70 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.

Cuadro 4. 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				

Con estas relaciones obtenidas se corrieron regresiones resultando las siguientes: conductividad eléctrica contra ganancia neta: $Y = 2556689 - 349379.0(X)$ donde $r^2 = 0.804$ y los valores de Y representan ganancias netas en pesos; por lo tanto, $X =$ 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 $r^2 = 0.804$, $X =$ conductividad eléctrica (dS/m), $Y =$ relación B/C.

CONCLUSIONES

1. 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 % a partir de 3.29 hasta 9.80 dS/m.
2. Al aumentar en un dS/m la conductividad eléctrica, la altura de planta decrece en 8.757 centímetros, hasta llegar a 43.60 cm, donde el rendimiento se hace nulo.
3. El rendimiento potencial de grano de sorgo, disminuyó en un 50%, cuando la conductividad eléctrica promedio del perfil de suelo 0-30 cm es de 5.77 dS/m.
4. 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, en este punto, la relación beneficio-costo es de uno.
5. En el modelo obtenido, con el valor de 3.295 dS/m se obtiene el 84.43% del rendimiento relativo (R.R) del cultivo de sorgo y la relación B/C (2.95) es la más alta para este trabajo. Con 9.383 dS/m en el suelo se hace cero el rendimiento relativo.

REVISIÓN DE LITERATURA

- Alvino, A. y G. Zerbi. 1985. Water-table level effect on the yield of irrigated and unirrigated grain maize. Transactions of the ASAE. Vol. 29(4):1086-1089. United States of America.
- Carter, C.E., R.L. Bengtson y J.S. Rogers. 1985. Drainage needs as indicated by high water tables. Transactions of the ASAE Vol. 31(5):1410-1415. United States of America.