

## **Conclusiones**

Las aguas de la región de Rioverde corresponden a los grupos geoquímicos sulfatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas. Las aguas de mejor calidad (clases C1S1, C2S1 y C3S1) corresponden a los manantiales y pozos de la zona sur. El uso de estas aguas en suelos profundos con buen drenaje y bajo contenido de sales, ha permitido producir una gran diversidad de cultivos y obtener altos rendimientos. Aunado a lo anterior, la inversión en infraestructura hidráulica y equipo de bombeo, han convertido a esta zona en la más productiva de la región.

Las aguas de menor calidad (clases C4S1 y C5S1) ocurren en los manantiales y pozos ubicados en la zona norte. Estas aguas, aplicadas en suelos someros, con mal drenaje y alto contenido de sales, sólo permiten obtener bajos rendimientos en la mayoría de los cultivos. Por lo anterior, la zona norte es la menos productiva de la región.

En la región de Rioverde la calidad química del agua para riego se puede establecer con sólo determinar su conductividad eléctrica y su pH.

Con base en lo anterior, se acepta la hipótesis de que los datos de análisis de aguas se utilizan para interpretar las propiedades químicas de las mismas, por lo que su estudio permite reconocer los efectos del riego en la fertilidad del suelo.

## **Referencias**

- Alemán, E. 1966. *Investigación socioeconómica directa de los ejidos de San Luis Potosí*. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. México. 192 p.

- Alvarado, A.R. 1973. *Estudio geohidrológico de la cuenca del río Verde, estado de San Luis Potosí*. Trabajo Recepcional. Escuela de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí. S.L.P. 40 p.
- CETENAL. 1973. Carta Geológica. Escala 1:50000. Hojas Angostura F-14-A-86, San Francisco F-14-A-87, El Refugio F-14-C-16 y Rioverde F-14-C-17.
- Fipps, G. 1996. *Irrigation water quality standards and salinity management strategies*. B-1667, Texas Agricultural Extension Service. Texas, A&M University System. College Station, Texas. USA. 19 p.
- González R., F.J. 1993. *Programa en GW Basic para la clasificación agrológica y geoquímica de aguas naturales*. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. 51 p.
- INEGI. 1985. *Síntesis geográfica del estado de San Luis Potosí*. INEGI. México, D.F. 186 p.
- INEGI. 1994. *San Luis Potosí. Resultados definitivos. VII. Censo agrícola-ganadero*. Tomo I. México. 505 p.
- Kovda, V.A.; Yaron, B. and Shalhevet, Y. 1967. *Quality of irrigation water*. In: Kovda, V.A.; Hagan, A.M.; Ven Den Berg, C. (Eds). *International sourcebook on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity*. FAO-UNESCO. París , Francia. pp. 246-282.
- Labarthe, G.; Tristán, M.; Aguillón, A.; Jiménez, L S.; Romero, A. 1989. *Cartografía geológica 1:50 000 de las Hojas El Refugio y Mineral El Realito, estados de San Luis Potosí y Guanajuato*. Folleto Técnico Núm. 112. Instituto de Geología, UASLP. San Luis Potosí, S.L.P., México. 76 p.

- Medina, F. 1966. *Estudio geohidrológico de la región Cerritos-Villa Juárez, S.L.P.* Folleto Técnico Núm. 10. Instituto de Geología y Metalurgia, UASLP. San Luis Potosí. México. 24 p.
- Montañez, A. 1992. *Hidrogeoquímica del municipio de Rioverde, San Luis Potosí.* Trabajo Recepcional. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí. S.L.P. 91 p.
- Palacios, O. y Aceves, E. 1994. *Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola.* Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo. México. 49 p.
- Richards, L.A. 1973. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.* Limusa. México. 172 p.
- SARH. 1979. *Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la zona de San Ciro, San Luis Potosí.* Geohidrología Mexicana, S.A. Contrato GZA-79-42-ED. SARH. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Programas de Infraestructura Hidráulica. Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. México, D.F. (sp).
- SRH. 1966. *Inventario de aprovechamientos superficiales y subterráneos para riego. San Luis Potosí.* Irrigación y Control de Ríos, Dirección de Pequeña Irrigación. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F. 117 p.
- Ter Braak, C. J. F. 1988. *CANOCO – a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (detrended) (canonical) correspondence analysis, principal component analysis and redundancy analysis.* Agricultural Mathematics Group. Wageningen. 95 p.

- Velázquez, P.F. 1987. *Colección de documentos para la historia de San Luis Potosí*. Archivo Histórico del Estado. San Luis Potosí. Tomo 3. 561 p.
- Verástegui, E. 1979. *Río Verde, S.L.P. V. Dominio español y la independencia*. Cuadernos Núm. 74. Biblioteca de Historia Potosina. San Luis Potosí, S.L.P. 42 p.
- Villalobos, C. I. 1974. *Carta hidrogeoquímica del estado de San Luis Potosí, 1974*. Folleto Técnico Núm. 42. Instituto de Geología y Metalurgia, UASLP. San Luis Potosí, S.L.P. México. 35 p.

## Capítulo 5

### SUELOS IRRIGADOS EN LA REGIÓN DE RIOVERDE, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

#### RESUMEN

La región de Ríoverde, San Luis Potosí, México, cuenta con 15132 ha bajo riego. Los suelos irrigados corresponden a Phaeozems, Vertisoles, Chernozems y Solonchaks. Durante 20 años, el laboratorio del Distrito de Desarrollo Rural 130 ha acumulado datos de análisis de los suelos; sin embargo, se carece de un análisis de tal información, que permita conocer la variación regional de las propiedades físicas y químicas y la fertilidad de los suelos, así como las repercusiones del riego en dichas propiedades. El objetivo del estudio fue interpretar las propiedades físicas, químicas y de fertilidad usando los datos de los análisis de suelos de los laboratorios que han trabajado en la región de Ríoverde, S.L.P. La información se procesó con el paquete Excel 97 para Windows 98, y se sometió a un análisis multivariable de ordenación mediante componentes principales. Los resultados indican que los suelos se caracterizan por lo siguiente: clases de textura, arcilla, franco arenosa y franco arcillosa; niveles de materia orgánica, pobre y medio; niveles de pH, neutro, ligeramente alcalino y medianamente alcalino; conductividad eléctrica,  $\leq 4 \text{ dS m}^{-1}$  en la zona sur y porción occidental de la margen izquierda del río

Verde, y  $> 4 \text{ dS m}^{-1}$  en la porción oriental de las zonas norte y margen izquierda del río Verde; porcentaje de sodio intercambiable,  $< 5 \%$ ; niveles de fósforo asimilable, muy rico y rico; niveles de potasio asimilable, medio y muy rico. El análisis multivariable de las muestras de suelo indica que con sólo la determinación de los porcentajes de arena, arcilla y materia orgánica se puede conocer el estado actual de un suelo del área de estudio y las prácticas de manejo requeridas para su aprovechamiento racional.

**Palabras clave:** *Suelos agrícolas, riego, propiedades físicas y químicas, fertilidad.*

### SUMMARY

The Rioverde region, San Luis Potosí, México, comprises 15,132 irrigated hectares. Irrigated soils correspond to Phaeozems, Vertisols, Chernozems and Solonchaks. Over the last 20 years, the laboratory of the 130 Rural Development District has gathered soil analysis data; however, an analysis of this information is still lacking, that would allow to determine the regional variation in soil fertility, physical and chemical properties, as well as the effect of irrigation on these properties. This study aims to identify the main attributes of irrigated soils in the Rioverde region, S.L.P., based on the existing laboratory data. The information was processed using the Excel 97 for Windows, conducting a multivariate ordination through a principal components analysis. Findings indicate that soils are characterized as follows: texture classes: clay, clayey-sandy loam, clayey loam; organic matter level: poor and moderate; pH level: neutral, slightly alkaline and moderately alkaline; electric conductivity,  $< 4 \text{ dS m}^{-1}$  at the southern and western portions of the Verde river's left bank, and  $> 4 \text{ dS m}^{-1}$  at the eastern

portion of the river's north zone and left bank; available potassium levels: moderate and very rich. The multivariate analysis of soil samples indicates that it is possible to determine the soil's current condition in the study area, as well as management practices required for a rational use, by only determining sand, clay and organic matter contents.

***Index words:*** Farm soils, irrigation, physicochemical characteristics, fertility.

## INTRODUCCIÓN

### **Localización de la región de estudio**

La región agrícola de Rioverde es una de las más importantes del estado de San Luis Potosí. Es una llanura que se extiende 60 km de norte a sur y 35 km de este a oeste (Figura 1). Comprende una superficie de labor de 49495 ha, de las cuales 15132 cuentan con agua para riego (INEGI, 1994). El área irrigada se abastece del agua subterránea, la cual proviene de manantiales que brotan de la formación caliza El Doctor y de perforaciones sobre un acuífero de medio granular. Las aguas de estas dos fuentes, se caracterizan por presentar una fuerte variación en la composición y concentración de las sales que llevan disueltas (Charcas *et al.*, 2000).

**Agua de riego.** Con base en la ubicación geográfica y la calidad del agua de riego, los manantiales y pozos pueden agruparse en dos zonas (Charcas *et al.*, 2000): 1) Norte; comprende el área entre los poblados de San Bartolo y San Francisco, en el límite septentrional, y Colonia Veinte de Noviembre y Miguel Hidalgo, en el límite meridional; las aguas de esta zona presentan las características siguientes: a) alta concentración de sales, pues los valores de

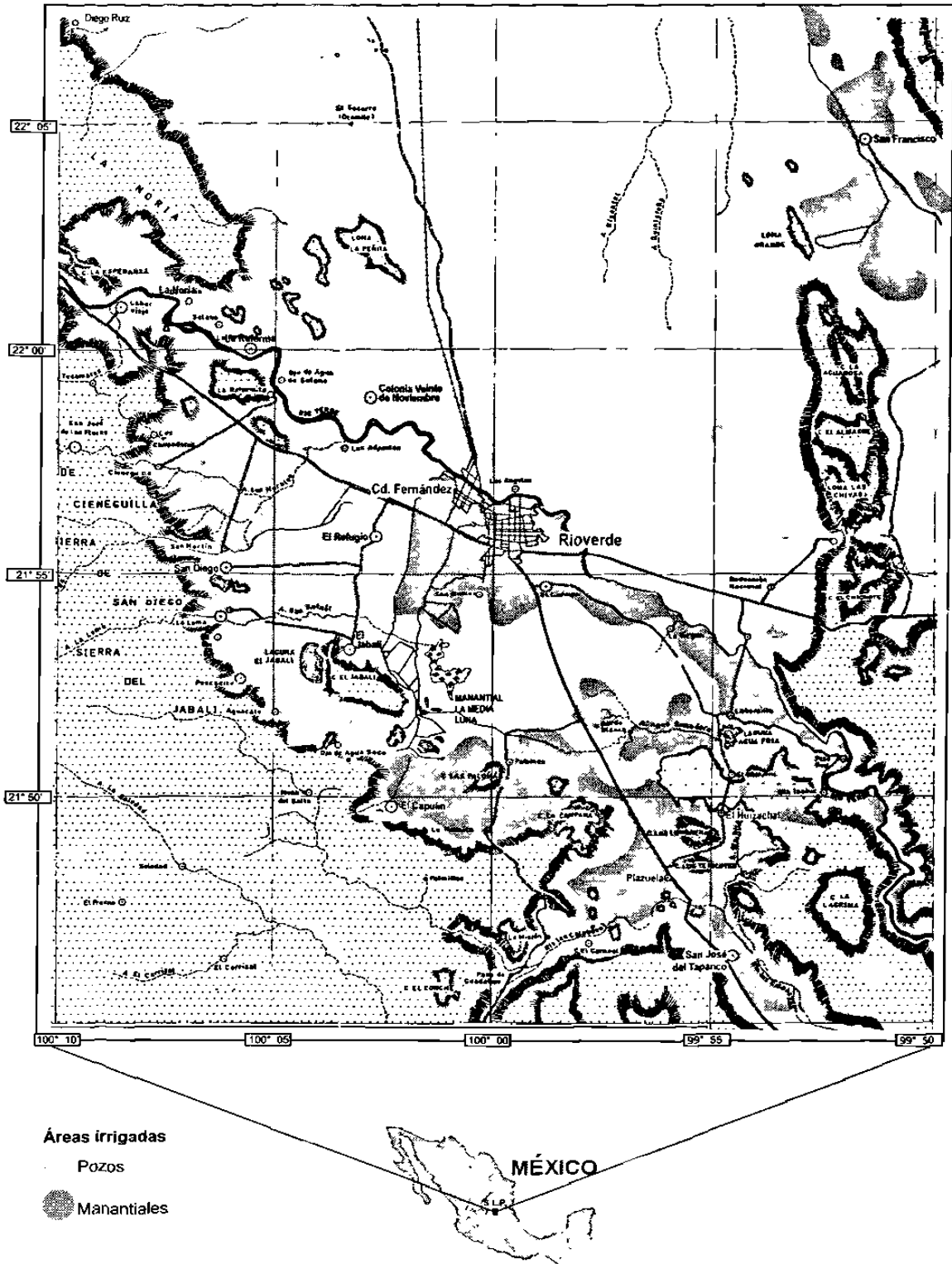


Figura 1. Situación de la región de Rioverde y sus áreas irrigadas (adaptado de Michelet, 1996).



conductividad eléctrica son mayores de  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ ; b) valores bajos de la relación de adsorción de sodio (RAS); y c) valores del pH ligeramente alcalinos. De acuerdo con Fipps (1996), estas aguas pueden usarse siempre y cuando se siembren cultivos muy tolerantes a las sales, se aplique agua en abundancia y el drenaje del subsuelo sea adecuado. 2) Sur; abarca el área localizada entre la margen derecha del río Verde y el borde de las serranías del oeste y suroeste, así como la franja de la margen izquierda del río, que se extiende desde Labor Vieja hasta la Colonia Veinte de Noviembre. Las aguas de esta zona se caracterizan por: a) presentar menor concentración de sales, puesto que los valores de conductividad eléctrica varían de  $0.250$  a  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ ; b) valores de la RAS muy bajos; y c) valores del pH que varían desde ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos. Estas aguas pueden usarse en suelos con buen drenaje y prácticas especiales de control de la salinidad; asimismo, se deben seleccionar cultivos tolerantes a las sales (Richards, 1973; Palacios y Aceves, 1994; Fipps, 1996).

**Geología.** Los sedimentos lacustres alternan con el travertino. En la porción norte, los sedimentos están compuestos de arcillas, tobas silíceas porosas y clásticos de caliza y caliche. En la porción sur y suroeste, los materiales de relleno consisten de una alternancia de capas de arcillas, arenas y gravas, con una cobertura de tobas areno arcillosas y pumíticas. En estos sedimentos se han desarrollado los suelos más fértiles de la región de estudio (Alvarado, 1973; Montañez, 1992).

**Suelos agrícolas.** Con base en la información de los puntos de verificación de la Carta Edafológica, Escala 1:50000 (CETENAL, 1973), y el Mapa mundial de

suelos (FAO-UNESCO, 1991), los principales suelos agrícolas irrigados pertenecen a las clases siguientes: Phaeozems háplicos (PHh), Phaeozems cálcicos (PHc), Vertisoles eútricos (VRe), Chernozems cálcicos (CHK) y Solonchaks háplicos (SCh). Las tres primeras clases comprenden alrededor del 90% de la superficie de riego. A continuación se describen las principales características físicas y químicas de dichas clases.

a) Phaeozems háplicos (PHh). Clase textural, media (suelos franco arcillo arenosos, franco arcillosos, franco arenosos y francos); pH, 7.6; materia orgánica, 1.3 %; capacidad de intercambio catiónico, 18.7 cmol (+) kg<sup>-1</sup>; saturación de bases, 100 %; cationes intercambiables, calcio, magnesio, sodio y potasio en concentraciones de 17.2, 2.0, 0.2 y 0.4 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, respectivamente; conductividad eléctrica, < 2.0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C; porcentaje de saturación de sodio (PPS), < 15.0; fósforo disponible, 3.5 mg kg<sup>-1</sup>; profundidad, > 100 cm; drenaje interno, muy drenado o excesivamente drenado.

b) Phaeozems cálcicos (PHc). Clase textural, media (suelos franco arcillosos); pH, 8.0; materia orgánica, 3.3 %; capacidad de intercambio catiónico, 24.6 cmol (+) kg<sup>-1</sup>; saturación de bases, 100 %; cationes intercambiables, calcio, magnesio, sodio y potasio en concentraciones de 40.5, 7.8, 0.3 y 2.5 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, respectivamente; conductividad eléctrica, < 2.0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C; PPS, < 15.0; fósforo disponible, 0.6 mg kg<sup>-1</sup>; profundidad, > 100 cm; drenaje interno, muy drenado o excesivamente drenado.

c) Vertisoles eútricos (VRe). Clase textural, fina (suelos arcillosos); pH, 7.7; materia orgánica, 1.8 %; capacidad de intercambio catiónico, 40.4 cmol (+) kg<sup>-1</sup>; saturación de bases, 100 %; cationes intercambiables, calcio, magnesio,

sodio y potasio en concentraciones de 32.1, 9.9, 0.4 y 1.1 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, respectivamente; conductividad eléctrica, < 2.0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C; PPS, < 15.0; fósforo disponible, 2.5 mg kg<sup>-1</sup>; profundidad, > 100 cm; drenaje interno, moderadamente drenado o muy drenado.

d) Chernozems cálcicos (CHk). Clase textural, media y fina (suelos arcillosos, franco arcillosos, franco limosos y francos); pH, 7.8; materia orgánica, 3.6 %; capacidad de intercambio catiónico, 11.1 cmol (+) kg<sup>-1</sup>; saturación de bases, 100 %; cationes intercambiables, calcio, magnesio, sodio y potasio en concentraciones de 32.4, 2.2, 0.2 y 0.6 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, respectivamente; conductividad eléctrica, < 2.0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C; PPS, < 15.0; fósforo disponible, 0.6 mg kg<sup>-1</sup>; profundidad, > 100 cm; drenaje interno, muy drenado.

e) Solonchaks háplicos (SCh). Clase textural, media (suelos franco arcillosos, franco arenosos); pH, 8.1; materia orgánica, 2.5 %; capacidad de intercambio catiónico, 20.0 cmol (+) kg<sup>-1</sup>; saturación de bases, 100 %; cationes intercambiables, calcio, magnesio, sodio y potasio en concentraciones de 62.1, 14.0, 2.4 y 2.1 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, respectivamente; conductividad eléctrica, > 4.0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C; PPS, < 15.0; fósforo disponible, 5.7 mg kg<sup>-1</sup>; profundidad, > 100 cm; drenaje interno, drenado y muy drenado.

El objetivo del estudio fue interpretar las propiedades físicas, químicas y de fertilidad usando los datos de los análisis de suelos de los laboratorios que han trabajado en la región de Rioverde, S.L.P., como en el trabajo anterior, sólo se cumple parcialmente con el tercer objetivo señalado en la introducción general.

Para cumplir con el objetivo anterior, se probó la hipótesis siguiente: los datos de análisis de suelos se utilizan para interpretar las propiedades físicas, químicas y de fertilidad de los mismos, por lo que su estudio permite reconocer los efectos del riego en la fertilidad del suelo.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se recopilaron los datos de análisis de suelos del laboratorio del Distrito de Desarrollo Rural 130. Luego, se utilizaron las cartas geológica, edafológica y de uso del suelo (CETENAL, 1973) para ubicar los puntos donde fueron tomadas las muestras de suelo, asimismo para obtener información acerca de la presencia, distribución y uso de las unidades de suelos agrícolas. Con la información anterior, se hicieron recorridos de campo para verificar la localización de los puntos de muestreo y obtener información adicional sobre las características de los suelos. La información se procesó con el paquete Excel 97 para Windows 98. La caracterización de los suelos se hizo con base en los criterios y parámetros usados en el laboratorio del Distrito de Desarrollo Rural 130, así como en los de uso generalizado en la literatura agronómica. Asimismo, las 492 muestras de suelo que contaban con datos completos de textura, conductividad eléctrica, RAS, pH, materia orgánica, N, P y K, se sometieron a un análisis multivariable de ordenación mediante componentes principales y análisis canónico de correspondencias; ambos análisis se realizaron con el programa CANOCO (Ter Braak, 1988).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en la procedencia geográfica, la calidad del agua de riego y las unidades de suelos, las muestras de suelo se agrupan en tres zonas (Figura 1):

a) Norte; se ubica entre los poblados de San Francisco, en el límite oriental, y Diego Ruiz, en el límite occidental. Es una zona que se riega con aguas que presentan valores de conductividad eléctrica mayores  $> 2 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , valores de la RAS  $< 2.0$  y valores del pH ligeramente alcalinos (7.2 a 8.1). Las clases de suelo predominantes son Phaeozems cálcicos, Vertisoles eútricos y Solonchaks háplicos.

b) Margen izquierda del río Verde; abarca una franja de terrenos que se extiende desde el poblado de la Boquilla, en el límite oriental, hasta el poblado de La Noria, en el límite occidental. En la porción oriental, las aguas tienen valores de conductividad eléctrica  $> 2000 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , mientras que en la occidental los valores son menores a dicha cifra; en ambas porciones, los valores de la RAS  $< 2.0$  y los del pH son ligeramente alcalinos (7.2 a 8.1). Por otra parte, hacia el oriente predominan los suelos de las unidades Chernozems cálcicos y Solonchaks háplicos, pero en el occidente sólo se presentan los Vertisoles eútricos.

c) Sur; incluye toda el área de la margen derecha del río Verde hasta las estribaciones de las serranías del occidente. Esta zona comprende las dos áreas agrícolas más importantes siguientes. El área de El Refugio, cuyas aguas se caracterizan por presentar valores de conductividad eléctrica que varían de  $0.250$  a  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; asimismo, los valores de la RAS son  $< 1.0$  y los del pH son ligeramente alcalinos (7.2 a 8.1); los suelos corresponden a Phaeozems

háplicos. El Distrito de Riego 049 (manantial de la Media Luna y manantiales menores), cuyas aguas tienen valores de conductividad eléctrica que varían de 1.650 a 1.980 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C, valores de la RAS < 1.0 y pH desde ligeramente ácido a ligeramente alcalino (6.5 a 7.8); los suelos pertenecen a las clases Phaozems háplicos y Chemozems cálcicos.

### **Textura**

En general, las muestras de suelo se agrupan en tres clases de textura: arcillosa, franco arcillosa y franco arcillo arenosa. La importancia de cada clase depende del área geográfica donde fueron tomadas las muestras de suelo. Así, en la zona norte predomina el orden siguiente: arcillosa>franco arcillosa>franco arcillo arenosa. En ambas márgenes del río Verde, prevalece la secuencia arcillosa>franco arcillo arenosa>franco arcillosa. En relación con la fracción arcilla, se presentan dos gradientes: uno de norte a sur, relacionado con la pendiente general de la planicie, la cual es consecuencia de los eventos geológicos que dieron origen al valle; y otro de este a oeste, relacionado con la pendiente perpendicular al río Verde, resultante de los procesos de erosión y drenaje (Cuadro 1). La información anterior es similar a la de los puntos de verificación de la carta edafológica de CETENAL.

Los tres tipos de textura señaladas comparten, con diferente grado de intensidad, las características de la fracción arcilla, es decir, superficie específica muy elevada, y partículas con carga eléctrica superficial y comportamiento coloidal. Estas características tienen, entre otras, las implicaciones agrícolas siguientes: 1) Capacidad de intercambio catiónico alta. Cuanto más arcilla haya en un suelo, tanto más elevada es la capacidad de

intercambio de cationes. Los suelos de la clase franco arcillosa tienen de 15 a 20 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, mientras que los suelos de la clase arcillosa exceden por lo general de 20 cmol (+) kg<sup>-1</sup>. 2) Capacidad de retención y suministro de agua elevada. A medida que aumenta la cantidad de arcilla, también aumenta la capacidad para retener el agua; asimismo, el suministro de agua a la planta es mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos. 3) Permeabilidad baja. Al incrementarse el contenido de arcilla, disminuye la tasa de movimiento del agua y del aire a través del suelo, lo cual puede ocasionar problemas de encharcamiento y falta de oxígeno. 4) Dificultad de laboreo. En los suelos arcillosos dura poco tiempo el tempero, por lo que resulta difícil realizar las labores en el momento oportuno. Así, cuando el suelo está muy húmedo, la arada no lo disgrega, sino que forma grandes prismas invertidos; por el contrario, cuando está seco, esta labor requiere gran tracción y forma muchos terrones, que algunas veces no se destruyen con la rastra, sino que se hunden en el suelo (Russell, 1973; Tamhane *et al.*, 1978; Porta *et al.*, 1994).

### **Materia orgánica**

Con base en el contenido de materia orgánica (%), las muestras de suelo se agrupan en tres niveles: pobre (0.0-2.0), medio (2.1-3.0) y rico (>3.0). En general, predominan los suelos de nivel pobre y medio. En la zona norte, en el área de Pastora (porción accidental), poco menos de la mitad de las muestras corresponde a suelos ricos en materia orgánica; sin embargo, en el área de San Francisco (porción oriental), las dos terceras partes pertenecen a suelos pobres. En la margen izquierda del río Verde, tanto en el área de La Reforma (porción occidental) como en el norte de Rioverde (porción oriental) los porcentajes de

los tres niveles son similares. En la zona sur, en el área del Refugio, casi dos terceras partes de las muestras son de suelos pobres; mientras que en el Distrito de Riego 049, a cada nivel le corresponde alrededor de una tercera parte (Cuadro 2). Estos resultados son un reflejo de las prácticas de cultivo de la región, las cuales se caracterizan por la aplicación de fertilizantes químicos, la incorporación muy escasa de residuos de cosecha y la nula aplicación de estiércol. Cabe destacar, que el área hortícola más importante de la región, El Refugio, es una de las dos áreas que cuentan con la mayor proporción de suelos pobres en materia orgánica. Esto adquiere relevancia debido a que en ella se obtienen altos rendimientos mediante la aplicación excesiva y desproporcionada de fertilizantes químicos, y que se ha convertido en el ejemplo a seguir para los agricultores de la región. La información anterior coincide con la que se ha obtenido para los Phaeozems y Vertisoles de otras regiones del país (Morazzani y Ortega, 1972; Ramírez-Silva y Pérez-Zamora, 1990; Venegas *et al.*, 1991; Alvarado y Cruz, 1993; Pérez, 1993; Osuna *et al.*, 1994; Pérez, 1996; Pérez *et al.*, 1998; Salgado-García *et al.*, 2000). En los manuales de agronomía se señala que el bajo contenido de materia orgánica en los suelos, disminuye notablemente la eficacia de los fertilizantes químicos y dificulta las labores de labranza, por lo que se recomienda utilizar rotaciones de cultivos con requerimientos contrastantes, además de la incorporación de residuos de cosechas y abonos verdes, aplicación de estiércol y disminución de las labores de labranza al mínimo requerido (Buckman y Brady, 1966; Demolon, 1972; Russell, 1973; Porta *et al.*, 1994).



## CUADRO 1

PORCENTAJE DE MUESTRAS PARA LAS PRINCIPALES CLASES DE TEXTURA EN LOS SUELOS IRRIGADOS (CAPA SUPERFICIAL 0-30 cm) DE LA REGIÓN DE RIOVERDE, S.L.P.

Zona geográfica	N	Franco arcilloarenosa	Franco arcillosa	Arcillosa	Otras
<b>Norte</b>					
Pastora	81	8.6	13.6	72.8	5.0
San Francisco	22	0.0	13.6	81.8	4.6
<b>Margen izquierda del río Verde</b>					
Reforma-V. Noviembre	332	21.7	14.8	53.0	10.5
Norte de Rioverde	109	15.6	16.6	56.0	11.8
<b>Sur</b>					
El Refugio	242	30.6	13.6	41.7	14.1
Distrito de Riego 049	306	16.0	14.0	56.9	13.1

## CUADRO 2

PROPORCIÓN DE MUESTRAS CON DIFERENTE RIQUEZA DE MATERIA ORGÁNICA (%) EN SUELOS IRRIGADOS (CAPA SUPERFICIAL 0-20 cm) DE LA REGIÓN DE RIOVERDE, S.L.P.

Zona geográfica	<i>n</i>	≤2.0 (Pobre)	2.1-3.0 (Medio)	>3.0 (Rico)
<b>Norte</b>				
Pastora	104	26.9	26.9	46.2
San Francisco	21	66.7	14.3	19.0
<b>Margen izquierda del río Verde</b>				
Reforma-V. Noviembre	267	46.1	26.6	27.3
Norte de Rioverde	132	42.4	31.1	26.5
<b>Sur</b>				
El Refugio	203	60.1	22.2	17.7
Distrito de Riego 049	219	37.0	29.7	33.3

## pH

Las muestras de suelo se agrupan en cuatro clases en cuanto a su reacción: neutros (6.6-7.5), ligeramente alcalinos (7.6-8.0), medianamente alcalinos (8.1-8.5) y fuertemente alcalinos (>8.5). En la zona norte, los suelos ligeramente alcalinos y medianamente alcalinos comprenden más del 84% de las muestras consideradas para las porciones occidental y oriental. En la margen izquierda del río Verde, las tres primeras clases de pH ocurren en proporciones similares. En la región sur, en el área del Refugio predominan los suelos medianamente alcalinos, mientras que en el Distrito de Riego 049 dominan los ligeramente alcalinos (Cuadro 3). La información anterior concuerda con la obtenida para Phaeozems de Colima y Oaxaca (Pérez, 1993, 1996; Pérez *et al.*, 1998) y para Vertisoles de Morelos (Osuna *et al.*, 1994), asimismo con los datos generalizados para las unidades de suelos registrados en la región (FitzPatrick, 1984; FAO-UNESCO, 1991). Algunos efectos esperables para las clases de suelos ligeramente alcalinos y medianamente alcalinos, son: 1) Disminución en la disponibilidad de fósforo, pues con valores de pH mayores de 7.5 el fósforo se encuentra en formas pocos solubles (fosfato tricálcico). 2) Deficiencias de hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y cobalto; particularmente destacan problemas de clorosis. 3) Supresión de organismos benéficos; los organismos fijadores de nitrógeno asociados a cultivos de origen templado, disminuyen su actividad rápidamente a valores de pH superiores a 7.4. 4) Se favorecen organismos causantes de enfermedades en las plantas; tal es el caso del marchitamiento por *Verticillium* en el jitomate y otras solanáceas

(Worthen y Aldrich, 1956; Allaway, 1957; Hardy, 1970; Buckman y Brady, 1966; Russell, 1973; Porta *et al.*, 1994).

### **Salinidad**

Con base en los valores de conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$  a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), las muestras de suelo se agruparon en dos clases: suelos normales (0.0–4.0) y suelos salinos ( $>4.0$ ) (Cuadro 4). En general, en este respecto se presentan dos gradientes, uno de norte a sur, y otro de este a oeste, los cuales coinciden con los gradientes en el contenido de arcilla. En la zona norte, las muestras del área de San Francisco provienen de Solonchaks háplicos, mientras que las de Pastora proceden principalmente de Phaeozems cálcicos y Vertisoles eútricos. En esta zona, los suelos en forma natural han estado sujetos a un ciclo anual de inundación y secamiento, lo cual ha conducido a la acumulación de sales. En la margen izquierda del río Verde, las muestras proceden principalmente de Vertisoles eútricos, Chernozems cálcicos y Solonchaks háplicos. Aunque esta zona también está bajo la influencia de los ciclos anuales de inundación y secamiento, el problema de acumulación de sales se atenúa por el drenaje natural hacia el río Verde. En la zona sur se registra la menor proporción de suelos salinos; las muestras del área del Refugio corresponden a Phaeozems háplicos y las del Distrito de Riego 049, provienen de Chernozems cálcicos y Phaeozems háplicos. Esta zona presenta buen drenaje, debido a la red de drenes que se construyó al establecerse el Distrito de Riego 049, a principios de los ochenta. Así, los suelos con problemas de sales en la región se localizan principalmente en pequeñas depresiones que se han abierto al cultivo recientemente.

Con base en la información anterior y en el historial de uso de las áreas de riego señaladas, se puede afirmar que el problema de salinidad de los suelos de la región de estudio, es el resultado de la transformación en regadío de terrenos impropios para el cultivo. En la zona norte y en la porción oriental de la margen izquierda del río Verde, el problema de los suelos salinos se ha agravado por el uso de aguas con alto contenido de sales. En estos lugares, las prácticas de lavado y drenaje de los suelos resultan antieconómicas; por lo tanto, procede poner en práctica lo que Richards (1973) denomina como agricultura de suelos salinos; es decir, el riego, el lavado y las prácticas de cultivo deben dirigirse hacia el control de la salinidad. Asimismo, deben elegirse cultivos tolerantes a las sales y aplicarse mejoradores químicos cuando sea necesario.

### **Sodificación**

Con excepción del área de San Francisco, el porcentaje de sodio intercambiable de la mayoría de los suelos es menor del 5%. Esta cifra es muy inferior a 15%, con la cual se tienen serias dificultades para mantener el suelo permeable (Richards, 1973; Russell, 1973; Porta *et al.*, 1994). Asimismo, dicha cifra está por debajo del valor máximo del 5%, a partir del cual se pierden las propiedades físicas favorables de los suelos arcillosos (Dudal, 1967).

## CUADRO 3

PORCENTAJES DE LOS TIPOS DE REACCIÓN EN MUESTRAS DE SUELOS IRRIGADOS (CAPA SUPERFICIAL 0-30 cm) DE LA REGIÓN DE RIOVERDE, S.L.P.

Zona geográfica	N	Neuro (6.6-7.5)	Ligeramente alcalino (7.6-8.0)	Medianamente alcalino (8.1-8.5)	Fuertemente alcalino (>8.5)
<b>Norte</b>					
Pastora	153	5.2	48.4	41.8	4.6
San Francisco	33	15.2	66.7	18.1	0.0
<b>Margen izq. del río Verde</b>					
Reforma-V. Noviembre	335	35.5	23.6	37.0	3.9
Norte de Rioverde	228	38.6	30.7	27.2	3.5
<b>Sur</b>					
El Refugio	261	32.9	23.7	42.1	1.3
Distrito de Riego 049	396	34.8	42.7	19.7	2.8

CUADRO 4

PROPORCIÓN DE MUESTRAS SEGÚN SU NIVEL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ( $\text{dS m}^{-1}$  a 25 °C) PROCEDENTES DE SUELOS IRRIGADOS (CAPA SUPERFICIAL 0-30 cm) DE LA REGIÓN DE RIOVERDE, S.L.P.

Zona geográfica	<i>n</i>	0.0-4.0 (Normal)	>4.0 (Salino)
<b>Norte</b>			
Pastora	153	52.3	47.7
San Francisco	33	9.1	90.9
<b>Margen izquierda del río Verde</b>			
Reforma-20 Nov.	335	74.9	25.1
Norte de Rioverde	228	65.8	34.2
<b>Sur</b>			
El Refugio	262	92.4	7.6
Distrito de Riego 049	396	82.3	17.7

## Nutrientes

Los datos del contenido de nitrógeno en las muestras de suelo están calculados con base en los de materia orgánica, por lo que sería redundante presentarlos. Así, sólo se presenta la información correspondiente a fósforo y potasio.

**Fósforo.** Con base en el contenido de fósforo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), las muestras de suelo se agrupan en cuatro niveles: pobre ( $\leq 4.0$ ), medio (4.1-8.0), rico (8.1-18.0) y muy rico ( $> 18.0$ ) (Cuadro 5). En toda la región de estudio, la mayoría de las muestras analizadas corresponde a los niveles muy rico y rico. Esta abundancia del fósforo se puede explicar por la aplicación de altas cantidades de fertilizantes fosfóricos a las hortalizas que se siembran en rotación anual con el maíz. Sin embargo, como ya se señaló anteriormente, la mayoría de los suelos presenta valores de pH que varían entre 7.6 y 8.5, por lo que gran parte del fósforo puede estar en forma poco asimilable. Este problema se puede resolver mediante la aplicación combinada de fertilizantes fosfóricos con nitrogenados de residuo ácido, o bien, con la incorporación periódica de residuos de cosecha y de estiércol (Buckman y Brady, 1966; Tisdale y Nelson, 1970; Demolon, 1972; Aldrich y Leng, 1974).

**Potasio.** De acuerdo con el contenido de potasio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), las muestras se agrupan en cuatro niveles: pobre ( $\leq 102.0$ ), medio (102.1-146.0), rico (146.1-222.0) y muy rico ( $> 222.0$ ) (Cuadro 6). Las muestras analizadas corresponden principalmente a los niveles medio y muy rico. Los suelos con nivel medio predominan en las áreas de riego de manantiales, con mayor antigüedad de



cultivo, y los suelos con nivel muy rico en las áreas de bombeo de pozos, más recientes. Lo anterior indica que los suelos de la región de estudio pueden encontrarse en un proceso de agotamiento de la reserva de potasio, debido a que: a) las prácticas usuales de fertilización no incluyen la aplicación de fertilizantes potásicos; b) es nula la incorporación de estiércol y residuos de cosecha; y c) se cultivan especies que requieren altas cantidades de potasio. Por lo tanto, deben tomarse medidas para mantener o mejorar el contenido actual de potasio de los suelos de la región de estudio. En el área de manantiales, lo procedente, como podría demostrarse experimentalmente, es la aplicación de fertilizantes potásicos para aumentar el rendimiento de los cultivos; mientras que en el área de bombeo, la aplicación debe estar orientada al mantenimiento del nivel de riqueza de este nutrimento, tal como lo recomiendan Tisdale y Nelson (1970) y Aldrich y Leng (1974).

CUADRO 5

PROPORCIÓN DE MUESTRAS DE ACUERDO CON SU CONTENIDO DE FÓSFORO ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), DE SUELOS IRRIGADOS (CAPA SUPERFICIAL 0-20 cm) DE LA REGIÓN DE RIOVERDE, S.L.P.

Zona geográfica	<i>n</i>	$\leq 4.0$ (Pobre)	4.1-8.0 (Medio)	8.1-18 (Rico)	$>18.0$ (Muy rico)
<b>Norte</b>					
Pastora	104	10.6	6.7	21.1	61.60
San Francisco	22	4.5	0.0	4.5	91.00
<b>Margen izquierda del río Verde</b>					
Reforma-20 Nov.	324	7.4	4.9	14.8	72.90
Norte de Rioverde	118	8.5	4.2	17.8	69.50
<b>Sur</b>					
El Refugio	206	4.4	3.4	14.1	78.10
Distrito de Riego 049	246	1.6	2.8	7.3	88.30

CUADRO 6

PROPORCIÓN DE MUESTRAS SEGÚN SU CONTENIDO DE POTASIO ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), DE SUELOS IRRIGADOS (CAPA SUPERFICIAL 0-20 cm) DE LA REGIÓN DE RIOVERDE, S.L.P.

Zona geográfica	<i>n</i>	$\leq 102.0$ (Pobre)	102.1-146.0 (Medio)	146.1-222.0 (Rico)	$> 222.0$ (Muy rico)
<b>Norte</b>					
Pastora	104	1.9	21.1	1.0	76.00
San Francisco	22	0.0	100.0	0.0	0.00
<b>Margen izquierda del río Verde</b>					
Reforma-20 Nov.	324	0.1	42.6	0.0	57.30
Norte de Rioverde	118	0.0	42.4	4.2	53.40
<b>Sur</b>					
El Refugio	206	3.9	38.3	4.4	53.40
Distrito de Riego 049	246	2.0	67.1	5.7	25.20

### **Análisis multivariable de propiedades físicas y químicas de los suelos**

Los resultados del análisis de componentes principales para 10 atributos de las 492 muestras estudiadas, muestran que los primeros cuatro componentes principales explican el 70.02% de la variación total (Cuadro 7). El primer componente resume 29.06% y ordena las muestras de suelo de acuerdo con los contenidos de arena, materia orgánica, potasio y nitrógeno; el segundo resume 16.77 % de la variación y ordena las muestras de acuerdo con los contenidos de arcilla y arena; el tercero da cuenta del 13.05% de la variación y ordena las muestras con base en el porcentaje de sodio intercambiable y la conductividad eléctrica; y el cuarto explica el 11.14% de la variación y ordena las muestras de acuerdo con el contenido de limo.

La disposición espacial de las muestras de suelo sobre los primeros dos componentes principales, se presenta en la Figura 1. El arreglo de las muestras sobre el primer componente, corresponde a su ordenación sobre un gradiente de contenido de materia orgánica (las muestras 335 y 369 presentan valores altos, mientras que las 307 y 317 los tienen bajos). En el segundo componente, la ordenación sucede sobre un gradiente de contenido de arcilla (las muestras 282 y 283 tienen valores muy altos, y las 335 y 476 los tienen muy bajos).

Con base en los resultados generados por el CANOCO (Ter Braak, 1988), en la Figura 3 se presenta la ordenación de las variables evaluadas. La arcilla y arena destacan como variables contrapuestas, aunque la primera con alguna mayor importancia por su menor ángulo con respecto al eje de ordenación y por su relación estrecha con el porcentaje de sodio intercambiable y la conductividad eléctrica. Luego, como la materia orgánica y los tres

nutrimentos están muy correlacionados, como lo muestra la disposición y semejanza de sus vectores con magnitud y ángulo similares con respecto a los ejes de ordenación, la materia orgánica puede elegirse como la variable más significativa de ellas. Así, los porcentajes de arcilla, arena y materia orgánica resultan ser los atributos más significativos para la caracterización de los suelos de la región, de acuerdo con las condiciones dominantes de cultivo y prácticas de manejo. La evaluación de estos tres atributos puede orientar fácilmente los cambios en las prácticas actuales de cultivo para mantener o mejorar la fertilidad del suelo en un nivel apropiado de rentabilidad y persistencia.

### CONCLUSIONES

Los suelos irrigados de la región de Rioverde, S.L.P., se caracterizan por lo siguiente:

a) Predominio de la fracción arcilla en dos gradientes, uno de norte a sur, relacionado con la pendiente general de la planicie, y otro de este a oeste, relacionado con la pendiente dominante. Las clases de textura principales son: arcilla, franco arcillo arenosa y franco arcillosa.

b) Contenido de materia orgánica (%) en los niveles pobre (0.0-2.0) y medio (2.1-3.0).

c) pH en los niveles neutro (6.6-7.5), ligeramente alcalino (7.6-8.0) y medianamente alcalino (8.0-8.5).

d) Conductividad eléctrica en dos gradientes, coincidentes con los gradientes de la fracción arcilla. En las zonas margen izquierda del río Verde (porción occidental) y sur, el riego de suelos con conductividad eléctrica  $\leq 4$  dS

$\text{m}^{-1}$  a 25 °C, profundos y con buen drenaje, utilizando aguas que tienen una conductividad eléctrica de  $\leq 2 \text{ dS m}^{-1}$  a 25 °C, no ha causado acumulación de sales. Por el contrario, en las zonas norte y margen izquierda del río Verde (porción oriental), el riego de suelos salinos, poco profundos y con mal drenaje, aplicando aguas que presentan un conductividad eléctrica  $> 2 \text{ dS m}^{-1}$  a 25 °C, si ha provocado la acumulación de sales.

e) Porcentaje de sodio intercambiable  $< 5 \%$ .

f) El fósforo asimilable ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) se presenta en los niveles muy rico (8.1-18.0) y rico ( $>18.0$ ), mientras que el potasio asimilable ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) se encuentra en los niveles medio (102.1-146.0) y muy rico ( $> 222.0$ ).

Los resultados del análisis multivariable de un número importante de muestras de suelos de la región, indican que con sólo la determinación de los porcentajes de arena, arcilla y materia orgánica se puede conocer el estado actual de un suelo del área de estudio y las prácticas de manejo recomendables para su aprovechamiento racional.

Con base en lo anterior, se acepta la hipótesis de que los datos de análisis de suelos se utilizan para interpretar las propiedades físicas, químicas y de fertilidad de los mismos, por lo que su estudio permite reconocer los efectos del riego en la fertilidad del suelo.

## CUADRO 7

CORRELACIONES ENTRE LOS CUATRO PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (CP) Y 10 VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS IRRIGADOS DE LA REGIÓN DE RIOVERDE, S.L.P.

Variable	CP1 (29.06)	CP2 (16.77)	CP3 (13.05)	CP4 (11.14)
Conductividad eléctrica	0.5178	0.1709	<b>0.6605</b>	0.0971
PSI	0.2128	0.3838	<b>0.7069</b>	-0.1880
PH	0.4835	-0.1324	0.0727	-0.5241
Materia orgánica	<b>0.6359</b>	-0.2992	-0.1617	0.1746
Arena	<b>-0.6805</b>	<b>-0.6267</b>	0.2571	-0.2380
Limo	0.3997	-0.0647	0.2823	<b>0.7852</b>
Arcilla	0.5186	<b>0.7109</b>	-0.4227	-0.1727
Nitrógeno	<b>0.6035</b>	-0.5180	-0.0432	0.0495
Fósforo	0.5512	-0.3675	-0.1524	-0.1174
Potasio	<b>0.6153</b>	-0.3294	-0.0197	-0.2244

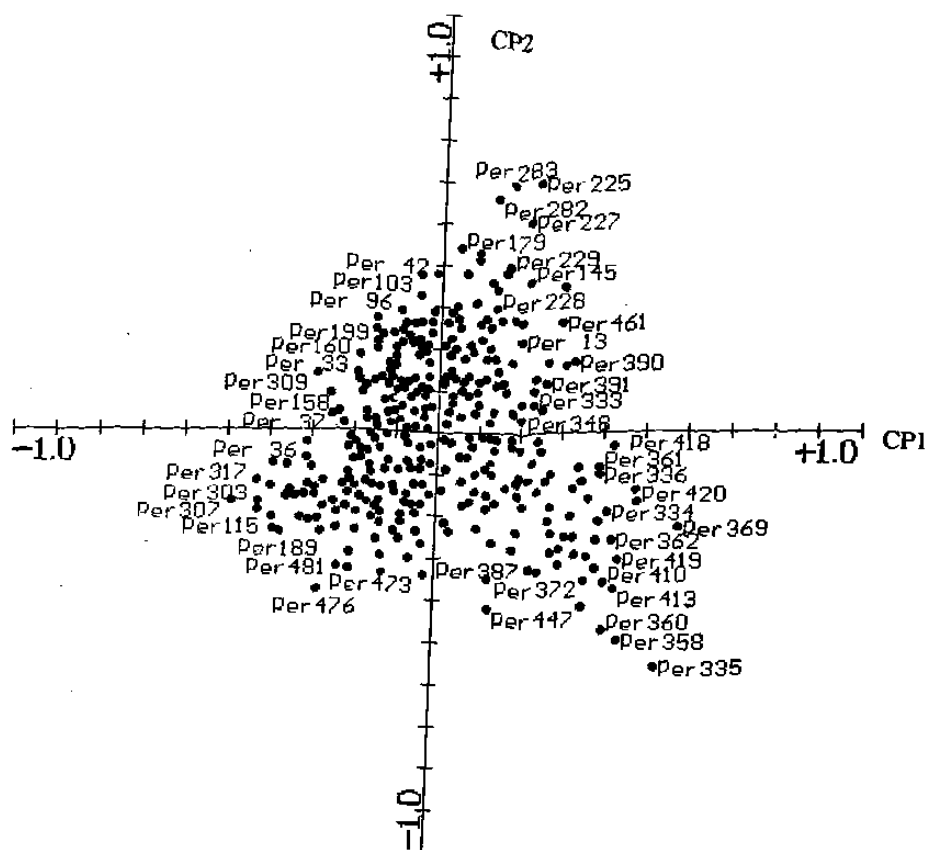


Figura 2. Ordenación de 492 muestras de suelo con base en diez atributos físicos y químicos, sobre los dos primeros componentes principales.



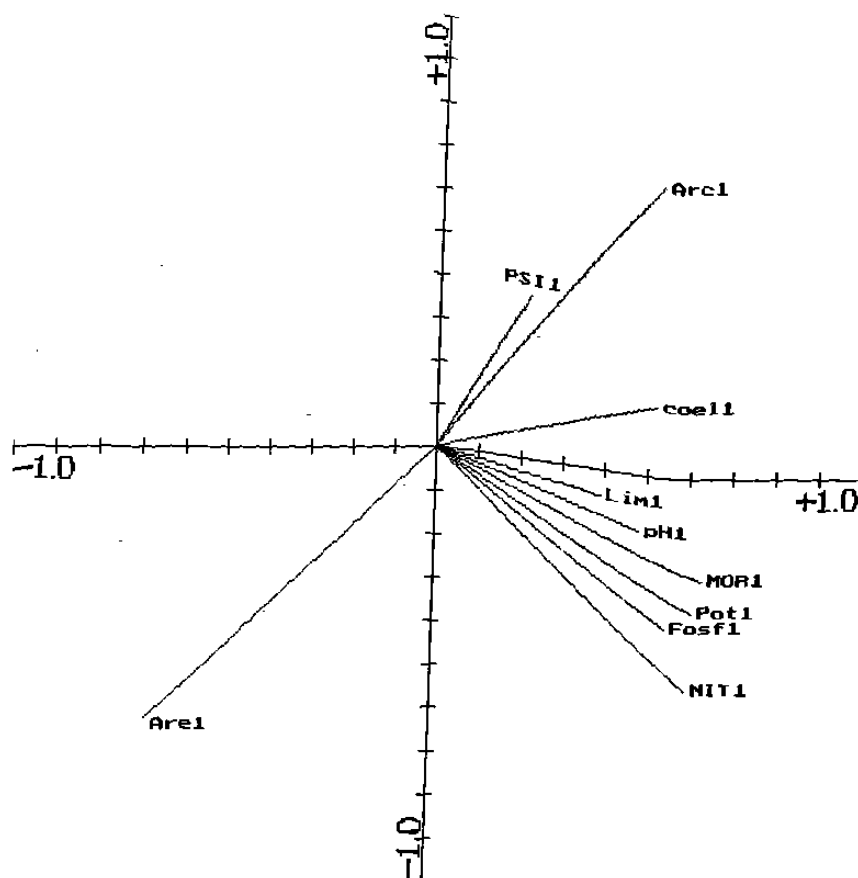


Figura 3. Ordenación de las diez variables físicas y químicas evaluadas en 492 muestras de suelo de la región de Rioverde, S.L.P. PSI1: porcentaje de sodio intercambiable; Arc1: arcilla; coel1: conductividad eléctrica; Lim1: limo; pH1: pH; MOR1: materia orgánica; Pot1: potasio; Fosf1: fósforo; NIT1: nitrógeno; Are1: arena.

**LITERATURA CITADA**

- Aldrich, S.R. y E. R. Leng. 1974. Producción moderna del maíz. Traducción al español de O. Martínez T. y P. Leguisamón. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
- Alvarado, A.R. 1973. Estudio geohidrológico de la cuenca del río Verde, estado de San Luis Potosí. Trabajo Recepcional. Escuela de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P.
- Alvarado L., J.; J. Cruz D. 1993. Relaciones cantidad-intensidad (Q/I) de potasio en suelos tropicales. Terra. 11(2): 127-134.
- Allaway, W.H. 1957. pH, soil acidity, and plant Growth. pp. 67-71. In: Soil. The yearbook of agriculture 1957. USDA. Washington, D.C.
- Buckman, O.H y N.C. Brady. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Traducción al español de R. Salord B. Editorial Montaner y Simón. Barcelona, España. 590 p.
- CETENAL. 1973. Cartas Edafológica, Geológica y Uso del suelo. Escala 1:50000. Hojas Angostura F-14-A-86, San Francisco F-14-A-87, El Refugio F-14-C-16 y Rioverde F-14-C-17.
- Charcas S., H., E. Olivares S. y J.R. Aguirre R. 2000. Agua de riego en la región de Rioverde, San Luis Potosí, México. (Enviado a Revista de Ingeniería Hidráulica en México).
- Demolon, A. 1972. Principios de agronomía. Crecimiento de los vegetales cultivados. Tomo II. 2a. edición. Traducción al español de J. Pérez M. Editorial Omega. Barcelona, España. 587 p.

- Dudal, R. 1967. Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales. Cuadernos de Fomento Agropecuario No. 83. FAO. Roma, Italia. 169 p.
- FAO-UNESCO. 1989. Mapa mundial de suelos. Leyenda revisada. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 60. FAO. Roma, Italia. 142 p.
- Fipps, G. 1996. Irrigation water quality standards and salinity management strategies. Texas Agricultural Extension Service. Texas, A&M University System. College Station, Texas. B-1667. 19 p.
- FitzPatrick, E.A. 1984. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. Traducción al español de A. Marino A. Editorial CECOSA. México. 416 p.
- Hardy, F. 1970. Edafología tropical. Traducción al español de R. Bazán. Editorial Herrero. México. 416 p.
- INEGI. 1994. San Luis Potosí. Resultados definitivos. VII. Censo agrícola-ganadero. Tomo I. México. 505 p.
- Michelet, D. 1996. Rioverde, San Luis Potosí. Instituto de Cultura San Luis Potosí, Lascasiana. CEMCA. México. 437 p.
- Montañez C., P. 1992. Hidrogeoquímica del municipio de Rioverde, San Luis Potosí. Trabajo Recepcional. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. 91 p.
- Morazzani H., R.; E. Ortega T. 1972. Contenido de las distintas formas de potasio en suelos tropicales y subtropicales de México. Agrociencia, Serie C. 7: 37-46.

- Osuna C., F. J.; A. Turrent F.; R. Moreno D. 1994. Respuesta de la nueva variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) Morelos A-92 a la densidad de población, a la fertilización, y a la fecha de transplante en condiciones de riego, en dos localidades del estado de Morelos. *Terra*. 12 (2): 225-239.
- Palacios, O. y E. Aceves. 1994. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 49 p.
- Pérez Z., O. 1993. Colección e interpretación de datos climatológicos del Campo Experimental Tecomán. *Terra*. 11 (2): 158-165.
- Pérez Z., O. 1996. Caracterización de los suelos de la llanura costera norte de Tecomán, Colima. *Terra*. 14 (3): 229-240.
- Pérez N., J.; V. Volke H.; M. Martínez M.; N. Estrella Ch. 1998. Erosión, productividad y rentabilidad de dos suelos del estado de Oaxaca. *Agrociencia*. 32 (2): 113-118.
- Porta C., J., M. López-Acebedo R. y C. Roquero de L. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 807 p.
- Ramírez S., J. H.; O. Pérez Z. 1990. Efecto de plataformas elevadas (planchas) en la producción de maíz de temporal en vertisoles típicos y gleicos del estado de Quintana Roo, México. *Terra*. 8 (1): 36-44.
- Richards, L.A. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Traducción al español de N. Sánchez D., E. Ortega T., R. Vera Z y R. Chena G. Editorial Limusa. México. 172 p.

- Russell, E.W. 1973. Soil conditions and plant growth. 10th. Edition. Longman. New York. 849 p.
- Salgado G., S.; R. Núñez E.; J. J. Peña C.; J. D. Etchevers B.; D. J. Palma L.; R. M. Soto H. 2000. Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia*. 34 (6): 689-698.
- Tamhane, R.V., D.P. Motiramani, Y.P. Bali y R.L. Donahue. 1978. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Traducción al español de A. Romero del V. Editorial Diana. México. 483 p.
- Ter Braak, C.J.F. 1988. CANOCO – a FORTRAN program for Canonical Community Ordination. Microcomputer Power, Ithaca, New York, USA. 95 p.
- Tisdale, S.L. y W.L. Nelson. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducción al español de J. Balasch y C. Piña. Editorial Montaner y Simón. Barcelona, España. 760 p.
- Venegas G., J.; M. Velásquez M.; J. L. Pimentel E. 1991. Respuesta del maíz al fósforo en la Ciénega de Chapala. *Terra*. 9 (2): 197-203.
- Worthen, E.L. y S.R. Aldrich. 1956. Farm soils. Their fertilization and management. 5th. Edition. Wiley. New York, USA. 439 p.

## Capítulo 6

### PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ PARA ELOTE Y GRANO EN LA REGIÓN DE RIOVERDE, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

#### Resumen

En Rioverde, S.L.P., México, el maíz se produce principalmente para elote. La producción de elote se caracteriza por: tracción motorizada y animal para labores de cultivo; cultivares tradicionales en densidad baja ajustada a una fertilización complementaria de la fertilidad residual del cultivo previo; rendimientos bajos de elote y de grano; rentabilidad alta en la producción de elote, pero baja en la de grano. En general los campesinos siembran tres hectáreas cada seis meses; así, necesitan mejores rendimientos para incrementar sus ingresos. Con este trabajo se comparó el rendimiento y rentabilidad de cinco cultivares tradicionales y cuatro mejorados utilizados para elote, sembrados en forma tradicional e intensiva. Se experimentó en dos localidades con suelo similar, pero con diferente tipo de riego (pozos o manantiales). Los tratamientos se asignaron en bloques completos al azar, cinco repeticiones y arreglo en parcelas divididas. La forma de manejo tradicional aventaja a la intensiva en la producción de elote y grano. Asimismo, los cultivares mejorados superan a los tradicionales en la producción de elote y

grano, en ambas formas de producción. El rendimiento y la rentabilidad fueron similares en ambas localidades.

**Palabras clave:** maíz, maíz para elote, elote; sistemas de cultivo; sistemas agrícolas tradicionales.

### **Summary**

Immature corn on the cob is the main form of maize grown in the Rio Verde region of San Luis Potosi, Mexico. It is produced in a variety of ways: land is cultivated by motor and animal traction; traditional cultivars are fertilized and planted at a density determined by the residual amount of fertilizer used on previous crops; low yields of grain and corn on the cob; low return from grain but the return for immature corn cob is high. Most farmers plant three corn hectares every six months. They need to increase their yields to increase their earnings. The object of this study was to compare the yields and monetary returns from traditional and improved cultivars of maize, planted under traditional and intensive forms of production. Two localities in the area of Rio Verde with the same soil type but which differed in the irrigation technique used (wells or springs) were studied experimentally. The yields of nine cultivars of maize were studied using a random block design with the two forms of production as treatments (low density/residual fertility versus high densities/recommended levels of fertilizer) and five repetitions of each treatment. No significant differences were observed between the two treatments in the production of immature corn cob and grain production. The improved cultivars produced more immature corn cob and grain than traditional cultivars under both experimental treatments.

There was no apparent difference in production and financial returns between the experiments using spring water and water pumped from the wells.

**Key Words:** corn, immature corn cob, traditional farming systems, cropping systems.

### **Introducción**

La región agrícola de Rioverde se ubica en el sureste del estado de San Luis Potosí, entre los meridianos 99° 50' y 100° 10' al oeste de Greenwich y entre los paralelos 21° 45' y 22° 10' de latitud norte; su altitud varía alrededor de los 900 m; el clima es semiseco y semicálido con precipitación y temperatura anual promedio de 497 mm y 21°C, respectivamente; el régimen de lluvias es de verano; las heladas son ocasionales.

En esta región, el maíz para grano se ha cultivado ampliamente desde hace unos 400 años; sin embargo, las políticas gubernamentales de los años ochenta repercutieron negativamente en la producción y rentabilidad de este cultivo (Aburto, 1979; CDIA, 1980; Montañez y Warman, 1985). Como consecuencia de lo anterior, y de la demanda creciente de productos hortícolas de las ciudades en expansión, los campesinos de la región de Rioverde, inducidos por los intermediarios hortícolas, reorientaron el cultivo del maíz hacia la producción comercial de elote, lo cual les permitió obtener mejores precios por la cosecha, disminuir los costos de producción e incrementar la rentabilidad en un nivel aceptable. Desde entonces, la producción de elote adquirió importancia hasta convertirse actualmente en el propósito predominante en las 5000 hectáreas que se cultivan con maíz dos veces al año (Charcas *et al.*, 2000).



Con base en el grado de manejo del cultivo, la producción de maíz para elote se encuentra en una transición de tradicional a intensiva, y se caracteriza por lo siguiente: rotación del maíz con hortalizas; predominio de la tracción motorizada para realizar las labores de preparación del suelo y de la tracción animal para realizar las de siembra, escarda y aporque; siembra de cultivares criollos en golpes o matas a una densidad de población ajustada al efecto residual de los fertilizantes aplicados a las hortalizas precedentes; preponderancia de los fertilizantes nitrogenados, aplicados en cantidades desproporcionadas y fuera de tiempo; bajos rendimientos tanto de elote como de grano; y rentabilidad alta en la producción de elote, pero baja en la grano. Hasta ahora, los productores con mejores resultados son aquellos que usan densidades de población bajas, aplican fertilizantes nitrogenados en cantidades moderadas y consiguen altos precios por la cosecha.

El rendimiento promedio de elote logrado con cultivares tradicionales ("criollos") es de  $6 \text{ t ha}^{-1}$ , equivalente a  $2.4 \text{ t ha}^{-1}$  de grano. La rentabilidad máxima actual es alrededor del 170%, lo cual significa  $\$ 4402 \text{ ha}^{-1}$ , y corresponde a los productores que producen  $9.2 \text{ t ha}^{-1}$ , pero la mayoría de los campesinos sólo puede sembrar tres hectáreas como máximo cada seis meses; por ello, se requiere incrementar la productividad y mantener o mejorar la rentabilidad para poder aumentar en forma significativa los ingresos netos de los productores de maíz.

En el cultivo del maíz, los cultivares mejorados expresan plenamente su potencial de rendimiento cuando se siembran en altas densidades de población y se les proporciona los nutrimentos en la cantidad, proporción, tiempo y forma

adecuados. Por el contrario, los cultivares tradicionales responden mejor a bajas densidades de población, sobre todo en los suelos que presentan baja fertilidad (Purseglobe, 1972; Martin *et al.*, 1976; Evans, 1993). Asimismo, la fertilización del maíz debe concordar con las necesidades específicas del cultivo, las cuales están determinadas por la naturaleza del producto (grano, forraje o elote), la capacidad de producción del cultivar y las condiciones edáficas y climáticas (Jacob y Uexküll, 1964). Actualmente, se conoce la cantidad en que deben aplicarse los principales nutrimentos (N, P y K) para lograr un determinado rendimiento. Así, para producir 25 kg de grano de maíz, incluyendo el rastrojo, se requiere 1.0 kg de nitrógeno ( $\text{NO}_3$ ), 0.4 de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y 0.8 de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) (Martin *et al.*, 1976). En el caso del nitrógeno, la absorción es lenta durante el primer mes después de la siembra y se incrementa a un máximo de  $4.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  durante la floración masculina; por tanto, se recomienda aplicar una tercera parte del nitrógeno y todo el fósforo y potasio al momento de la siembra, y el resto del nitrógeno cuando la planta llega a la altura de la rodilla (Purseglobe, 1972). La aplicación del fertilizante en banda paralela a la semilla, permite que la planta lo aproveche rápidamente, y se reduce la fijación e inmovilización de los nutrimentos (Loomis y Connor, 1992).

El maíz ha alcanzado los rendimientos medios más altos en los países desarrollados de la zona templada, donde se cultiva en condiciones óptimas de clima y suelo y con un nivel de manejo tecnológico alto; en contraste, en los países en desarrollo de la zona tropical, aun bajo riego y con un nivel de manejo tecnológico alto, los rendimientos promedio son más bajos. Lo anterior se debe

a que los cultivares tropicales son poco eficientes para producir grano, pues presentan una baja relación grano/paja y plantas altas con tendencia al acame, por lo que responden menos al manejo (Paliwal y Sprague, 1981).

En la India ha sido posible obtener entre 4000 y 5000 kg ha<sup>-1</sup> de grano de maíz, mediante el empleo de cultivares mejorados y la aplicación de dosis de fertilización nitrogenada entre 88-132 kg ha<sup>-1</sup> y fosfatada y potásica entre 44-88 kg ha<sup>-1</sup> (Purseglobe, 1972; Dayanand, 1999). En la Faja Maicera de los Estados Unidos se obtienen 6270 kg ha<sup>-1</sup> (100 bushel acre<sup>-1</sup>) mediante la siembra de cultivares que maduran alrededor de los 120 días, y con la aplicación de 168, 57 y 135 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente (Purseglobe, 1972).

En México, hasta 1980, la mayoría de los cultivares mejorados recomendados para las regiones cálidas y semicálidas, eran maíces que disponían de una base genética reducida y presentaban el inconveniente de ser muy altos y susceptibles al acame (Reyes *et al.*, 1961; Neve *et al.*, 1962). Lo anterior, aunado al mayor costo de la semilla y a la incapacidad de las instituciones de gobierno para producir y distribuirla oportunamente, repercutió en una baja aceptación por parte de los productores de maíz (Paliwal y Sprague, 1981). A partir de entonces, los esfuerzos en el mejoramiento del maíz se han encauzado a producir cultivares con una mayor base genética y que se adapten a las condiciones de producción de los agricultores (Gerón *et al.*, 1981; Paliwal y Sprague, 1981; Sprague, 1981; Aguilar *et al.*, 1990; Sierra *et al.*, 1990; Coutiño, 1994).

La investigación en fertilidad de suelos de los años cuarenta y cincuenta mostró que el 95% de los suelos del país reaccionaban a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, pero sólo del 25 al 30% a los fosfatados y menos del 5% a los potásicos (Colwell, 1947; Stakman *et al.*, 1969). A pesar de que ya transcurrió medio siglo y se ha intensificado el uso del suelo, persiste la idea de que es innecesario fertilizar con potasio. Así, para la región de Rioverde se sigue recomendando la fertilización del maíz para grano con la fórmula 160-60-00, repartida en dos aplicaciones: 80-60-00 en la siembra y 80-00-00 en la segunda escarda (Hernández *et al.*, 1988).

El objetivo del trabajo fue evaluar la productividad y rentabilidad del sistema de producción del maíz para elote y/o grano.

Para cumplir con el objetivo anterior, se planteó la hipótesis siguiente: la evaluación de la productividad y rentabilidad de un sistema de producción permite explicar su eficiencia tecnológica y económica, por lo tanto, es posible plantear mejoras al sistema de producción de maíz para elote y/o grano.

### **Materiales y métodos**

El trabajo experimental se realizó en el ciclo de cultivo de iniverno-primavera de 1998, en las localidades de San José del Tapanco (Rioverde) y El Refugio (Cd. Fernández), bajo condiciones de riego y en parcelas de agricultores cooperantes. Cada experimento consistió en evaluar nueve cultivares de maíz para elote (cinco tradicionales y cuatro mejorados), sembrados bajo dos formas de cultivo (tradicional e intensiva). En San José del Tapanco se midieron las variables siguientes: rendimiento de elote, grano y forraje verde; altura total de la planta e inserción del elote; peso, longitud y

diámetro del elote. En la localidad de El Refugio sólo se obtuvieron datos de rendimiento de elote y grano.

La semilla de los cultivares tradicionales se adquirió de agricultores de renombre regional, que se dedican a la producción de maíz para elote, y que parte de su producción de grano la comercializan como semilla para producir elote. Dichos agricultores pertenecen a las comunidades de El Refugio (Mpo. de Cd. Fernández), El Jabalí y San José del Tapanco (Mpo. de Ríoverde). La semilla de los cultivares mejorados comerciales se obtuvo de los distribuidores regionales de las compañías semilleras del país.

La forma de cultivo tradicional consistió en utilizar una densidad de población de 34000 plantas ha<sup>-1</sup>, distribuida en golpes (con dos granos) separados 70 cm y en surcos espaciados 84 cm, y la fórmula de fertilización 100-60-60, aplicada en una sola dosis al momento de la primer escarda; esta forma de siembra y fertilización, la utilizan los productores de maíz para elote más exitosos de la región. Para el cultivo intensivo se utilizó una densidad de población de 59500 plantas ha<sup>-1</sup>, distribuida en golpes (con dos granos) separados 40 cm y en surcos espaciados 84 cm, con fertilización 150-60-00, fraccionada en dos aplicaciones, 50-60-00 al momento de la siembra y 100-00-00 en la primer escarda. Esta forma de cultivo se basó en las recomendaciones para la producción de maíz para grano de Hernández *et al.* (1988), modificadas para elote y siembra manual con tracción animal.

Los tratamientos formados por la combinación de los nueve cultivares y los dos sistemas de manejo se distribuyeron en bloques completos al azar con cinco repeticiones; asimismo, se arreglaron en parcelas divididas, en las cuales

la parcela grande fue el sistema de cultivo y la parcela menor los cultivares. La parcela experimental fue de cuatro surcos de 10 m de longitud, con separación de 84 cm. El rendimiento de elote y forraje verde se estimó de los dos surcos centrales, excluyendo un metro en cada extremo. El rendimiento de grano se estimó de los surcos del borde, descartando también un metro de cada extremo. La altura total de la planta y de inserción del elote se derivó del promedio de diez plantas. La dimensión y peso del elote se obtuvo del promedio de tres elotes.

Con base en la relación beneficio costo se consideraron las ventajas tanto de los dos sistemas de producción como de cada uno de los cultivares.

El tratamiento estadístico de los datos consistió en análisis de varianza, y donde se detectó un valor de F significativo, se procedió a la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) con el paquete SAS.

## **Resultados y discusión**

### **a) San José del Tapanco**

En el Cuadro 1 se presentan los cuadrados medios para los factores de variación formas de producción, cultivares e interacción entre ambos, para las variables bajo estudio. Los resultados anteriores muestran que el rendimiento de elote fue estadísticamente similar entre formas de producción, pero con diferencias significativas entre cultivares e interacción significativa entre ambos factores. En cambio, el rendimiento de forraje verde presentó diferencias significativas entre formas de producción y entre cultivares, aunque su interacción no fue significativa. El rendimiento de grano mostró diferencias significativas sólo entre cultivares.

Cuadro 1. Cuadrados medios para ocho variables de elote y grano de maíz cultivado en San José del Tapanco, Rioverde, S.L.P., México, 1998.

Fuente de variación	G.L.	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>			Altura de la planta (cm)		Características del elote		
		Elote	Forraje verde	Grano	Total	Inserción del elote	Peso con brácteas (gr)	Longitud sin brácteas (cm)	Díámetro sin brácteas (cm)
Repeticiones	4	53.3	56.3	27.7	452.2	524.3	0.0629	4.34	0.07
Formas de producción (A)	1	0.3	1272.4 *	10.5	4216.2 *	4424.0 *	0.2588 *	2.30	0.19
Error (a)	4	28.1	64.7	10.3	540.3	384.4	0.0026	1.46	0.03
Cultivares (B)	8	120.4 *	321.6 *	12.6 *	14538.4 *	12771.6 *	0.0896 *	5.75 *	1.12 *
AxB	8	10.0 *	9.8	0.9	108.2	90.4	0.0064	1.18	0.03
Error (b)	64	4.5	13.9	0.9	122.9	66.4	0.0238	1.37	0.04
Total	89								

\* P ≤ 0.05

Que el rendimiento de elote y grano en ambas formas de producción haya sido estadísticamente similar, probablemente se debió al buen nivel de fertilidad de la parcela donde se estableció el experimento. En efecto, según Charcas *et al.* (2002), los suelos de Rioverde donde se rota el maíz con hortalizas son ricos en fósforo y potasio y presentan un efecto residual de la fertilización nitrogenada de 90 a 160 kg.

Producir maíz para elote y grano con la forma intensiva representa una pérdida de \$ 405 ha<sup>-1</sup>, cantidad que corresponde al costo adicional de 90 kg de N (NO<sub>3</sub>) y de su aplicación. Por lo tanto, esta forma de producción resulta menos rentable que la forma tradicional.

En la interacción forma de producción x cultivar, los cultivares mejorados, excepto Huracán, incrementaron el rendimiento de elote en la forma intensiva, mientras que los tradicionales, salvo Hipólito, lo disminuyeron. Al comparar los promedios de rendimiento de elote, resultó que los cultivares mejorados Asgrow 7573, Aspros 910 y Dekalb 880, sembrados bajo la forma intensiva, produjeron los rendimientos más altos; asimismo, el mejor cultivar mejorado (Asgrow 7573) supera al mejor tradicional (Hipólito) en 6.7 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 2). Si se considera un precio promedio de \$ 626 t<sup>-1</sup>, el valor de la cosecha de elote menos el costo de la semilla del cultivar mejorado (\$ 670), la diferencia entre estos cultivares es de \$ 3524. Estos resultados coinciden con la información que presentan Aldrich y Leng (1974), Loomis y Connor (1992), Evans (1993) y Dayanand (1999), sobre la interacción manejo x cultivar.

En la producción de forraje verde, los rendimientos promedio con la forma de producción intensiva fueron 37.4 t ha<sup>-1</sup>, y con la regional, 29.9 t ha<sup>-1</sup>,



(una diferencia de  $7.5 \text{ t ha}^{-1}$ ). Así, parece posible incrementar el rendimiento de forraje verde mediante la forma de producción intensiva; sin embargo, los ingresos que se obtienen con la venta de  $7.5 \text{ t}$  de forraje, apenas son suficientes para cubrir los gastos de la fertilización adicional.

En el Cuadro 3 se presentan los rendimientos medios de forraje verde y grano de los cultivares, los cuales varían de  $26.0$  a  $45.3 \text{ t ha}^{-1}$  y de  $3.0$  a  $6.4 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. Con base en la comparación múltiple de medias, los cultivares pueden agruparse en: i) cultivares mejorados, con rendimientos de grano mayores de  $5.2 \text{ t ha}^{-1}$ , y de forraje verde menores de  $32.3 \text{ t ha}^{-1}$ ; ii) cultivares tradicionales, con rendimientos de grano y forraje verde en las amplitudes de  $3.5$  a  $4.5$  y  $32.0$  a  $37.8 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente; iii) cultivar tradicional Gabino, que presenta el rendimiento de grano más bajo ( $3.0 \text{ t ha}^{-1}$ ), pero el más alto ( $45.3 \text{ t ha}^{-1}$ ) de forraje verde. Cabe destacar que los cultivares mejorados aventajan a los tradicionales en la producción de grano, pero producen menos forraje; esto puede atribuirse a baja eficiencia en la asignación de materia seca al grano de los cultivares tradicionales, lo cual repercute en su índice de cosecha bajo, como lo señalan Norman *et al.* (1995); a la vez, que el mejor cultivar mejorado (Asgrow 7573) supera al mejor criollo (Luis) en  $1.9 \text{ t ha}^{-1}$  de grano, pero es inferior en  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de forraje verde. Si sólo se considera la producción de grano, con un precio promedio de  $\$ 1204 \text{ t}^{-1}$ , el valor de la cosecha de grano menos el costo de la semilla del cultivar mejorado ( $\$670$ ), generaría una diferencia entre estos cultivares extremos de  $\$ 1617$ .

Cuadro 2. Rendimientos promedio de elote ( $t\ ha^{-1}$ ) de nueve cultivares de maíz sembrados bajo formas tradicional e intensiva. San José del Tapanco, Rioverde, S.L.P., México. 1998.

Cultivar	Forma de manejo		Incremento (%)
	Tradicional	Intensiva	
Asgrow 7573	15.1 ab <sup>2</sup>	17.1 a	13.2
Aspros 910	13.5 abcde	15.1 ab	11.8
Huracán	14.1 abcd	13.8 abcd	- 4.4
Dekalb 880	12.9 abcde	15.1 ab	17.0
Luis	10.1 cdef	9.7 def	- 4.0
Hipólito	9.3 def	10.4 bcdef	11.8
Chón	9.6 def	7.6 fg	- 20.8
Prisciliano	8.8 efg	7.3 fg	- 17.1
Gabino	7.8 fg	4.2 g	- 46.2

<sup>2</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de D.S.H. a una  $P \leq 0.05$ .

Cuadro 3. Rendimiento medio ( $t\ ha^{-1}$ ) de elote, grano y forraje verde en maíz para elote. San José del Tapanco, Rioverde, S.L.P. México. 1998.

Cultivar	Grano	Forraje verde
Asgrow 7573	6.4 a <sup>z</sup>	27.8 de
Aspros 910	5.7 ab	32.3 cd
Huracán	5.6 ab	32.0 cd
Dekalb 880	5.2 abc	26.0 e
Luis	4.5 bcd	37.8 b
Hipólito	4.0 cde	32.0 cd
Chón	4.1 cde	33.9 bc
Prisciliano	3.5 de	35.9 bc
Gabino	3.0 e	45.3 a

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales según, la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

### **Características de la planta relacionadas con facilidad de cosecha, problemas de polinización y del acame**

Las variables altura total de planta y a la inserción del elote muestran diferencias significativas entre las medias correspondientes a formas de producción y entre cultivares, pero su interacción resultó no significativa (Cuadro 1). Con respecto a la forma de producción regional, la forma intensiva presentó incrementos promedio de 13.7 y 14.0 cm en las alturas de planta y de inserción del elote, respectivamente. Lo anterior se refleja en un incremento en el rendimiento de forraje; sin embargo, en los cultivares tradicionales, también significa mayor proporción de plantas improductivas (horras) debido a fallas totales o parciales en la polinización provocadas por desarrollo deficiente de los estigmas (Loomis y Connor (1992), así como un mayor riesgo de acame, particularmente cuando la lluvia ocurre en periodos prolongados o se presenta con vientos. Por lo tanto, cuando se siembran cultivares tradicionales, las densidades de población y dosis de fertilización recomendadas para la producción de grano pueden ser contraproducentes para la producción de elote.

Con base en las alturas promedio de planta y de inserción del elote y su comparación mediante la prueba de Tukey, los cultivares pueden reunirse en tres grupos (Cuadro 4): i) porte alto, con sólo el cultivar tradicional Gabino, que presenta serios problemas para la recolección del elote, pues la planta se tiene que abatir para desprender el elote, lo cual posteriormente dificulta la cosecha del forraje; ii) porte intermedio, comprende los cultivares tradicionales Luis, Chón, Prisciliano e Hipólito, que, aunque en menor grado, también presentan problemas para la recolección del elote, sobre todo para trabajadores bajos; y

iii) porte bajo, lo forman los cultivares mejorados, en los que la recolección del elote se realiza con rapidez y facilidad. En este último grupo es factible aumentar la densidad de población y dosis de fertilización sin que se presenten los problemas de acame del cultivo y de polinización deficiente.

### **Características del elote relacionadas con la calidad comercial**

De acuerdo con el Cuadro 1, el peso medio del elote con brácteas presentó diferencias significativas entre formas de producción y entre cultivares, pero no en la interacción entre estos factores. Las diferencias en longitud y en diámetro del elote sin brácteas fueron significativas entre cultivares, pero no entre formas de producción ni en la interacción de ambos factores.

Con respecto a la forma de producción regional, la forma intensiva generó un decremento medio de 38 g en el peso del elote, lo cual se relaciona con una disminución del tamaño del elote (diámetro). Esta respuesta se debe a plasticidad morfológica de la planta de maíz en relación con la densidad de población, pues a medida que se incrementa el número de plantas por unidad de superficie, en el elote o en la mazorca disminuyen el número de granos y el peso por grano (Milthorpe y Moorby, 1982; Loomis y Connor, 1992). Por ello, las densidades de población recomendadas para la producción de grano pueden ser inadecuadas para la producción de elote.

Con base en el peso y tamaño medio del elote y su comparación mediante la prueba de Tukey, pueden reconocerse dos grupos de cultivares

Cuadro 4. Altura media (cm) en cultivares de maíz para elote. San José del Tapanco, Rioverde, S.L.P. México. 1998.

Cultivar	Inserción del elote	Total
Gabino	183 a <sup>2</sup>	280 a
Luis	155 b	260 b
Chón	147 bc	255 b
Prisciliano	145 bc	246 bc
Hipólito	138 c	237 c
Aspros 910	118 d	212 d
Huracán	97 e	196 de
Asgrow 7573	82 f	185 e
Dekalb 880	78 f	167 f

<sup>2</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

(Cuadro 5): i) cultivares mejorados y tradicionales con un peso promedio entre 450 y 517 g y una longitud media entre 20.4 y 21.6 cm, entre los cuales destacan Asgrow 7573 y Luis; y ii) el cultivar mejorado Aspros 910, el de menor tamaño, con un peso medio de 423 g y una longitud de 19.2 cm.

#### **b) El Refugio**

En el Cuadro 6 se presentan los cuadrados medios de los factores de variación formas de cultivo, cultivares y la interacción de ambos factores, para las variables rendimiento de elote y grano. Estos resultados indican que el rendimiento de elote y grano muestran diferencias significativas sólo entre cultivares (Cuadro 6). La similitud estadística en los rendimientos medios de ambas formas de producción indica que en esta localidad el nivel de fertilidad del suelo es bueno; lo anterior concuerda con la información sobre la fertilidad de los suelos de la región que presentan Charcas *et al.* (2002).

De acuerdo con los rendimientos promedio y su comparación múltiple (Cuadro 7), los cultivares se pueden agrupar en: i) cultivar mejorado Aspros 910, con el rendimiento medio de elote más alto ( $14.5 \text{ t ha}^{-1}$ ), aunque el de grano fue intermedio ( $5.8 \text{ t ha}^{-1}$ ); ii) cultivares mejorados y tradicionales con rendimientos intermedios de elote ( $10.9$  a  $12.2 \text{ t ha}^{-1}$ ) y de grano ( $5.4$  a  $6.2 \text{ t ha}^{-1}$ ); y iii) cultivar mejorado Dekalb 880, con rendimiento de elote intermedio ( $11.6 \text{ t ha}^{-1}$ ), pero el más bajo de grano ( $4.9 \text{ t ha}^{-1}$ ). En general, en esta localidad el rendimiento de elote de los cultivares mejorados fue menor y el de los tradicionales mayor que en San José del Tapanco; aun así, con excepción del cultivar tradicional Hipólito, los cultivares mejorados superaron a los

tradicionales. El cultivar Aspros 910 superó al tradicional Hipólito en 2.3 t. Estos dos cultivares ocuparon el segundo y sexto lugar, respectivamente, en la localidad de San José del Tapanco.

Finalmente, el rendimiento promedio de elote del experimento en la localidad de El Refugio fue de 11.5 t ha<sup>-1</sup>, y en José del Tapanco 11.2 t ha<sup>-1</sup>; esta diferencia de 0.3 t ha<sup>-1</sup> equivale a unos \$ 180. Por lo tanto, se puede concluir que en ambas localidades el rendimiento y la rentabilidad es similar.

### **Conclusiones**

El sistema de producción tradicional permite una producción de elote y grano similar al intensivo, pero ligeramente inferior de forraje verde; por lo tanto, resulta ser la forma más rentable de producir elote y grano.

En ambos sistemas de producción, los cultivares mejorados superan a los tradicionales en la producción de elote y grano. Asimismo, con la forma intensiva los cultivares mejorados incrementan el rendimiento de elote y grano, mientras que los tradicionales lo disminuyen.

En ambos tipos de riego, el rendimiento y rentabilidad del maíz para elote son similares.

Actualmente, es posible mejorar la productividad del maíz para elote y grano tan sólo con el uso de los cultivares mejorados Asgrow 7573 y Aspros 910, o de los cultivares tradicionales Luis e Hipólito.

Con base en lo anterior, se acepta la hipótesis de que la evaluación de la productividad y rentabilidad de un sistema de producción permite explicar su eficiencia tecnológica y económica, por lo tanto, es posible plantear mejoras al sistema de producción de maíz para elote y/o grano.



Cuadro 5. Peso (kg) y tamaño (cm) medio del elote en maíz para elote cultivados en San José del Tapanco, Rioverde, S.L.P. México. 1998.

Cultivar	Peso	Longitud	Diámetro
Asgrow 7573	0.517 a <sup>2</sup>	21.6 a	4.6 cd
Luis	0.503 a	20.8 ab	5.0 ab
Dekalb 880	0.500 a	21.0 a	4.3 de
Con	0.498 a	20.6 ab	5.0 ab
Hipólito	0.495 ab	21.6 a	4.8 bc
Prisciliano	0.495 ab	20.4 ab	5.0 ab
Huracán	0.450 ab	21.5 a	4.2 e
Aspros 910	0.423 b	19.2 b	4.4 de

<sup>2</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

Cuadro 6. Cuadrados medios para rendimiento de elote y grano de maíz cultivado en El Refugio, Cd. Fernández, S.L.P., México. 1998.

Fuente de variación	G.L.	Rendimiento	
		Elote	Grano
Repeticiones	4	9.0	3.48
Formas de producción (A)	1	16.0	0.40
Error (a)	4	45.9	2.83
Cultivares (B)	8	23.4 *	2.15 *
AxB	8	6.2	0.67
Error (b)	64	7.1	0.84
Total	89		

\*  $P \leq 0.05$

Cuadro 7. Rendimiento medio ( $t\ ha^{-1}$ ) de cultivares de maíz para elote. El Refugio, Cd. Fernández, S.L.P. México. 1998.

Cultivar	Elote	Grano
Aspros 910	14.5 a <sup>2</sup>	5.8 ab
Hipólito	12.2 ab	6.3 a
Asgrow 7573	12.2 ab	6.3 a
Huracán	11.8 ab	6.1 ab
Dekalb 880	11.6 ab	4.9 b
Luis	10.9 ab	5.4 ab
Prisciliano	10.6 b	5.6 ab
Chón	10.5 b	5.5 ab
Gabino	9.0 b	5.4 ab

<sup>2</sup>Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

**Literatura citada**

- ABURTO, H. 1979. El maíz: producción, consumo y política de precios, pp. 129-175. *In*: Maíz, política institucional y crisis agrícola. C. Montañez; H. Aburto (eds.). CIDER. Nueva Imagen. México.
- AGUILAR C., G.; CASTILLO G., R.A.; MORALES I., A.; SIERRA M., M.; PRECIADO O., R.E.; MARTÍNEZ C., J.J.; GÓMEZ M., N.; VALDIVIA B., R.; BARRÓN F., S. 1990. V-532 variedad de maíz para suelos mecanizados de la península de Yucatán y del estado de Tabasco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 13(2): 205.
- ALDRICH, S.R.; LENG, E.R. 1974. Producción moderna del maíz. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 308 p.
- CDIA. 1980. El cultivo del maíz en México. CDIA. México. 148 p.
- COLWELL, W.E. 1947. Fertilizante comercial conteniendo nitrógeno y fósforo para aumentar los rendimientos de maíz. Folleto de Divulgación Núm. 1. OEE. SAG. México, D.F. 11 p.
- COUTIÑO E., B. 1994. Nuevos híbridos de maíz para regiones tropicales de México. *Agricultura Técnica en México*. 20(1): 15-25.
- CHARCAS S., H; AGUIRRE R., J.R; OLIVARES S., E. 2000. Proceso de conformación agrícola de la región de Río Verde, San Luis Potosí, México. *Revista Geográfica*. 128: 105-117.
- CHARCAS S., H; AGUIRRE R., J.R; OLIVARES S., E. 2002. Suelos irrigados en la región de Rioverde, San Luis Potosí, México. (Aceptado por la *Revista Terra*).

- DAYANAND. 1999. Maize, pp. 41-61. *In*: Techniques and management of field crop production. P.S. Rathore (ed.). Agrobios. India.
- EVANS, L.T. 1993. Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge University Press. New York, NY. USA. 500 p.
- GERÓN X., F.; SIERRA M., M.; ALCÁZAR A., J.J.; BALDERAS M., M. 1981. "VS-525" una nueva variedad de maíz de polinización libre para las regiones tropicales de México. SARH. INIA. CIAGOC. Folleto Técnico. Núm. 4. Veracruz, Ver. México. 8 p.
- HERNÁNDEZ A., J.A.; JASSO CH., C.; ESTRADA A., J.; BARRÓN C., J.L. 1988. Cómo producir maíz de riego en la zona media de San Luis Potosí. Folleto para Productores Núm. 2. INIFAP. CIFAP-SLP. San Luis Potosí, S.L.P. México. 7 p.
- JACOB, A.; VON UEXKÜLL, H. 1964. Fertilización. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Veenman & Zonen. Wageningen, Holanda. 626 p.
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. 1992. Crop ecology. Productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press. New York, NY. 538 p.
- MARTIN, J.H.; LEONARD, W.H.; STAMP, D.L. 1976. Principles of field crop production. 3<sup>rd</sup> Ed. Macmillan. New York. USA. 1118 p.
- MILTHORPE, F.L.; MOORBY, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 259 p.
- MONTAÑEZ, C.; WARMAN, A. 1985. Los productores de maíz en México: restricciones y alternativas. Centro de Ecología. México. 226 p.

- NEVE, J.; COTA, O.; OSLER, R.D.; PALACIOS R., G. 1962. H-412. Nuevo maíz híbrido para el valle del Yaqui y otras regiones cálidas secas. *Agricultura Técnica en México*. 2(1): 24-25.
- NORMAN, M.J.T; PEARSON, C.J.; SEARLE, P.G.E. 1995. *The ecology of tropical food crops*. 2<sup>nd</sup> Ed. Cambridge University Press. New York, NY. USA. 430 p.
- PALIWAL, R.L.; SPRAGUE, E.W. 1981. Mejoramiento de la adaptación y de la confiabilidad de los rendimientos de maíz en el mundo en desarrollo. CIMMYT. México, D.F. 20 p.
- PURSEGLOBE, J.W. 1972. *Tropical crops. Monocotyledons*. Longman. London. 607 p.
- REYES C., P.; MARQUEZ S., F.; ORTIZ C., J.; JOHNSON, E.C. 1960-1961. H-507. Nuevo maíz híbrido para zonas tropicales. *Agricultura Técnica en México*. 11: 9-11.
- SIERRA M., M.; PRECIADO O., R.E.; MARTÍNEZ C., J.J.; GÓMEZ M., N.; VALDIVIA B.; R.; CABALLERO H.; F.; ALCÁZAR A., J.J.; RODRÍGUEZ M., F.A.; ARROYO L., M.C. 1990. V-530 una nueva variedad de maíz para las áreas tropicales de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 13(2): 204.
- SPRAGUE, E.W. 1981. Mejoramiento de la producción de maíz en América Latina. CIMMYT. México, D.F. 10 p.
- STAKMAN, E.C.; BRADFIELD, R.; MANGELSDORF, P.C. 1969. *Campañas contra el hambre*. UTEHA. México, D.F. 343 p.

## Capítulo 7

### Discusión general

En la introducción general se señalaron el objetivo general y los particulares, y las hipótesis correspondientes; asimismo, se presentaron los trabajos de investigación que permitieron probar cada una de las hipótesis.

Con base en los resultados, se hacen las siguientes consideraciones:

a) La producción agrícola en el área de estudio ha evolucionado en dos vertientes principales: 1) Mercedes de estancias de ganado mayor y menor, que derivaron en ejidos que producen granos básicos y hortalizas. 2) Misión franciscana con huertos dedicados al autoconsumo, que dieron lugar a huertas de naranja valenciana orientadas a la producción comercial. En ambas vertientes destaca el sistema de producción de maíz para elote, aunque en las huertas de naranja valenciana sólo se presenta durante los primeros cinco años de conformación de la huerta. La producción de maíz para elote incluye elementos tecnológicos remanentes de épocas precedentes, tales como: cultivares criollos, siembra en matas, uso de tracción animal para labores de escarda; asimismo, incluye elementos modernos, tales como: aplicación de fertilizantes químicos, uso de tracción motorizada para las labores de preparación del suelo, empleo de insecticidas para el control de plagas. Por lo tanto, quedó demostrada la validez de la primera hipótesis; asimismo, se

identificó uno de los sistemas agrícolas más importante de la región, el cual fue estudiado en la siguiente etapa.

b) La producción de maíz para elote en la región de estudio se encuentra en una transición de tradicional a intensiva. Esta transición ocurre en dos gradientes: i) intensidad de cultivo; que se manifiesta en incrementos en la densidad de población asociados con aumentos en la aplicación de insumos; ii) forma de producción, que se expresa en cambios en la relevancia de las prácticas de cultivo.

Con base en dichos gradientes, los productores de maíz se ordenan en grupos que representan diferentes estrategias o sistemas de producción. Los agricultores tradicionales aplican fertilizantes nitrogenados en bajas dosis, invierten mucho en el control de plagas y siembran maíces intermedios; los agricultores modernos usan altas dosis de fertilizantes potásicos, fosforados y nitrogenados e invierten mucho en las labores de preparación del suelo. Hasta ahora los productores con mejores resultados son aquellos que usan densidades de población bajas, aplican fertilizantes nitrogenados en cantidades moderadas y obtienen altos precios por la cosecha. Con lo anterior, se aceptó la segunda hipótesis; y con ello, fue posible diseñar los tratamientos para la fase experimental.

c) En la región de estudio, la calidad química del agua para riego se puede establecer con sólo determinar su conductividad eléctrica y su pH. Las clases de agua de mejor calidad (C1S1, C2S1 y C3S1) pertenecen a los manantiales y pozos de la zona sur; estas aguas, aplicadas en suelos profundos con buen drenaje y bajo contenido de sales, permiten producir una



gran diversidad de cultivos y obtener altos rendimientos. Las clases de agua de menor calidad (C4S1 y C5S1) ocurren en la zona norte; y como se aplican en suelos someros con mal drenaje y alto contenido de sales, sólo permiten obtener bajos rendimientos en la mayoría de los cultivos. Por lo anterior, la zona sur es la más productiva de la región, y en ella se encuentra la mayor parte de la inversión en infraestructura hidráulica y equipos de bombeo.

d) Los resultados del análisis de la información de suelos indican que con sólo la determinación de los porcentajes de arena, arcilla y materia orgánica se puede conocer el estado actual de un suelo del área de estudio y las prácticas de manejo recomendables para su aprovechamiento racional.

Los suelos irrigados se caracterizan por lo siguiente: textura, franco arcillo arenosa y franco arcillosa; materia orgánica, niveles pobre (0.0-2.0) y medio (2.1-3.0); pH, niveles neutro (6.6-7.5), ligeramente alcalino (7.6-8.0) y medianamente alcalino (8.0-8.5); conductividad eléctrica,  $\leq 4$  dS  $m^{-1}$  a 25 °C en las zonas margen izquierda del río Verde (porción occidental) y sur,  $> 4$  dS  $m^{-1}$  a 25 °C en las zonas norte y margen izquierda (porción oriental); porcentaje de sodio intercambiable,  $< 5$  %; fósforo asimilable, niveles muy rico (8.1-18.0) y rico ( $> 18.0$ ); potasio asimilable, niveles medio (102.1-146.0) y muy rico ( $> 222.0$ ); .

En las zonas de la margen izquierda del río Verde (porción occidental) y sur, el riego de suelos con conductividad eléctrica  $\leq 4$  dS  $m^{-1}$  a 25 °C, profundos y con buen drenaje, utilizando aguas que tienen una conductividad eléctrica de  $\leq 2$  dS  $m^{-1}$  a 25 °C, no ha causado acumulación de sales. Por el contrario, en las zonas norte y margen izquierda del río Verde (porción oriental),

el riego de suelos salinos, poco profundos y con mal drenaje, aplicando aguas que presentan un conductividad eléctrica  $> 2 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , si ha provocado la acumulación de sales.

Con base en lo anterior, se aceptó la tercer hipótesis; además, se estuvo en la posibilidad de distribuir correctamente los experimentos con maíz para elote.

e) Los resultados de los experimentos indican que el sistema de producción tradicional permite una producción de elote y grano similar al intensivo, pero ligeramente inferior de forraje verde; por lo tanto, resulta ser la forma más barata de producir elote y grano. En ambos sistemas de producción, los cultivares mejorados superan a los tradicionales en la producción de elote y grano. Asimismo, con la forma intensiva los cultivares mejorados incrementan el rendimiento de elote y grano, mientras que los tradicionales lo disminuyen. Actualmente, es posible mejorar la productividad del maíz para elote y grano tan sólo con el uso de los cultivares mejorados Asgrow 7573 y Aspros 910, o de los cultivares tradicionales Luis e Hipólito. Con base en lo anterior, se aceptó la cuarta hipótesis.

Con los resultados anteriores, se está en la posibilidad de plantear una estrategia de desarrollo agrícola regional, que sería la continuación del presente trabajo.

