

Suelos irrigados en la región de Rioverde, San Luis Potosí, México*

Irrigated soils in region of Rioverde, San Luis Potosí, Mexico

Hilario Charcas-Salazar¹, Juan Rogelio Aguirre-Rivera² y Héctor Martín Durán-García^{2§}

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Dr. Manuel Nava 8, Zona Universitaria, C. P. 78290, San Luis Potosí, S.L.P., México. (charcassalazar@yahoo.com.mx). ²Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. C. Altair 200, Fraccionamiento del Llano, C. P. 78377, San Luis Potosí, S.L.P., México. Tel. 01 444 8421146. Ext. 105. (iizd@uaslp.mx) [§]Autor para correspondencia: hduran@uaslp.mx.

Resumen

La región de Rioverde, San Luis Potosí, México, tiene 15 132 ha de riego; los suelos irrigados corresponden a Phaeozems, Vertisoles, Chernozems y Solonchaks. Durante más que 20 años, el laboratorio del Distrito de Desarrollo Rural 130 ha acumulado datos del análisis de dichos suelos; sin embargo, se carece de análisis de tal información, que permita conocer la variación de las propiedades físicas y químicas y la fertilidad de los suelos de la región, así como las repercusiones del riego en dichas propiedades. El objetivo de este estudio fue caracterizar los suelos agrícolas irrigados de dicha región, con base en la información de laboratorio existente. 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 suelos se caracterizan con base en textura, materia orgánica, reacción, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable, fósforo y potasio asimilables. Se concluye con base en el análisis multivariable de las muestras de suelo que con sólo la determinación de los porcentajes de arena, arcilla y materia orgánica se puede conocer el estado actual de los suelos del área de estudio y las prácticas de manejo requeridas para su aprovechamiento racional.

Palabras clave: suelos agrícolas, suelos irrigados, propiedades físicas y químicas, fertilidad de suelos.

Abstract

The region of Rioverde, San Luis Potosí, Mexico, has 15 132 ha of surface for irrigation; irrigated soils correspond to phaeozems, vertisols, chernozems and solonchaks. For more than 20 years, the laboratory from Rural Development District 130 has accumulated information from analysis of such soils; however no analysis of this data exists which would allow to know variation in physical and chemical properties and soils fertility from the region, as well as repercussions of irrigation on these properties. The aim of this study was to characterize irrigated agricultural soils in such region, based on available laboratory information. It was processed with Excel 97 software for Windows 98 and multiple variable analysis of sorting by main components was applied. Soils are characterized with base to texture, organic matter, reaction, electric conductivity, percentage of interchangeable sodium, available phosphorus and potassium. It is concluded that only when defining percentages of sand, clay and organic matter, the current state of soils from study area and the handling procedures required for its rational exploitation can be known.

Key words: agricultural soils, irrigated soils, physical and chemical properties, and soils fertility.

* Recibido: agosto de 2011
Aceptado: febrero de 2012

Introducción

La región agrícola de Rioverde es una de las más importantes de México y posiblemente la más importante 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), y comprende una superficie de labor de 49 495 ha, de las cuales 15 132 cuentan con agua para riego (INEGI, 1994). El agua para el riego 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.*, 2002). El uso de estas aguas afecta de manera distinta las propiedades físicas y químicas de los suelos, lo cual finalmente se refleja en el rendimiento y la rentabilidad de su cultivo. Durante más que 20 años, en el laboratorio del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 130 (localizado en el área de estudio) se han acumulado datos de análisis de 492 muestras de diferentes suelos de la región.

Cuando se dispone de mucha información o de muchas variables de estudio, resulta difícil encontrar los patrones de asociación entre localidades de muestreo con base en los atributos medidos. Las técnicas de análisis multivariable permiten encontrar las semejanzas entre sitios, basadas en los valores de los atributos, y al mismo tiempo encontrar los pesos relativos de dichos atributos para definir ejes que expresen en forma resumida la mayor variación posible de los datos (Ter Braak, 1987). Así, es factible reconocer las variables más importantes que permitan definir clases de unidades de estudio, en este caso, los suelos agrícolas de la región de Rioverde, San Luis Potosí. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar los suelos agrícolas irrigados de la región de Rioverde, San Luis Potosí, México, con base en la información histórica de laboratorio existente y reconocer sus patrones de variación regional.

Descripción del área de estudio

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.*, 2002): 1) Zona Norte; comprende el área entre los poblados de San Bartolo y San Francisco, en su límite septentrional, y los de la Colonia Veinte de Noviembre y Miguel Hidalgo, en su límite meridional. Las aguas de esta zona presentan las características siguientes: a) alta concentración de sales, con

Introduction

Agricultural region of Rioverde is one of the outstanding regions in Mexico and it is possibly the most important from San Luis Potosí. It is a plain that extends 60 km from north to south and 35 km from east to west (Figure 1), and embraces labor surface of 49 495 ha, from which 15 132 have water for irrigation (INEGI, 1994). Irrigation water comes from wells emerging from El Doctor, a limestone formation, and from drillings on granular intermediate aquifer. The water from these two sources have strong variation in composition and concentration of salts they have dissolved (Charcas *et al.*, 2002). The use of these waters affects differently to chemical and physical properties of soils, which finally affects crop yield and profitability. During more than 20 years, in the laboratory from Rural Development District (DDR) 130 (located in study area) data from analysis of 492 samples of different soils in the region has been recorded.

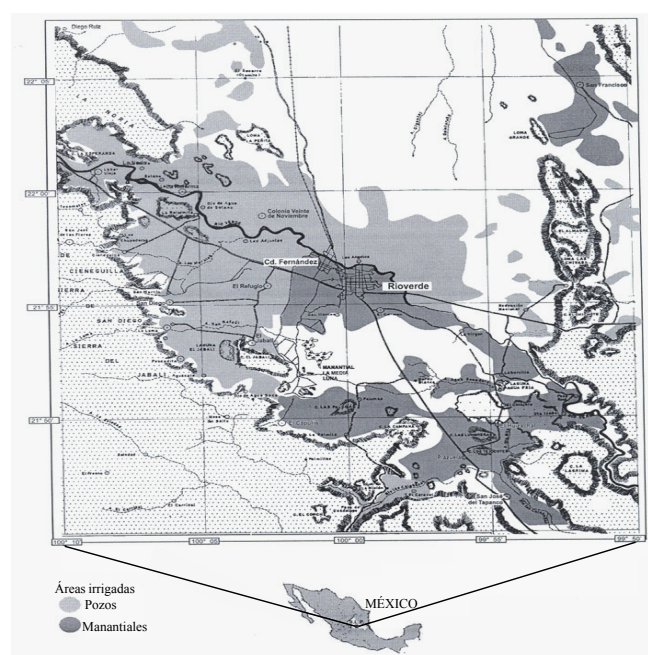


Figura 1. Ubicación de la región de Rioverde y sus áreas irrigadas.

Figure 1. Location of Rioverde region and irrigated surfaces.

When there is much information or from several variables study, is difficult to find association patterns between sampling locations based on measured attributes. Multiple variable analysis techniques allow to find such relationships between locations based on attributes values and at the same time to find relative weights of such attributes to define

valores de conductividad eléctrica mayores que 2 000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25 °C; b) relaciones de adsorción de sodio (RAS) menores que 2.0; y c) pH ligeramente alcalino (7.2 a 8.1). De acuerdo con Fipps (1996) y Hoffman y Shalhevet (2007), estas aguas pueden usarse siempre y cuando se siembren cultivos tolerantes a las sales, se aplique agua en abundancia y el drenaje del subsuelo sea adecuado; 2) Zona 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) menor concentración de sales, con valores de conductividad eléctrica de 250 a 2 000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25 °C; b) la RAS es menor que 1; y c) el pH varía desde ligeramente ácido a ligeramente alcalino (6.5 a 7.4). Estas aguas pueden usarse en suelos con buen drenaje y prácticas especiales de control de la salinidad; se deben utilizar en cultivos tolerantes a las sales (Palacios y Aceves, 1994; Fipps, 1996; Hoffman y Shalhevet, 2007).

Geología. Los sedimentos lacustres alternan espacialmente con el travertino. En la porción Zona Norte, los sedimentos están compuestos de arcillas, tobas silíceas porosas y clásticos de caliza y caliche. En la Zona 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 (Phaeozems) de la región de estudio (Alvarado, 1973; Montañez, 1992).

Materiales y métodos

Se recopilaron y revisaron los datos disponibles del análisis de suelos del laboratorio del DDR 130. Luego, se utilizaron las cartas geológica, edafológica y de uso del suelo (CETENAL, 1973) para ubicar los lugares donde fueron tomadas las muestras de suelo, y de esta forma obtener información acerca de la presencia, distribución y uso de las clases de suelos agrícolas existentes. Con la información anterior, se hicieron recorridos de campo para localizar los lugares de muestreo y obtener información adicional, tal como relieve, topografía, drenaje superficial y manejo del suelo. La información obtenida se procesó con el paquete Excel 97 para Windows 98. La caracterización de los suelos se hizo con base en los atributos evaluados y calificaciones asignadas en el laboratorio del DDR 130, así como en los criterios usuales publicados en la literatura agronómica.

axes that in resume give the greatest variation possible on such data (Ter Braak, 1987). Thus, is feasible to identify the most important variables that allow to define types of study units, in this case, agricultural soils from region of Rioverde, San Luis Potosí. Based on this, the aim of this work was to characterize irrigated agricultural soils from region of Rioverde, San Luis Potosí, Mexico, based in the existing laboratory historical records and to identify their regional variation patterns.

Study area description

Water for irrigation. Based on geographical location and quality of irrigation water, springs and wells can be grouped in two zones (Charcas *et al.*, 2002): 1) north zone; comprises surface between cities of San Bartolo and San Francisco, in its northern limit, and from neighborhoods Veinte de Noviembre and Miguel Hidalgo, in its southern limit. Water from this zone has the following characteristics: a) high salts concentration, with electric conductivity values greater than 2 000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ at 25 °C; b) sodium adsorption ratio (RAS) less than 2.0; and c) slightly alkaline pH (7.2 to 8.1).

According to Fipps (1996) and Hoffman & Shalhevet (2007), such water can be used if planted crops are tolerant to salt, water is applied in plenty and subsoil drainage is suitable; 2) south zone; embraces the surface located between the right shoreline of Rioverde river and the limit with the west and southeast mountains, as well as the strip on the left shoreline, from Labor Vieja up to Veinte de Noviembre neighborhood. Its water is characterized by: a) lower salt concentration, with electric conductivity values from 250 to 2 000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ at 25 °C; b) RAS is less than 1; and c) pH varies slightly from acid to slightly alkaline (6.5 to 7.4). Such water can be used in soils with good drainage and special salinity control practices; salt tolerant crops must be used (Palacios and Aceves, 1994; Fipps, 1996; Hoffman and Shalhevet, 2007).

Geology. The lacustrine sediments spatially alternate with travertine. In the north zone, sediments are composed by clays, porous silica tufas and elastic limestone and caliche. In the south zone (and southwest), refill materials consist in alternating layers of clays, sands and gravels, with coverage of sandy clay and pumice tufa. In the studied region, more fertile (phaeozems) soils have developed in these sediments in the studied region (Alvarado, 1973; Montañez, 1992).

Las 492 muestras para el estrato de 0 a 30 cm de suelo que contaban con datos completos y congruentes de textura, conductividad eléctrica, RAS, pH, materia orgánica, N, P y K, se sometieron a un análisis de ordenación de componentes principales con la versión desarrollada por Ter Braak (1988) incluida en su programa CANOCO.

Resultados y discusión

Con base en la procedencia geográfica, la calidad del agua de riego y el tipo de suelo, las muestras se agruparon en tres zonas (Figura 1): 1) 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 $> 2000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25°C , valores de la RAS < 2 y valores del pH ligeramente alcalinos (7.2 a 8.1). Las clases de suelo predominantes son Phaeozems cálcicos, Vertisoles eútricos y Solonchaks háplicos; 2) 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 $> 2000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25°C , mientras que en la occidental los valores son menores; en ambas porciones, los valores de la RAS son < 2 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_háplico, pero en el occidente sólo se presenta Vertisol_éutrico; y 3) sur; incluye toda la margen derecha del Río Verde, hasta las estribaciones de las serranías del occidente. Esta zona comprende las dos áreas agrícolas más importantes: a) El Refugio; sus aguas se caracterizan por presentar valores de conductividad eléctrica que varían de 250 a $2000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25°C , valores de la RAS < 1 y pH ligeramente alcalino (7.2 a 8.1); sus suelos corresponden a Phaeozems_háplico; y b) Distrito de Riego 049 (manantial de la Media Luna y manantiales menores); sus aguas tienen valores de conductividad eléctrica que varían de 1650 a $1980 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25°C , valores de la RAS < 1 y pH desde ligeramente ácido a ligeramente alcalino (6.5 a 7.8); sus suelos pertenecen a las clases Phaeozems_háplico y Chernozems cálcicos.

La calidad del agua de riego y el tipo de suelo presentes en las tres zonas descritas, históricamente han condicionado la conformación agrícola de la región de Rioverde. Así, en la zona norte, ha predominado la cría en agostaderos de

Materials and methods

Available data about soils analysis from DDR 130 laboratory was collected and reviewed. Then, geological, edaphologic and soil use maps (CETENAL, 1973) were used to locate places where soil samples were taken, and finally obtain information about presence, distribution and use of existing types of agricultural soils. With the previous information, field surveys were made to locate sampling places and get additional information such as relief, topography, surface drainage and soil handling. The obtained information was processed with Excel 97 software for Windows 98. Soils characterization was made based on assessed attributes and qualifications assigned in DDR 130 laboratory, as well as usual criteria published in agronomic literature. The 492 samples for strata 0 to 30 cm of soil that have complete data and according to texture, electric conductivity, RAS, pH, organic matter, N, P, and K, were submitted to sorting analysis of main components with version developed by Ter Braak (1988) bundled in his CANOCO software.

Results and discussion

Based on geographical origin, irrigation water quality and soil type, samples were grouped in three zones (Figure 1): 1) north; located between cities of San Francisco, at west limit, and Diego Ruiz, at east limit. This zone is irrigated with water showing electric conductivity values $> 2000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ at 25°C , RAS values < 2 and slightly alkaline pH values (7.2 to 8.1). Predominant soil types are calcic phaeozems, eutric vertisols and haplic solonchaks; 2) left shoreline from Rioverde; embraces a portion of lands that extends from city of Boquilla, in the west limit, up to city La Noria, in the east limit.

In the west portion, water has electric conductivity values $> 2000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ at 25°C , while in east portion values are lower; in both portions, RAS values are < 2 and pH values are slightly alkaline (7.2 to 8.1). On the other hand, to the west the predominant soils are from calcic chernozems and haplic solonchaks units, but in east only eutric vertisol is detected; and 3) south; includes the right shoreline of Rioverde, up to limits from western mountains. This zone embraces the two most important agricultural zones: a) El Refugio; its water is characterized by electric conductivity

équidos, caprinos y vacunos; mientras que en las zonas de la margen izquierda y derecha del Rioverde, se ha desarrollado la producción de cosechas de regadío (Charcas *et al.*, 2002).

Textura. En general, las muestras de suelo se agruparon 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, en orden decreciente: arcillosa> franco arcillosa> franco arcillo arenosa. En ambas márgenes del Rioverde, prevalece la secuencia de texturas 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 Rioverde, 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 (1973).

values that vary from 250 to 2 000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ at 25 °C, RAS values < 1 and slightly alkaline pH (7.2 to 8.1); its soils corresponds to haplic phaeozems; and b) Irrigation District 049 (Media Luna spring and other ones); its water has electric conductivity values that vary from 1650 to 1980 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ at 25 °C, RAS values < 1 and pH from slightly acid up to slightly alkaline (6.5 to 7.8); its soils belong to haplic phaeozems and calcic chernozems types.

The existing irrigation water quality and soil type in described zones, historically had conditioned agricultural application in Rioverde region. Thus, in north zone, equine, caprine and cattle breeding are the predominant activities in north region; while in zones to the left and right shoreline of Rioverde, irrigation crops production has been developed (Charcas *et al.*, 2002).

Texture. In general, soils samples were grouped in three types of texture: clay, loam clay and loam sandy clay. The importance of every type depends on the geographical

Cuadro 1. Porcentaje de muestras para las principales clases de textura en los suelos irrigados (capa superficial 0-30 cm).
Table 1. Percentage of samples for main texture types in irrigated soils (surface layer 0-30 cm).

Zona geográfica	<i>n</i>	Franco arcillo arenosa	Franco arcillosa	Arcillosa	Otras
Norte					
Pastora	81	8.6	13.6	72.8	5.0
San Francisco	22	0.0	13.6	81.8	4.6
Margen izquierda del Rioverde					
Reforma-20 nov.	332	21.7	14.8	53.0	10.5
Norte de Rioverde	109	15.6	16.6	56.0	11.8
Sur					
El Refugio	242	30.6	13.6	41.7	14.1
Distrito de Riego 049	306	16.0	14.0	56.9	13.1

De acuerdo con Russell (2000), Porta *et al.* (1993) y Brady y Weil (2008), los tres tipos de textura señalados comparten, con diferente grado de intensidad, las propiedades 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: a) capacidad de intercambio catiónico alta. Cuanto más arcilla hay en un suelo, tanto más elevada es su capacidad de intercambio de cationes. Los suelos de la clase franco arcillosa tienen de 15 a 20 cmol (+) kg^{-1} , mientras que los suelos de la clase arcillosa exceden por lo general de 20 cmol (+) kg^{-1} ; b) capacidad

zone where soil samples were taken. Thus in north zone in decreasing order the predominant ones are: clay > loam clay > loam sandy clay. In both shorelines of Rioverde, prevails the texture sequence clay > loam sandy clay > loam clay. With regards clayey fraction, there are two gradients: one from north to south, related with the general slope of the plain, which is consequence of geological events that give place to the valley; and other from east to west, related to slope perpendicular to Rioverde, resulting from erosion and drainage processes (Table 1). The previous information is similar to the verification points on the edaphologic map from CETENAL (1973).

de retención y suministro de agua elevada. A medida que aumenta la cantidad de arcilla, también aumenta la capacidad para retener el agua; así, el suministro de agua a la planta es mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos; c) 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; y d) dificultad de laboreo. En los suelos arcillosos dura poco tiempo el tempero, por lo que resulta difícil realizar las labores en el momento oportuno. 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, 2000; Porta *et al.*, 1994; Brady y Weil, 2008).

Materia orgánica. Con base en el contenido (%) de materia orgánica (MOR), las muestras de suelo agrícola se suelen agrupar en tres niveles: pobre (0.0-2), medio (2.1-3) y rico (> 3) (Navarro, 1957). En general, en la región estudiada predominan los suelos con niveles pobre y medio de MOR. En la zona norte, en el área de Pastora (porción occidental), poco menos que la mitad de las muestras corresponde a suelos ricos en MOR; sin embargo, en el área de San Francisco (porción oriental), las dos terceras partes pertenecen a suelos pobres en este respecto. 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 suelos con los tres niveles de MOR son similares. En la zona sur, en el área de El Refugio, casi dos terceras partes de las muestras son de suelos pobres en MOR; mientras que en el Distrito de Riego 049, a cada nivel de MOR le corresponde alrededor de una tercera parte (Cuadro 2). Estos resultados son reflejo de las prácticas de cultivo en la región, las cuales se caracterizan por la aplicación de fertilizantes químicos, incorporación escasa de residuos de cosecha y 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 por ello, es considerada regionalmente como el ejemplo a seguir. La información anterior coincide con la que se ha obtenido para los suelos Phaeozems y Vertisols de otras regiones de México (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;

According to Russell (2000), Porta *et al.* (1993) and Brady and Weil (2008), the three types of texture share, at different intensity degree, the properties of clayey fraction; e. g., very high specific surface, and particles with electrical surface charge and colloidal behavior. These characteristics have, among others, the following agricultural implications: a) high cation exchange capacity. The greater clay content in soil, the greater cation exchange capacity. Clayey type soils have from 15 to 20 cmol (+) kg⁻¹, while clayey type soils exceed in general by 20 cmol (+) kg⁻¹; b) retention capacity and higher water supply.

In the extent clay content increases, water retention capacity also increases; thus, water supply to the plant is greater in clayey soils than in sandy soils; c) low permeability. When clay content increases, water and air motion rate through soil decreases, which can cause stagnation and lack of oxygen issues; and d) difficult plow. The tempering last little in clayey soils, then is difficult to make work on time. When soil is too wet, plow does not disintegrate it, but makes large inverted prismatic shape formations; on the other hand, when it is dry, this work requires great traction and makes many clods, which some times are not destroyed with plow, but they sink in soil (Russell, 2000; Porta *et al.*, 1994; Brady and Weil, 2008).

Organic matter. Based on organic matter (MOR) content (%), agricultural soil samples can be grouped in three levels: poor (0.0-2), medium (2.1-3) and rich (> 3) (Navarro, 1957). In general, in the studied region MOR poor and medium soils are the predominant ones. In north zone, on Pastora section (western side), little less than half of samples correspond to soils rich in MOR; however, in San Francisco section (eastern side), two thirds of lands correspond to soil poor in MOR. In the left shoreline of Rioverde, as well in the western side (La Reforma area) as in the eastern side (north of Rioverde) the percentages of soils with the three MOR levels are similar. In south zone, in El Refugio area, almost two thirds of samples correspond to soils poor in MOR; while in Irrigation District 049 each MOR level is detected around one third (Table 2). These results reflect harvest practices in the region, in which use of chemical fertilizers, very scarce addition of harvest remains, and null manure application is common practice. It is worth to mention that largest horticultural section of region, El Refugio, is one of the zones with greatest proportion of soils poor in organic matter. This becomes important since in this zone high yields are obtained by excessive and limitless application of chemical fertilizers, and by this reason is regionally used as example.

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 ello se recomienda la rotación de cultivos con requerimientos nutricionales y de labranza contrastantes, además de la incorporación de residuos de cosechas y abonos verdes, aplicación de estiércol y disminución de labores de labranza, esto es, las prácticas apropiadas de manejo de suelos (Russell, 2000; Lampkin, 1998).

This information coincides with the data obtained for phaeozems and vertisols soils from other regions of Mexico (Morazzani and Ortega, 1972; Ramírez-Silva and Pérez-Zamora, 1990; Venegas *et al.*, 1991; Alvarado and Cruz, 1993; Pérez, 1993; Osuna *et al.*, 1994; Pérez, 1996; Pérez *et al.*, 1998; Salgado-García *et al.*, 2000). In agronomy manuals, low content of organic matter in soils makes that chemical fertilizers efficiency diminishes dramatically and makes harder to work on tilling; then it is recommended crop rotation with contrasting nutritional requirements and

Cuadro 2. Proporción (%) de muestras de suelo según contenido de materia orgánica (%) (capa superficial 0-30 cm).
Table 2. Rate (%) of soils samples according to organic matter content (%) (surface layer 0-30 cm).

Zona geográfica	<i>n</i>	≤2.0 (Pobre)	2.1-3.0 (Medio)	>3.0 (Rico)
Norte				
Pastora	104	26.9	26.9	46.2
San Francisco	21	66.7	14.3	19.0
Margen izquierda del Rioverde				
Reforma-20 nov.	267	46.1	26.6	27.3
Norte de Rioverde	132	42.4	31.1	26.5
Sur				
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 corresponden principalmente a 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 del área de El Refugio predominan suelos medianamente alcalinos, mientras que en el Distrito de Riego 049 dominan los suelos ligeramente alcalinos (Cuadro 3). La información anterior concuerda con la obtenida en otras regiones de México para Phaeozems (Pérez, 1993, 1996; Pérez *et al.*, 1998) y Vertisoles (Osuna *et al.*, 1994) y con los datos generalizados para las unidades de suelos registrados para la región de estudio (FAO-UNESCO, 1991). Algunos efectos esperables en suelos ligeramente alcalinos y medianamente alcalinos, son: 1) disminución de la disponibilidad de fósforo, pues con valores de pH mayores de 7.5 el fósforo se encuentra en forma poco soluble (fosfato tricálcico); 2) deficiencias de hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y cobalto; particularmente destacan problemas de clorosis; y 3) supresión de organismos benéficos; los organismos fijadores de nitrógeno disminuyen su actividad rápidamente a valores de pH superiores a 7.4; y

of tilling, also it is recommended to add residue from harvest and green compost, manure application and decrease of tilling work, this means, proper handling practices of soils (Russell, 2000; Lampkin, 1998).

pH. According to their reaction, soils samples correspond mainly to four types: neutral (6.6-7.5), slightly alkaline (7.6-8.0), moderately alkaline (8.1-8.5) and highly alkaline (>8.5). In north zone, slightly and moderately alkaline soils comprise more than 84% of samples considered for western and eastern sides. In the left shoreline of Rioverde, the three first pH types have similar proportions. In the south region from El Refugio area, moderately alkaline soils are the predominant ones, while slightly alkaline soils are the predominant in Irrigation District 049 (Table 3). The previous information coincides with the one obtained in other regions of Mexico for phaeozems (Pérez, 1993, 1996; Pérez *et al.*, 1998) and vertisols (Osuna *et al.*, 1994) and with generalized data for soil units recorded for the study region (FAO-UNESCO, 1991).

In slightly and moderately alkaline soils some prospected effects are: 1) decrease of phosphorus availability, since with pH values greater than 7.5, phosphorus is found in a variety

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; Russell, 2000; Porta *et al.*, 1993; Brady y Weil, 2008).

little soluble (tricalcium phosphate); 2) deficiencies of iron, manganese, zinc, copper, boron and cobalt; in particular chlorosis issues arise; and 3) suppression of beneficial organisms; nitrogen fixer organisms quickly decrease their

Cuadro 3. Porcentajes de muestras de suelos irrigados de acuerdo con su tipo de reacción (capa superficial 0-30 cm).
Table 3. Percentages of samples of irrigated soils according to reaction type (surface layer 0-30 cm).

Zona geográfica	<i>n</i>	Neutro (6.6-7.5)	Ligeramente alcalino (7.6-8.0)	Medianamente alcalino (8.1-8.5)	Fuertemente alcalino (>8.5)
Norte					
Pastora	153	5.2	48.4	41.8	4.6
San Francisco	33	15.2	66.7	18.1	0.0
Margen izquierda del Rioverde					
Reforma-20 Nov.	335	35.5	23.6	37.0	3.9
Norte de Rioverde	228	38.6	30.7	27.2	3.5
Sur					
El Refugio	261	32.9	23.7	42.1	1.3
Distrito de Riego 049	396	34.8	42.7	19.7	2.8

Salinidad. Con base en los valores de conductividad eléctrica (dS m^{-1} a 25°C), las muestras de suelo se agruparon sólo en dos clases: suelos normales (0.0-4.0) y suelos salinos (> 4.0). En general se presentaron dos gradientes, uno de norte a sur, y otro de este a oeste, en coincidencia con los gradientes del contenido de arcilla (Cuadro 4). En la zona norte, las muestras del área de San Francisco provienen de Solonchaks háplico, mientras que las de Pastora proceden principalmente de Phaeozems cálcicos y Vertisoles éutricos. 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 éutricos, 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 de El Refugio corresponden a Phaeozems háplicos y las del Distrito de Riego 049, provienen de Chernozem cálcicos y Phaeozems háplico. Esta zona presenta buen drenaje, debido a la red de drenes que se construyó al establecerse el Distrito de Riego, a principios de los años ochenta. Los suelos con problemas de sales en la región se localizan principalmente en pequeñas depresiones que se han abierto al cultivo recientemente.

activity at pH values greater than 7.4; and 4) there is opportunity to favor organisms that cause diseases in plants; in this case we can list wilting by *Verticillium* in tomato and other solanaceae (Worthen and Aldrich, 1956; Allaway, 1957; Russell, 2000; Porta *et al.*, 1993; Brady and Weil, 2008).

Salinity. Based on electric conductivity values (dS m^{-1} at 25°C), soil samples were grouped only in two types: normal soils (0.0-4.0) and saline soils (> 4.0). In general, two gradients emerged, one from north to south, and other from east to west, coinciding with gradients of clay content (Table 4). In north zone, samples from San Francisco area are haplic solonchaks, while samples from La Pastora mainly are calcic phaeozems and eutric vertisols. In this zone, soils have been naturally subject to floods and droughts annual cycle, which has led to salt accumulation. In the left shoreline of Rioverde, samples are mainly from eutric vertisols, calcic chernozems and haplic solonchaks. Although this zone is also under the influence of floods and droughts annual cycle, the problem of salt accumulation is worsened due natural drainage towards Rioverde. In south region exists the least proportion of saline soils, samples from El Refugio area correspond to haplic phaeozems and the samples from Irrigation District 049, are from calcic chernozems and haplic phaeozems. This zone has good drainage, due the drain network build to set Irrigation

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 y la falta de prácticas favorables de manejo de suelos.

Sodificación. Con excepción del área de San Francisco (donde se registraron 13 muestras con valores promedio 14%), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de la mayoría de los suelos es menor que 5%; esto es, por debajo del valor máximo a partir del cual se pierden las propiedades físicas favorables de los suelos arcillosos (Dudal, 1967; Porta *et al.*, 1993). Así, casi no se registraron PSI cercanos a 15%, con lo cual los suelos ya presentan serias dificultades para mantener su permeabilidad (Russell, 2000; Brady y Weil, 2008).

Nitrógeno. 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 mostrarlos; así, sólo se presenta la información correspondiente a fósforo y potasio.

Fósforo. Respecto al contenido de fósforo (mg kg⁻¹), las muestras de suelo se suelen agrupar en cuatro niveles: pobre (≤ 4.0), medio (4.1-8), rico (8.1-18) y muy rico (> 18.0) (Navarro, 1957). En toda la región de estudio, la mayoría de las muestras analizadas corresponde a los niveles muy rico y rico (Cuadro 5). Esta abundancia de 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 con prácticas de fertilización más racionales, la aplicación combinada de fertilizantes fosfóricos con nitrogenados de residuo ácido, o bien, con la incorporación periódica de residuos de cosecha y de estiércol (Tisdale y Nelson, 1970; Porta *et al.*, 1993; Lampkin, 1998).

District at the beginning of the decade of 1980. In the region, soils with salt issues are located mainly in small depressions that are recently used for harvest.

Cuadro 4. Proporción de muestras de suelos irrigados según su nivel de conductividad eléctrica (dS m⁻¹ a 25 °C) (capa superficial 0-30 cm).

Table 4. Samples proportion of irrigated soils according to electric conductivity level (dS m⁻¹ at 25 °C) (surface layer 0-30 cm).

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

Also based on this information and the historical usage of irrigation areas, it can be stated that salinity issue in soils from this region is the result of transforming land not suitable for harvest into plantations. In north zone and eastern side from left shoreline of Rioverde, this problem has worsen due use of water with high content of salt and lack of proper practices of soils handling.

Sodication. Except for San Francisco area (where 13 samples with average value of 14% were recorded), the percentage of exchangeable sodium (PSI) from most of soils is less than 5%; in other words, below the maximum value from which there is no good physical properties for clayey soils (Dudal, 1967; Porta *et al.*, 1993). Thus, there were almost null records for PSI near 15%, meaning that soils already have issues to keep their permeability (Russell, 2000; Brady and Weil, 2008).

Nitrogen. Data about nitrogen content in soil samples are calculated based in the ones of organic matter, therefore it is redundant to show them and only information for phosphorus and potassium is presented.

Cuadro 5. Proporción de muestras de suelo de acuerdo al contenido de fósforo (mg kg^{-1}) (capa superficial 0-30 cm).
Table 5. Proportion of soil samples according to phosphorus content (mg kg^{-1}) (surface layer 0-30 cm).

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

Potasio. De acuerdo con el contenido de potasio (mg kg^{-1}), los suelos agrícolas se agrupan en cuatro clases: pobre (≤ 102.0), medio (102.1-146.0), rico (146.1-222.0) y muy rico (>222.0) (Navarro, 1957). Las muestras analizadas corresponden principalmente a los niveles medio y muy rico (Cuadro 6). Los suelos con riqueza media de potasio predominan en las áreas de riego de manantiales, con mayor antigüedad de cultivo; en cambio, los suelos muy ricos en potasio corresponden a las áreas de bombeo de pozos, habilitadas más recientemente. Lo anterior indica que los suelos de la región de estudio pueden encontrarse en un proceso de agotamiento de su reserva de potasio, debido a que: a) las prácticas usuales de fertilización excluyen la aplicación de este nutriente; 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 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 natural de riqueza de este nutriente, tal como se recomienda (Tisdale y Nelson, 1970; Porta *et al.*, 1993; Brady y Weil, 2008).

Phosphorus. About phosphorus content (mg kg^{-1}), soil samples are usually grouped in four levels: poor (≤ 4.0), moderate (4.1-8), rich (8.1-18) and very rich (> 18.0) (Navarro, 1957). In all studied region, most of analyzed samples corresponds to very rich and rich levels (Table 5). This excess of phosphorus can be due application of high amounts of phosphorus-based fertilizers to the crops that use maize in annual rotation. However, as previously mentioned, most of soils have pH values that vary between 7.6 and 8.5, so most of phosphorus would be in variety with little assimilation. This problem can be solved with more rational fertilizing practices, the combined application of phosphorus and nitrogen-based acid residuals fertilizers, or the periodic addition of harvest residuals and manure (Tisdale and Nelson, 1970; Porta *et al.*, 1993; Lampkin, 1998).

Potassium. According to potassium content (mg kg^{-1}), agricultural soils are grouped in four types: poor (≤ 102.0), moderate (102.1-146.0), rich (146.1-222.0) and very rich (>222.0) (Navarro, 1957). Analyzed samples mainly correspond to moderate and very rich levels (Table 6). Moderate content soils are predominant in areas irrigated

Cuadro 6. Proporción de muestras de suelos irrigados, según su contenido de potasio (mg kg^{-1}) (capa superficial 0-30 cm).
Table 6. Proportion of samples of irrigated soils, by potassium content (mg kg^{-1}) (surface layer 0-30 cm).

Zona geográfica	<i>n</i>	≤ 102.0 (Pobre)	102.1-146.0 (Medio)	146.1-222.0 (Rico)	>222.0 (Muy rico)
Norte					
Pastora	104	1.9	21.1	1.0	76.00
San Francisco	22	0.0	100.0	0.0	0.00
Margen izquierda del Rioverde					
Reforma-20 nov.	324	0.1	42.6	0.0	57.30
Norte de Rioverde	118	0.0	42.4	4.2	53.40
Sur					
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 las propiedades físicas y químicas del suelo. -Los resultados del análisis de componentes principales (ACP) para 10 atributos en los 30 cm superficiales de las 492 muestras de suelo estudiadas, indican que los cuatro primeros componentes explican 70.02% de la variación total (Cuadro 7). El primer componente recoge 29.06% de dicha variación y, por los pesos de las variables en su definición, ordena las muestras de suelo de acuerdo con los contenidos de arena, materia orgánica, potasio y nitrógeno. Así los perfiles de suelo con valores negativos en el eje 1 y 2 se ordenan en función de sus contenidos de arena, ya que esta variable tiene un peso de -0.6805 en la definición del eje 1 de componentes principales (Figura 2). El segundo componente resume 16.77% de la variación y las variables con más peso en su definición son los contenidos de arcilla y arena. De esta manera ambos ejes de componentes poseen un peso negativo del contenido de arena. Por su parte, el contenido de arcilla, y en menor medida el PSI y la CE, imprimen valores positivos en ambos componentes (Cuadro 7, Figura 2). El tercer componente da cuenta de 13.05% de la variación y está definido por los pesos, en este caso positivos, que aportan el PSI y la CE. Por último, el cuarto componente principal explica 11.14% de la variación y la variable que predomina en la ordenación de las muestras es el contenido de limo.

by springs, with older time of crop; in contrast, soils very rich in potassium correspond to areas with well's irrigation, enabled more recently.

This means that soils in the region of study can be found in a process of potassium depletion, because: a) usual fertilization practices exclude adding this nutrient; b) null addition of manure and harvest residuals; c) there are harvested varieties that demand high quantities of potassium. Therefore, measures must be taken to keep or improve current content level. In spring areas, the recommendation is to apply potassium-based fertilizers to increase crops yield; while in wells zones, application must be focused on keeping natural level of this nutrient, as recommended (Tisdale and Nelson, 1970; Porta *et al.*, 1993; Brady and Weil, 2008).

Analyses of multiple variables of physical and chemical properties of soils. The main component analysis (ACP) results for 10 attributes in 30 cm surface of 492 samples of soil studied indicate that first four components explain 70.02% of total variation (Table 7). The first component takes 29.06 of such variation and, by weight of variables in their definition, sorts soil samples according to sand, organic matter, potassium and nitrogen content. In this way soil profiles with negative values in axe 1 and 2

Cuadro 7. Peso de los atributos del suelo en los cuatro primeros componentes principales (CP) y 10 variables físicas y químicas de suelos irrigados y los porcentajes de variación explicados por cada eje.

Table 7. Weight of soils attributes in the first four main components (CP) and 10 physical and chemical variables from irrigated soils and the variation percentages explained by each axe.

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

Para explicar la disposición de las muestras de suelo en el gráfico de ordenación conviene relacionar las Figuras 2 y 3. Las regiones de ambos gráficos definidas por los dos componentes están relacionadas como sigue. Los vectores representan las variables edáficas (Figura 3) e indican la ubicación de las muestras que se relacionan más con dicha

are sorted in function of their sand contents, since this variable has weight of -0.6805 in definition of axe 1 of main components (Figure 2). The second component takes 16.77% of variation and the variables with most weight in their definition are clay and sand content. In this way both component axes have negative weight of sand content. In

variable edáfica. Así, la disposición espacial de las muestras de suelo sobre los primeros dos componentes (Figura 2) sugiere su disposición en un gradiente de contenido de materia orgánica (las muestras 335 y 369 del extremo inferior derecho presentaron los valores más altos de MOR, mientras que las muestras 307 y 317 del extremo inferior izquierdo presentaron los valores más bajos de MOR). El segundo eje representa un gradiente de contenido de arcilla (las muestras 225 y 283 en el extremo superior tuvieron los valores más altos, y las 335 y 476 en el otro extremo los más bajos).

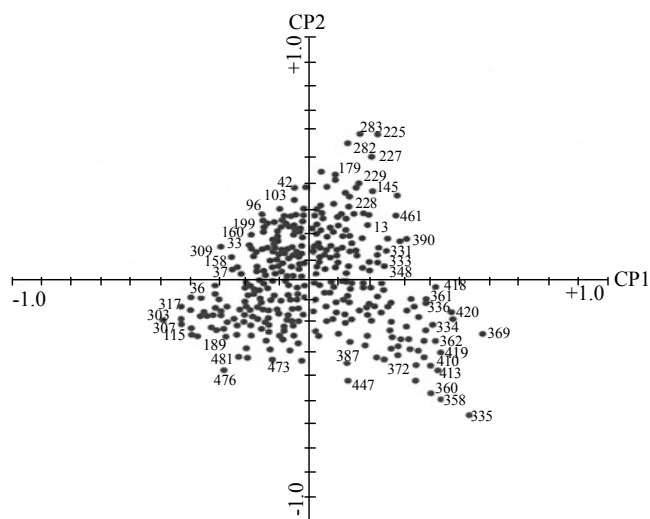


Figura 2. Ordenación de 492 muestras de suelo con base en diez atributos físicos y químicos, sobre los dos primeros componentes principales.

Figure 2. Sorting of 492 soil samples based on ten physical and chemical attributes, on the first two main components.

El grado de asociación de las variables edáficas con los ejes de ordenación o componentes principales y entre ellas mismas, se expresa mediante la longitud de los vectores correspondientes (Figura 3) y el ángulo entre ellos, respectivamente (Ter Braak, 1988). De hecho en la Figura 3 se puede reconocer una representación gráfica de la matriz de correlaciones entre las variables y de éstas con los ejes de componentes principales. De esta manera en la Figura 3 destacan la arcilla y la arena como variables correlacionadas negativamente. La arena, por su longitud del vector y el cuadrante de componentes en que se ubica, indica los pesos negativos similares para ambos componentes (Cuadro 7). De igual manera la arcilla tiene una relación estrecha con el porcentaje de sodio intercambiable y la conductividad eléctrica, de acuerdo con el ángulo que se forma entre sus vectores. La materia orgánica y los tres nutrientes mayores están muy correlacionados, de acuerdo con la disposición y semejanza de sus vectores; aunque el

the case of clay content, and in least extent PSI and CE, they contribute with positive values in both components (Table 7, Figure 2). The third component takes 13.05% of variation and is defined by weights, positive in this case, that add PSI and CE. Lastly, the fourth main component explains 11.14% of variation and the predominant variable for sorting samples is silt content.

To explain disposition of soil samples in sorting graphic it helps to make a relationship of Figures 2 and 3. The regions of both graphics defined by two components are related as follows. Vectors represent edaphic variables (Figure 3) and they mean the samples' location that is more related with such edaphic variable. Then, spatial arrangement of soil samples on the first two components (Figure 2) suggest its arrangement in a gradient of organic matter content (samples 335 and 369 of the lower right end showed the highest values of MOR, while samples 307 and 317 of the lower left end showed the lowest values of MOR). The second axe represents a gradient of clay content (samples 225 and 283 in the upper end had the highest values, and samples 335 and 476 in the opposite end, the lowest).

The association degree of edaphic variables with sorting axes or main components and between themselves, is expressed by length of corresponding vectors (Figure 3) and the angle between them, respectively (Ter Braak, 1988). In fact in Figure 3 can be identified a graphic representation of correlation matrix between variables and from these with the main component axes. In this way, in Figure 3 clay and sand outstand as negatively correlated variables. By its vector length and the components quadrant where is located, sand defines the alike negative weights for both components (Table 7). Similarly clay has close relationship with percentage of interchangeable sodium and electric conductivity, according to the angle created between their vectors.

Organic matter and three main components are very correlated, according to disposition and likeness of their vectors; although nitrogen vector has more length and in the quadrant is equidistant, because is a variable calculated from MOR, can be selected as the most important of the four ones. According to the data shown in Figure 3, soils have a main variation defined by texture, in the sense that sand and clay vectors that afterwards is perpendicularly split by fertility variables, mainly by organic matter. In this way, clay, sand and organic matter

vector del nitrógeno presenta mayor longitud y equidistancia en el cuadrante, por ser una variable calculada a partir de la MOR se puede elegir á esta como la más importante de las cuatro. De acuerdo con lo mostrado en la Figura 3, los suelos presentan una variación principal dictada por la textura, en el sentido de los vectores de arena y arcilla, que luego es separada perpendicularmente por las variables de fertilidad, principalmente por la materia orgánica. De esta forma, 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 actuales, de cultivos y de prácticas de manejo. La evaluación de estos tres atributos puede orientar fácilmente los cambios programables 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, San Luis Potosí, se caracterizan por:

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.

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

pH en los niveles neutro (6.6-7.5), ligeramente alcalino (7.6-8.0) y medianamente alcalino (8.1-8.5).

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, los suelos con una conductividad eléctrica $\leq 4 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C , profundos y con buen drenaje, regados con aguas de conductividad eléctrica $\leq 2\,000 \text{ } \mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25°C , no presentan acumulación de sales. Por el contrario, en las zonas norte y margen izquierda del río Verde (porción oriental), los suelos salinos, poco profundos y con mal drenaje, y regados con aguas con conductividad eléctrica $> 2\,000 \text{ } \mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25°C , muestran acumulación de sales.

Porcentaje de sodio intercambiable en general $< 5\%$.

percentages become the most significant attributes for soils characterization in the region, according to current prevailing conditions for crops and handling practices. The assessment of these three attributes can easily give the schedule of changes in crop current practices to keep or improve soil fertility at proper profitability and persistent level.

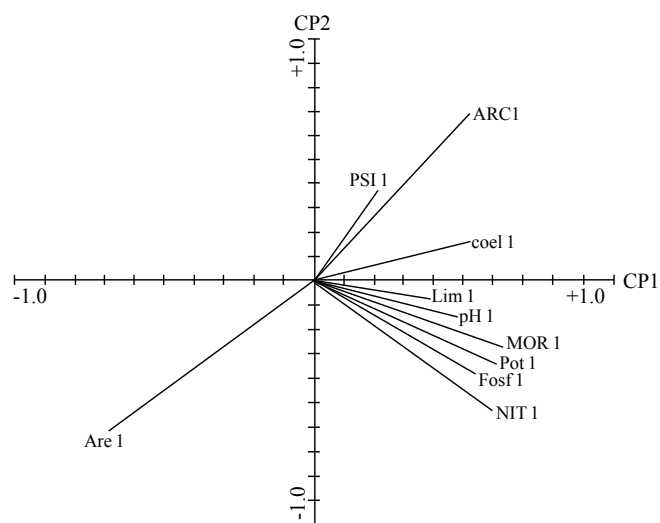


Figura 3. Ordenación de las diez variables físicas y químicas evaluadas en 492 muestras de suelo de la región de Rioverde, S L P. PSI1: porcentaje de sodio intercambiable; Arc1: arcilla; coel1: conductividad eléctrica; Lim1: limo; pH1: pH; MOR1: materia orgánica; Pot1: potasio; Fosf1: fósforo; NIT1: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

Figure 3. Sorting of ten physical and chemical variables assessed in 492 soil samples from Rioverde region, San Luis Potosí. PSI1: exchangeable sodium percentage; Arc1: clay; coel1: electric conductivity; Lim1: silt; pH1: pH; MOR1: organic matter; Pot1: potassium; Fosf1: phosphorus; NIT1: nitrogen; Are1: sand.

Conclusions

The irrigated soils from Rioverde region, San Luis Potosí, are characterized by:

Prevalence of clay fraction in two gradients, one from north to south, related with general slope of the plain, and another from east to west, related with dominant slope. The main types of texture are: clay, sand clay loam and clay loam.

Fósforo asimilable (mg kg^{-1}) en niveles de muy rico (8.1-18.0) y rico (> 18.0), debido probablemente a prácticas inadecuadas de fertilización, mientras que su potasio asimilable (mg kg^{-1}) aún se encuentra de manera natural en niveles medio (102.1-146.0) y muy rico (> 222.0).

Los resultados del análisis multivariable de las 492 muestras de suelo de la región, indican que con sólo la determinación de los porcentajes de arena, arcilla y materia orgánica se podría conocer el estado actual de un suelo del área de estudio, y programar evaluar el efecto de las prácticas de manejo requeridas para su aprovechamiento racional.

Literatura citada

- Alvarado, A. R. 1973. Estudio geohidrológico de la cuenca del Rioverde, estado de San Luis Potosí, Trabajo recepcional. Escuela de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, D. F., México. 40 p.
- Alvarado, L. J. y Cruz, D. J. 1993. Relaciones cantidad-intensidad (Q/I) de potasio en suelos tropicales, *Terra*. 11(2):127-134 pp.
- Allaway, W. H. 1957. pH, soil acidity, and plant growth. *In*: soil, the yearbook of agriculture USDA. Washington, D. C. 67-71 pp.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. 2008. The nature and properties of soils. 14th ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. USA. 975 p.
- Cartas Edafológica, Geológica y Uso del Suelo (CETENAL). 1973. 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.; Olivares, H. E. y Aguirre, J. R. 2002. Agua de riego en la región de Rioverde, San Luis Potosí, México. *Ingeniería Hidráulica en México*. 17(4):37-56.
- Dudal, R. 1967. Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales. Cuadernos de Fomento Agropecuario Núm. 83. FAO. Roma, Italia. 169 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia, la Educación y la Cultura (UNESCO). 1991. Mapa mundial de suelos, leyenda revisada, informes sobre recursos mundiales de suelos 60. FAO. Roma, Italia. 142 p.
- Organic matter content (%) in poor (0.0-2.0) and moderate (2.1-3.0) levels.
- pH in neutral (6.6-7.5), slightly alkaline (7.6-8.0) and moderately alkaline (8.1-8.5) levels.
- Electric conductivity in two gradients, coinciding with gradients of clay fraction. In the left shoreline of Rioverde (western side) and south, soils with electric conductivity $\leq 4 \text{ dS m}^{-1}$ at 25 °C, deep and with good drainage, irrigated with water of electric conductivity $\leq 2\,000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ at 25 °C, there is no salt built up. On the contrary, in the north zone and left shoreline of Rioverde (estern side), saline soils, little deep and with deficient drainage, and irrigated with water of electric conductivity $> 2\,000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ at 25 °C, show salt build up.
- Exchangeable sodium percentage in general $< 5\%$.
- Available phosphorus (mg kg^{-1}) in very rich (8.1-18.0) and rich (> 18.0) levels, probably due to fertilization unsuitable practices, while available potassium (mg kg^{-1}) is still naturally found in moderate (102.1-146.0) and very rich (> 222.0) levels.
- Multiple variable analysis results from 492 soil samples from region indicate that current state of soil would be known only with calculation of percentages of sand, clay and organic matter, and schedule assessment of handling practices effect required for its rational exploitation.

End of the English version



- 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.
- Hoffman, G. J. and Shalhevet, J. 2007. Controlling salinity. *In*: Hoffman, G. J.; Evans, R. G.; Jensen, M. E.; Martin, D. L. and Elliott, R. L. (Eds.). Design and operation of farm irrigation systems. 2nd ed. ASABE. St. Joseph, Michigan. USA. 160-207 pp.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). 1994. San Luis Potosí, resultados definitivos, VII. Censo agrícola-ganadero. Tomo I. D. F., México. 505 p.
- Lampkin, N. 1998. Agricultura ecológica. Mundi-Prensa. Madrid, España. 724 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, D.F., México. 91 p.
- Morazzani, H. R. y Ortega, T. E. 1972. Contenido de las distintas formas de potasio en suelos tropicales y subtropicales de México. *Agrociencia*. 7:37-46.
- Navarro, C. A. 1957. Métodos de análisis de suelos agrícolas y aguas para riego. *Ingeniería Hidráulica en México*. 4:55-67.
- Osuna, C. F. J.; Turrent, F. A. y Moreno, D. R. 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 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, en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. 49 p.
- Pérez, Z. O. 1993. Colección e interpretación de datos climatológicos del Campo Experimental Tecmán. *Terra*. 11(2):158-165.
- Pérez, Z. O. 1996. Caracterización de los suelos de la llanura costera norte de Tecmán, Colima, *Terra*. 14(3):229-240.
- Pérez, N. J.; Volke, H. V.; Martínez, M. M y Estrella, Ch. E. 1998. Erosión, productividad y rentabilidad de dos suelos del estado de Oaxaca, *Agrociencia*. 32(2):113-118.
- Porta, J.; López, A. M. y Roquero, C. 1993. Edafología. Mundi-Prensa. Madrid, España. 807p.
- Ramírez-Silva, J. H. y Pérez-Zamora, O. 1990. Efecto de plataformas elevadas (planches) en la producción de maíz de temporal en Vertisoles típicos y gleicos del estado de Quintana Roo, México. *Terra*. 8(1):36-44.
- Russell, E. W. 2000. Soil conditions and plant growth, 10th. Edition, Longman, New York. 849 p.
- Salgado-García, S.; Núñez-Escobar, R.; Peña-Cabriales, J. J.; Etchevers-Barra, J. D.; Palma-López, D. J. y Soto-Hernández, R. M. 2000. Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK, *Agrociencia*. 34(6):689-698.
- TerBraak, C. J. F. Ordination. 1987. Data analysis in community and landscape ecology. *In*: Jongman, R. H. G. TerBraak, C. J. F.; van Tongeren, O. F. and Pudoc, R. Wageningen. The Netherlands. 90-73 pp.
- TerBraak, C. J. F. 1988. CANOCO - a FORTRAN program for Canonical Community Ordination. Microcomputer Power. Ithaca, New York, USA. 95 p.
- Tisdale, S. L. y Nelson, W. L. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducción al español de Balasch, J. y Piña, C. (Ed.). Montaner y Simón, Barcelona, España. 760 p.
- Venegas, G. J.; Velázquez, M. M. y Pimentel, E. J. L. 1991. Respuesta del maíz al fósforo en la Ciénega de Chapala. *Terra* 2:197-203.
- Worthen, E. L. and Aldrich, S. R. 1956. Farm soils. Their fertilization and management, 5th. Edition, Wiley, New York, USA. 439 p.