

## Agua de riego en la región de Rioverde, San Luis Potosí, México

Hilario Charcas Salazar  
Emilio Olivares Sáenz

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

Juan Rogelio Aguirre Rivera

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

*La región de Rioverde cuenta con 15,132 ha bajo riego, las cuales se abastecen de dos fuentes: a) manantial de la Media Luna y manantiales menores, con un caudal aproximado de  $7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  y b) 239 pozos profundos y 67 a cielo abierto, de los cuales se extraen 74 millones de  $\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$ . Las aguas de ambas fuentes presentan fuerte variación en la composición y concentración de las sales que llevan disueltas. El uso de estas aguas para riego afecta de manera distinta las propiedades físicas del suelo, los equipos de riego y el crecimiento de las plantas, lo cual se refleja en el rendimiento y rentabilidad de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la calidad del agua que se utiliza para riego y sus implicaciones agrícolas. Los datos de análisis de aguas se recopilaron de los laboratorios del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas y del Distrito de Desarrollo Rural 130. Con base en valores promedio de conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio (RAS), pH e iones, se construyeron cuadros que sintetizan las características químicas de las aguas. Las muestras con datos completos se sometieron a un análisis multivariable de ordenación mediante componentes principales. Los resultados indican que las aguas de la región de estudio corresponden a los grupos sulfatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas. Asimismo, las aguas de mejor calidad se distribuyen en la zona sur, mientras que las de peor calidad se encuentran en la zona norte.*

**Palabras clave:** riego, calidad del agua de riego, agua subterránea, manantiales, bombeo de pozos, acuíferos, hidrogeoquímica, Rioverde, San Luis Potosí.

### Introducción

Los municipios de Rioverde y Ciudad Fernández conforman la región agrícola de Rioverde, la cual es una de las más importantes del estado de San Luis Potosí, México. Es una llanura que se extiende 60 km de norte a sur y 35 km de este a oeste; está limitada hacia el este por las pequeñas sierras del Cordón de San Francisco y La Boquilla; hacia el oeste por el sistema de sierras de La Noria, Cieneguilla, San Diego y Jabalí; por el norte están los cerros Vetado y de Angostura; al sur, el cerro de la Campana y la sierra de La Lágrima (ilustración 1). Esta

región comprende una superficie de labor de 49,495 ha, de las cuales 15,132 cuentan con agua para riego (INEGI, 1994). En el área de riego, los cultivos predominantes son los siguientes: naranjo, jitomate, chile, tomate, calabacita, maíz elotero y alfalfa.

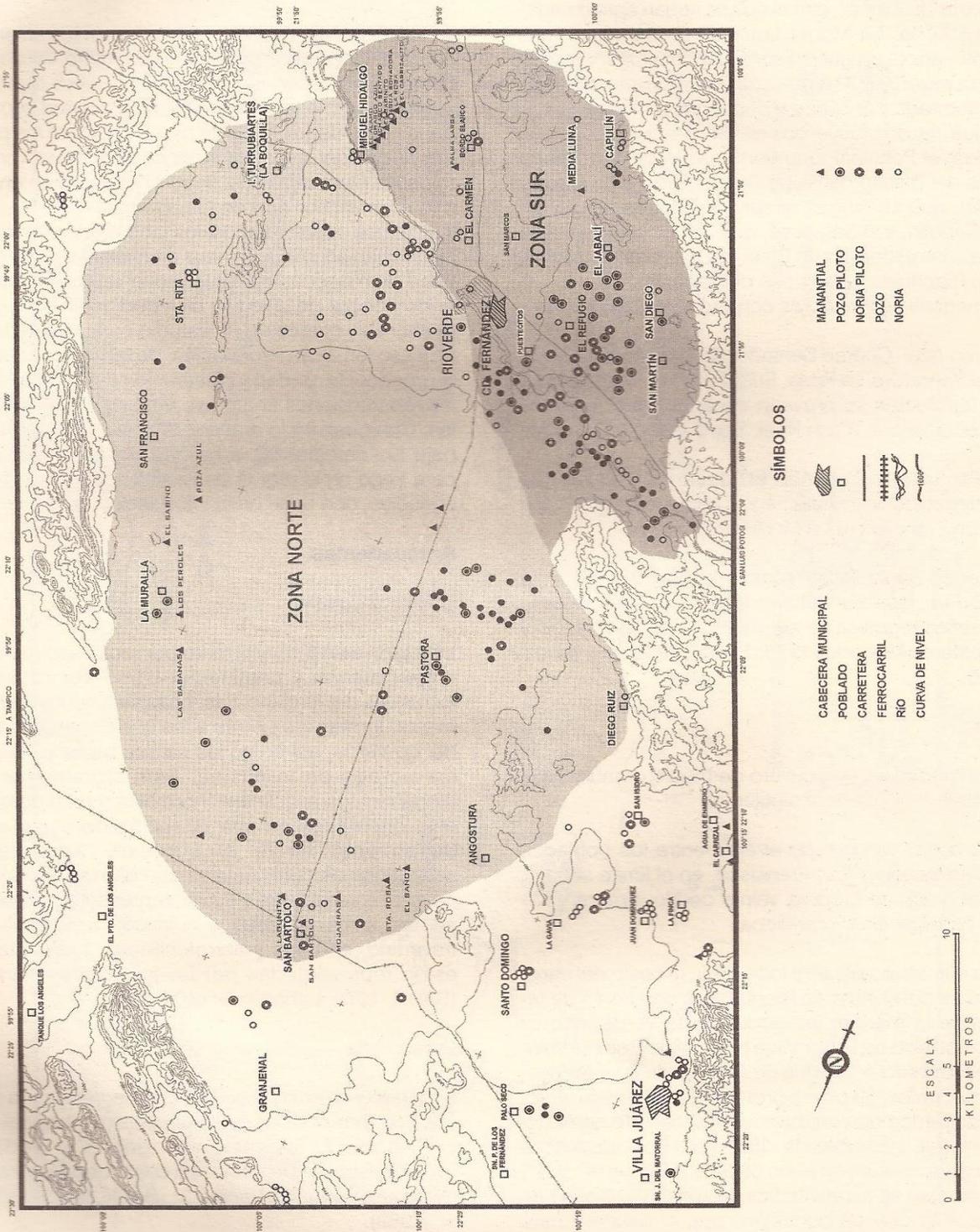
El área irrigada se abastece del agua subterránea, la cual proviene de dos fuentes (ilustración 2):

a) Manantial de la Media Luna y manantiales menores

La Media Luna se encuentra al sur de la ciudad de Rioverde y los manantiales menores por todo el valle.



Ilustración 2. Localización de manantiales y pozos en la región de Rioverde, San Luis Potosí.



Brotan de la formación caliza El Doctor, el cual se considera el acuífero más importante, pues aporta un caudal de alrededor de  $7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , con el que se riegan aproximadamente 4,500 ha. La Media Luna es el manantial más abundante, arroja un gasto promedio de  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , que se utiliza para regar 3,937 ha ubicadas en el Distrito de Riego 049, conformado por ejidos y pequeñas propiedades.

El agua se distribuye por medio de cuatro canales principales: el Principal, que corre hacia el norte y riega las tierras del Distrito de Riego 049; el Potrero de Palos y el Capulín, que se dirigen al sur y riegan las tierras del ejido El Capulín, y el San José, que va hacia el sureste y abastece a los ejidos Bordo Blanco, Obrajero, Huizachal, Plazuela, Riachuelo y San José del Tapanco.

Los manantiales menores comprenden tres grupos:

- Charco Azul, Charco Sentado, El Sabinito, El Álamo, Agua Sonadora, La Rosa, El Carrizalito y Palma Larga, con los cuales se proveen de agua para riego los ejidos Laborcilla, Paso Real, Santa Isabel y Obrajero.
- Los Peroles, Las Sabanas, El Sabino y Poza Azul, que abastecen de agua para riego y aguajes los poblados de San Francisco y La Muralla.
- El Baño, Santa Rosa, Mojarras, San Bartolo y La Lagunita, que se utilizan como aguajes y para pequeños regadíos de los poblados de San Bartolo y Angostura (Alvarado, 1973; SARH, 1979; Montañez, 1992).

#### b) Pozos

Están perforados en un acuífero de medio granular, que se distribuye de la manera siguiente:

- Zona norte: comprende el área entre los poblados de San Bartolo y San Francisco, en el límite septentrional, y los de Colonia Veinte de Noviembre y Miguel Hidalgo, en el meridional.
- Zona sur: abarca el área localizada al oeste del canal Principal del Distrito de Riego 049 y una franja de terreno de la margen izquierda del río Verde, que va desde el ejido de Labor Vieja hasta el de Colonia Veinte de Noviembre. El agua de este acuífero se aprovecha mediante 239 pozos profundos y 67 a cielo abierto, equipados con motores eléctricos y de combustión interna, y bombas de diferentes capacidades. La recarga se calcula en unos 66.2 millones de  $\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$ . Anualmente se extrae un volumen de 74 millones de  $\text{m}^3$ , por lo que se considera que el acuífero está

sobreexplotado (Alvarado, 1973; SARH, 1979; Montañez, 1992).

Las aguas de los dos acuíferos descritos anteriormente se caracterizan por presentar una fuerte variación en la composición y concentración de las sales que llevan disueltas. Lo anterior es importante, porque el uso de estas aguas para riego afecta de manera distinta las propiedades físicas del suelo, los equipos de riego y el crecimiento de las plantas, lo cual finalmente se refleja en el rendimiento y rentabilidad de los diferentes cultivos. Durante los últimos cuarenta años, los laboratorios de dos instituciones han acumulado datos de análisis de una gran cantidad de muestras de agua provenientes de los manantiales y pozos de la región de estudio. Sin embargo, hasta ahora se carece de un estudio en el que se recopile y procese tan vasta información, de tal manera que se pueda conocer la calidad y distribución del recurso, así como las repercusiones en su uso y manejo con fines agrícolas. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar la calidad del agua que se utiliza para riego en la región de Rioverde y sus implicaciones agrícolas, con base en la información existente.

### Antecedentes

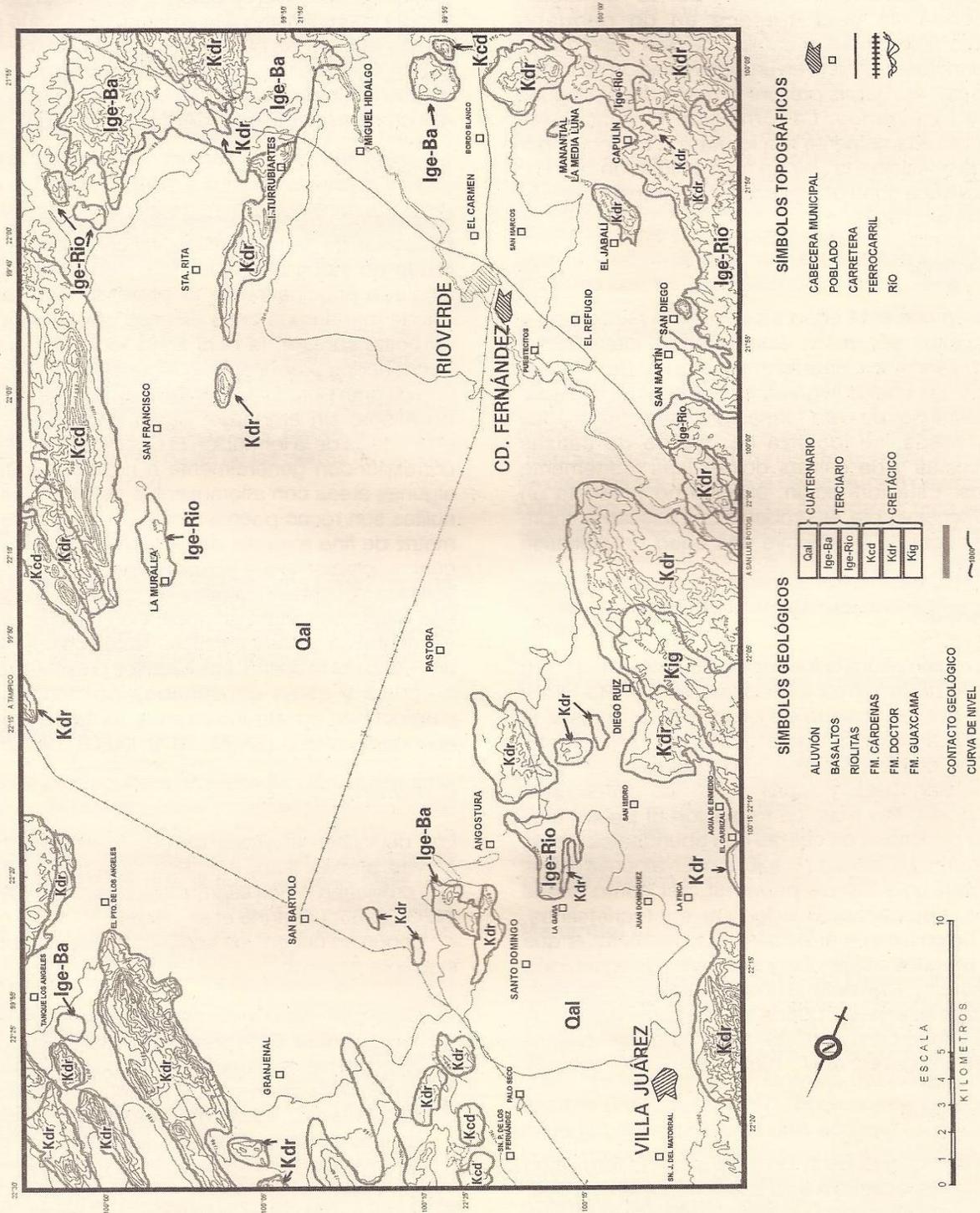
#### *Geología general*

La región está formada tanto por rocas sedimentarias de origen marino y continental como por rocas ígneas extrusivas del Terciario. Las rocas sedimentarias de origen marino forman las sierras altas que circundan la planicie del río Verde, así como las sierras bajas localizadas en los bordes de la misma. Estructuralmente forman plegamientos anticlinales normales y recumbentes, con ejes orientados en una dirección noroeste-sureste y buzamiento hacia el suroeste. Los depósitos sedimentarios continentales son de dos tipos: clásticos de ambiente lacustre y fluvial, representados por gravas, arenas, limos y arcillas, y químicos, representados por travertino, caliches y tierras silíceas. Las rocas ígneas están representadas por lavas riolíticas y basálticas (SARH, 1979; Labarthe *et al.*, 1989).

#### *Estratigrafía*

En la región aflora una secuencia integrada de la siguiente manera: formaciones sedimentarias marinas del Jurásico y Cretácico; formaciones ígneas y sedimentos continentales del Terciario, así como basaltos y aluviones del Cuaternario (ilustración 3) (SARH, 1979; Labarthe *et al.*, 1989).

Ilustración 3. Formaciones geológicas de la región de Rioverde, San Luis Potosí (Montañez, 1992).



### Jurásico

Este periodo está representado por la formación Huayacocotla, la cual aparece en un pequeño afloramiento ubicado en el camino de San José de las Flores a Alamitos. Consiste en una intercalación de lutitas con areniscas; las capas presentan numerosos pliegues *chevron* y recostados. La formación Huayacocotla subyace discordantemente a la formación El Doctor, por lo que se le considera la unidad más antigua de la zona. Se le atribuye una edad del sinemuriense-pliensbachiense (Labarthe *et al.*, 1989).

### Cretácico inferior

La formación con esta edad se denomina Guaxcamá y está constituida por yesos estratificados. Intercaladas entre los yesos se encuentran capas de calizas dolomíticas, las cuales llegan a formar bancos gruesos. En la parte inferior de esta formación, interestratificadas entre los yesos, se localiza un cuerpo de calizas microcristalinas y de calizas dolomíticas fuertemente fracturadas. Esta formación, aunque no presenta un contacto inferior visible, es probable que descansa sobre rocas jurásicas. Se le atribuye una edad del aptiense (INEGI, 1985).

### Cretácico medio

En toda la región aflora la formación El Doctor (facie San Joaquín). Al norte forma los cerros de San Bartolo y Angostura; al este, la sierra de la Boquilla; al sureste, la sierra de las Lágrimas; al noroeste, la sierra de La Noria; al oeste, los cerros ubicados al pie de las sierras de Cieneguilla, San Diego y Jabalí; al sur, los cerros de la Capilla, Calera y Palomas. La formación El Doctor está constituida por capas de calizas con abundantes restos de microfósiles y huellas de disolución. En algunas capas se presentan nódulos de pedernal, así como líneas estilolíticas. Las calizas pueden ser criptocristalinas, clásticas, dolomíticas y arrecifales. Las estructuras que forma son pliegues anticlinales y sinclinales de orientación noroeste-sureste. Con base en los afloramientos del área, se estima que su espesor puede ser del orden de los dos mil metros. Se le considera del albiense-cenomanense (SARH, 1979; Labarthe *et al.*, 1989).

### Cretácico superior

Al noreste de la sierra de la Boquilla aflora la formación Cárdenas, perteneciente a este subperiodo, la cual descansa en correspondencia sobre la formación El Doctor.

La formación Cárdenas está integrada por capas de calizas arcillosas intercaladas con lutitas. Debido a su alto contenido de arcilla es atacada fácilmente por los agentes del intemperismo y la erosión, por lo que sólo se ha conservado en las partes bajas, donde ha quedado protegida. El espesor de dicha formación se calcula en unos doscientos metros. Se le atribuye una edad del campaniense-maestrichtiense (SARH, 1979; INEGI, 1985).

### Terciario

Este periodo está representado por derrames riolíticos y basálticos de gran extensión, así como por depósitos de tobas de poca amplitud. Los derrames riolíticos se localizan principalmente al oeste del área de estudio, donde forman una capa extensa con dirección general noroeste-sureste, la cual llenó todas las barrancas y hondonadas preexistentes. Algunas veces los derrames son de gran potencia y forman elevaciones como el cerro de Alisos; sin embargo, dejan descubiertas algunas eminencias de la formación El Doctor. Estos afloramientos corresponden generalmente a riolitas, aunque existen algunas áreas con afloramientos de tobas riolíticas. Las riolitas son rocas poco intemperizadas y presentan una matriz de fina a media de feldespato y ferrocristales de cuarzo, plagioclasa y ocasionalmente biotita. Las tobas riolíticas contienen cristales de cuarzo y plagioclasa en una matriz de textura arenosa. Con base en su posición estratigráfica y características litológicas, se les asigna una edad del Mioceno. Los basaltos presentan una textura porfídica y están constituidos por fenocristales de plagioclasa; en algunas zonas se les encuentra con abundante olivino (SARH, 1979; INEGI, 1985).

### Cuaternario

Los depósitos aluviales de este periodo consisten en gravas, arenas, limos y arcillas de origen calizo e ígneo, que provienen de los afloramientos vecinos (SARH, 1979; INEGI, 1985; Labarthe *et al.*, 1989).

Según su origen, los sedimentos se distribuyen de la siguiente manera:

- Clásticos: los conglomerados afloran en los bordes de la planicie. En la porción oriental están constituidos por fragmentos arredondados de caliza, incluidos en una matriz de arcilla y arena, con caliche como cementante; estos materiales descansan sobre calizas cretácicas, están cubiertos por basaltos y aluviones y se les ubica en el Pleistoceno, aunque pudieran ser del Plioceno (SARH, 1979). En la margen occidental existen afloramientos aislados de

fragmentos redondeados a subarredondados de rocas volcánicas; se considera que son del Cuaternario, aunque pueden pertenecer a la parte tardía del Mioceno (Labarthe *et al.*, 1989). En la margen izquierda del río Verde, los sedimentos están compuestos de arcillas, tobas silíceas porosas y clásticos de caliza y caliche, los cuales fueron depositados en un ambiente lacustre, por lo que predominan los elementos finos. En la margen derecha, el espesor conocido de los materiales de relleno es de unos 184 m y sus componentes son de una alternancia de capas de arcillas, arenas y gravas, con una cobertura de tobas arenoarcillosas, con evidencias de calcificación, y conglomerados y tobas pumífticas.

- Químicos: el travertino se encuentra a lo largo del río Verde y en el área comprendida entre Rioverde y Plazuela; este material está constituido por cuerpos porosos, bien estratificados. El caliche se presenta con una distribución irregular y cubre las rocas calcáreas de las partes bajas de las sierras (Alvarado, 1973; Montañez, 1992).

### Hidrología subterránea

La región de Rioverde presenta una gran diversidad de características geohidrológicas que favorecen el aprovechamiento de las aguas subterráneas, incluyendo acuíferos en calizas cretácicas y granulares en depósitos aluviales.

#### Acuífero granular

La recarga de este acuífero proviene fundamentalmente de la escorrentía de las sierras localizadas al occidente de la planicie. La descarga se efectúa a través de pozos y manantiales ubicados en aluviones. La configuración del nivel estático indica que el flujo del agua tiene una orientación noroeste-sureste (ilustración 4). Las fronteras laterales e inferiores son las formaciones El Doctor, Cárdenas y rocas riolíticas (SARH, 1979).

En el área comprendida entre las localidades de San Bartolo, Diego Ruiz y San Francisco, las aguas provienen de la región cársica del occidente, situada entre las sierras El Tablón, Picacho de la Cabra, Orejón, Bellaseña y La Noria. Las aguas son yesosas y presentan altos contenidos de sales, por lo que son las de menor calidad (Medina, 1966; Villalobos, 1974).

En la margen izquierda del río Verde, la formación granular está constituida principalmente por material de relleno depositado en un medio lacustre, por lo que se le

considera de baja permeabilidad; además, existe una extensa cobertura de cuerpos calichosos de 1 a 17 m de espesor que impide la recarga vertical del acuífero. El flujo del agua sigue una dirección paralela al río (SARH, 1979). En esta área también predominan las aguas yesosas, con altos contenidos de sales (Villalobos, 1974).

En la margen derecha, los depósitos son más permeables, pues presentan una granulometría más gruesa; asimismo, están ausentes la cobertura calichosa y los derrames de lavas basálticas. El flujo del agua se dirige hacia el río Verde. Destacan en forma notoria las aguas bicarbonatadas cálcicas, con bajo contenido de sales, lo cual se explica por la naturaleza de los materiales que conforman el acuífero y el poco tiempo de contacto del agua con los materiales (Montañez, 1992).

#### Acuífero calcáreo

La caliza de la formación El Doctor se encuentra muy fracturada y cavernosa debido a la disolución del carbonato de calcio. Su excelente permeabilidad y amplia distribución propician zonas de captación que se ven favorecidas por conductos de disolución de donde brotan numerosos manantiales. La recarga de este acuífero es regional y proviene principalmente de las partes altas de la sierra de Álvarez. La descarga es por el manantial de la Media Luna y otros manantiales menores (ilustración 4), que arrojan un caudal total de alrededor de  $7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (SARH, 1979).

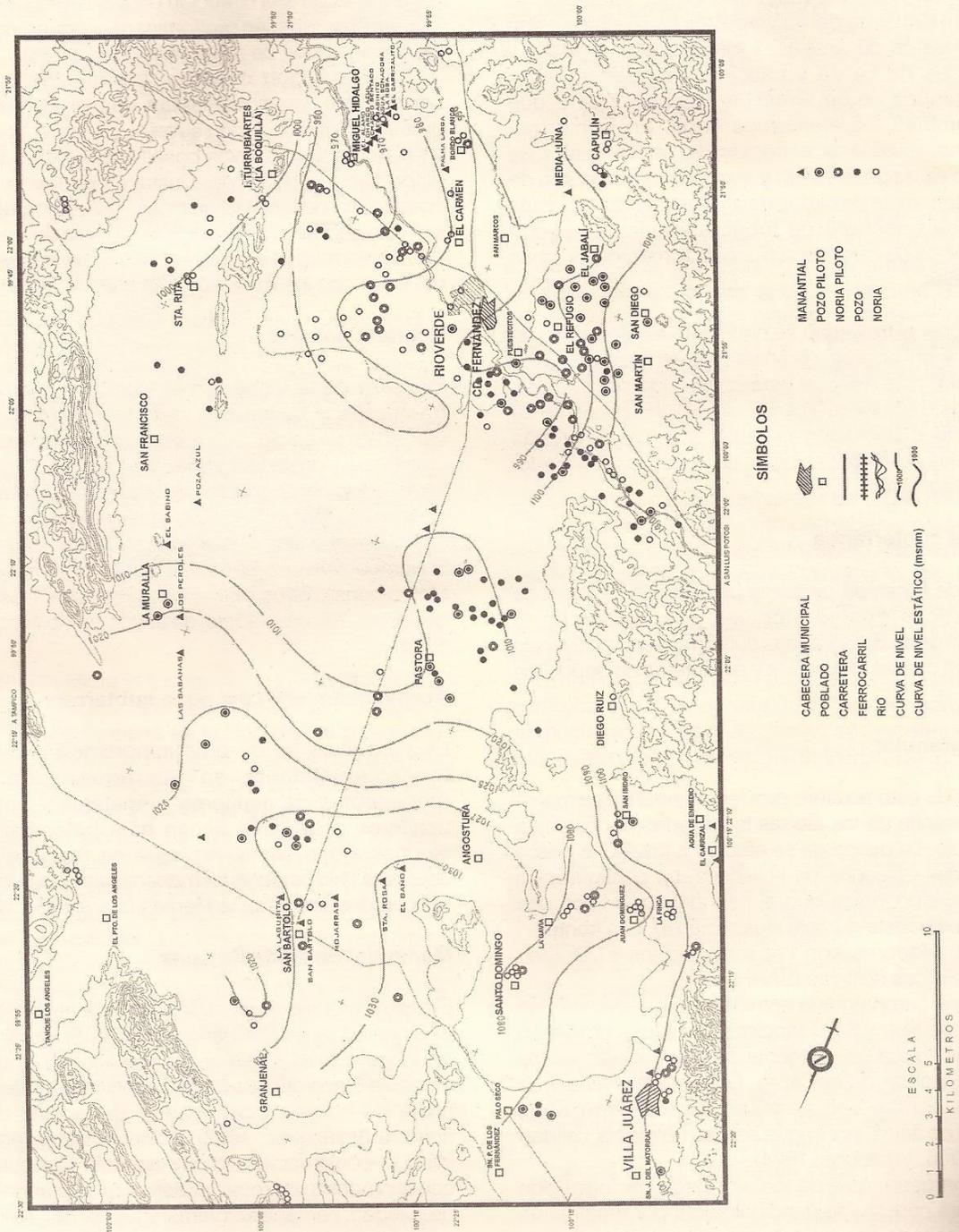
#### Aprovechamiento del agua subterránea

La agricultura es de gran importancia y se sustenta fundamentalmente en las aguas subterráneas procedentes de acuíferos granulares y calizos. Los acuíferos granulares tienen baja potencialidad y en algunas áreas contienen agua de mala calidad. Los acuíferos calizos generan manantiales caudalosos, entre los que destaca el de la Media Luna (INEGI, 1985).

#### Manantial de la Media Luna

El aprovechamiento de la Media Luna se inició en 1617, al fundarse la misión franciscana de Rioverde. La obra de riego consistió en la excavación de una acequia (acequia Rioverde) que permitió derivar y conducir el agua hasta los huertos y sembradíos del pueblo del mismo nombre (Velázquez, 1987). Posteriormente, en 1731, se inició la construcción de otra acequia (acequia Villana), con el propósito de regar las tierras que estaban alrededor de Ciudad Fernández (Verástegui, 1979). Asimismo, la hacienda del Jabalí abrió dos acequias para regar las

Ilustración 4. Configuración del nivel piezométrico en la región de Rioverde, San Luis Potosí (Montañez, 1992).



tierras que poseía al sur del manantial (acequias El Capulín y Potrero de Palos). En los años cuarenta, los ejidos ubicados al sur y sureste del valle obtuvieron derechos para aprovechar las aguas del manantial, para lo cual construyeron un quinto canal (acequia San José).

Finalmente, en 1980 se estableció el Distrito de Riego 049, para lo cual se juntaron las aguas de las acequias Rioverde y Villana en un solo canal (canal principal) y se construyó una red de canales secundarios. A la vez, se desarrolló un sistema de drenes para disminuir el nivel del manto freático y prevenir problemas de ensaltramiento del suelo. Con estas obras se pudo regar prácticamente todas las tierras ubicadas entre la margen derecha del río Verde y el manantial de la Media Luna, unas 4,800 hectáreas.

### Pozos

Alrededor de 1950 se inició el aprovechamiento del agua subterránea con propósitos de riego. Generalmente, los pozos se excavaban de forma manual (pozos a cielo abierto), a una profundidad menor de 15 m. El equipo de bombeo consistía en motores de combustión interna de alrededor de diez caballos de potencia y bombas centrífugas con tubo de succión de tres o cuatro pulgadas.

Para 1966 se contaba con 226 pozos, de los cuales 179 (79.2%) eran a cielo abierto y 47 (20.8%) profundos, perforados a más de cincuenta metros. Con estos pozos se regaban 4,348 ha, principalmente sembradas con chile, jitomate, algodón, frijol y cítricos (Alemán, 1966; SRH, 1966).

En 1987 existían 306 pozos, de los cuales 239 (78.1%) eran profundos y sólo 67 (21.9%) a cielo abierto. Los pozos profundos estaban equipados con bombas cuyo diámetro de succión variaba entre tres y ocho pulgadas. La superficie de riego era de 7,942 ha, en la cual se producía principalmente naranja, alfalfa, maíz, jitomate, chile, tomate y calabacita (información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua y el Distrito de Desarrollo Rural 130).

### Clasificación del agua para riego

La calidad del agua para riego se define con base en los siguientes factores generales: composición química del agua, tolerancia de los cultivos a las sales, propiedades de los suelos, condiciones de manejo de suelos y aguas y condiciones climáticas (Kovda *et al.*, 1967; Richards, 1973; Palacios y Aceves, 1994).

En el presente trabajo, la calidad del agua se define sólo a partir de sus características químicas, pues el área de estudio presenta una gran diversidad en cuanto a cul-

tivos, suelos y prácticas de manejo de suelo y agua. Así, en forma más limitada, se reconoce que la calidad del agua para riego se define con base en los siguientes criterios: contenido de sales solubles, efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos y contenido de elementos tóxicos para las plantas (Palacios y Aceves, 1994; Fipps, 1996).

El sistema de clasificación del agua para riego más utilizado es el propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos en 1954, el cual ha sufrido algunas modificaciones (Kovda *et al.*, 1967; Fipps, 1996).

El contenido de sales solubles en el agua de riego se determina en forma indirecta midiendo su conductividad eléctrica (CE). La CE se expresa en micromhos  $\text{cm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  ( $\text{CE} \times 10^6$ ). Los límites entre las diferentes clases de CE y la calificación correspondiente son los siguientes (Fipps, 1996): 0 a 250, excelente (C1); 250 a 750, buena (C2); 750 a 2,000, permisible (C3); 2,000 a 3,000, dudosa (C4); >3,000, impropia (C5).

El efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos se estima de dos maneras:

- Relación de adsorción de sodio (RAS). La RAS se calcula con la fórmula:  $\text{RAS} = \text{Na} / \sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}$ , donde todos los valores se expresan en  $\text{meq l}^{-1}$ . La amplitud de variación de la RAS se divide en cuatro clases (Fipps, 1996): 1 a 10, baja (S1); 10 a 18, media (S2); 18 a 26, alta (S3), y >26, muy alta (S4).
- Carbonato de sodio residual (CSR). El CSR se calcula con la fórmula:  $\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ , donde todos los valores se expresan en  $\text{meq l}^{-1}$ . La amplitud de variación del CSR se divide en tres clases, con sus calificaciones respectivas: < 1.25, buena; 1.25 a 2.5, condicionada, y > 2.5, no recomendable (Richards, 1973; Palacios y Aceves, 1994).

Los elementos tóxicos para las plantas que más a menudo contienen las aguas son boro, ion cloruro, litio y sodio. La clasificación del agua con base en el contenido del ion cloruro ( $\text{meq l}^{-1}$ ) es la siguiente: < 1.0, buena; 1.0 a 5.0, condicionada, y > 5.0, no recomendable (Palacios y Aceves, 1994).

### Materiales y métodos

En total se recopilaron los datos de 1,220 análisis de aguas de la región de estudio, los cuales pertenecen a dos laboratorios:

- Instituto de Investigación de Zonas Desérticas (IIZD) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, don-

de en el lapso de 1961 a 1985 se analizaron 215 muestras. Estos análisis comprenden datos de conductividad eléctrica, pH,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Cl}^-$ .

2. Distrito de Desarrollo Rural 130, en cuyo laboratorio —de 1980 a 1997— se analizaron 1,005 muestras de agua, de las cuales 911 sólo contienen datos de conductividad eléctrica, pH,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y RAS; las 94 restantes también incluyen información sobre  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ .

Después de recopilar la información anterior se utilizó la carta geológica (CETENAL, 1973) para ubicar los pozos y manantiales donde fueron tomadas las muestras y obtener información sobre las formaciones geológicas en que están situados. Asimismo, se hicieron recorridos de campo para verificar la localización de dichos puntos de muestreo. Con base en el trabajo precedente, se juzgó adecuado utilizar sólo los análisis que presentaban referencias suficientes para ubicar los puntos de muestreo. Primero se procesó la información en la hoja de cálculo Excel 97 para Windows 98. Con base en la clasificación de Richards (1973), modificada por Fipps (1996), se elaboraron cuadros con los valores promedio de conductividad eléctrica, RAS, pH y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ). Posteriormente, las 94 muestras que contaban con datos de conductividad eléctrica, RAS, pH y los principales cationes y aniones, se sometieron a un análisis multivariable de

ordenación mediante componentes principales, todo ello contenido en el paquete computacional CANOCO (Ter Braak, 1988a).

## Resultados

### Manantiales

Con base en su ubicación geográfica y la calidad del agua, los manantiales del área de estudio pueden agruparse en dos zonas: a) norte, comprende los manantiales situados entre los poblados de San Bartolo, Angostura y San Francisco, y b) sur, incluye la Media Luna, Los Anteojos y los pequeños manantiales ubicados entre los poblados de El Carmen, Miguel Hidalgo y Bordo Blanco (ilustraciones 2 y 5).

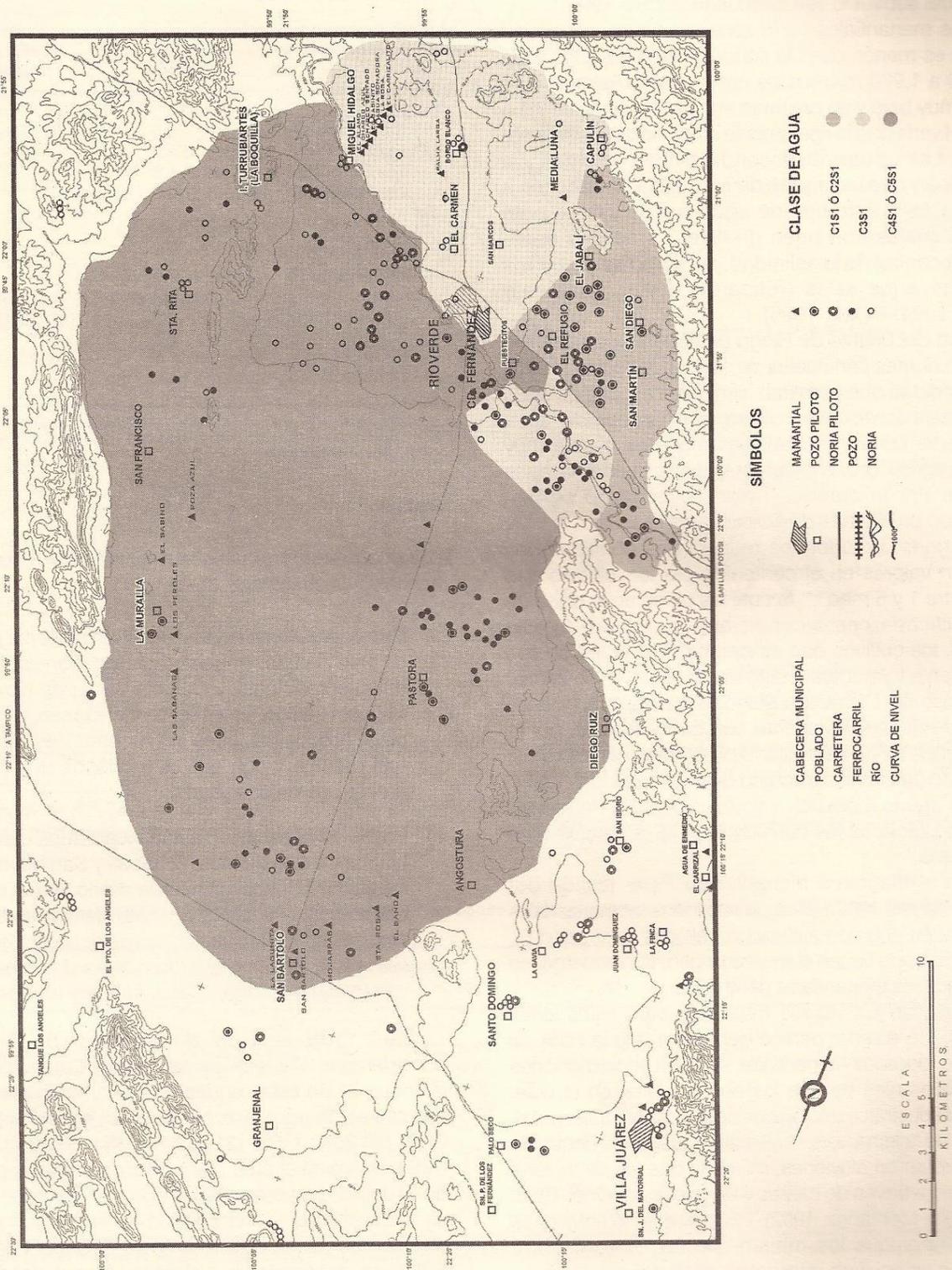
Se consideraron 109 análisis, que corresponden a doce manantiales y a diferentes fechas de muestreo; el mayor número pertenece a la Media Luna (79) y Los Anteojos (17). Los valores de conductividad eléctrica, RAS y pH de las clases de agua se presentan en el cuadro 1. En la zona norte, la concentración de sales es alta, pues la conductividad eléctrica varía desde 2,359 hasta 3,195 micromhos  $\text{cm}^{-1}$  a 25°C. Sin embargo, los valores de la RAS son bajos. Por otra parte, los valores del pH son ligeramente alcalinos. Las amplitudes de variación de la conductividad eléctrica y la RAS indican que las aguas de los manantiales de esta zona corresponden a las clases C4S1 y C5S1. El agua de la clase C4S1 puede

**Cuadro 1. Valores de conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio, pH y clase de agua en diferentes manantiales de la región de Rioverde, San Luis Potosí.**

Zona/Manantial*	CE x 10 <sup>6</sup> ( $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ ) a 25°C	Relación de adsorción de sodio	pH	Clase de agua
Norte				
Santa Rosa (1)	3,195	0.4	7.3	C5S1
La Lagunita (1)	2,875	0.2	7.8	C4S1
Los Baños (1)	2,449	0.3	8.1	C4S1
Los Peroles (4)	2,359	0.3	7.6	C4S1
Sur				
Media Luna (79)	1,650	0.1	7.2	C3S1
Anteojos (17)	1,738	0.1	7.3	C3S1
Palma Larga (1)	1,885	0.2	7.2	C3S1
Charco Azul (1)	1,980	0.1	7.8	C3S1
Agua Sonadora (1)	1,680	0.1	6.5	C3S1
El Sabino (1)	1,800	0.2	6.5	C3S1
El Carrizalito (1)	1,800	0.1	6.5	C3S1
La Rosa (1)	1,800	0.1	6.5	C3S1

\* Entre paréntesis se anota el número de muestras consideradas para cada manantial. En el caso de los manantiales Los Peroles, Media Luna y Anteojos, los valores de los atributos corresponden a los promedios.

Ilustración 5. Distribución de las clases de agua de manantiales y pozos de la región de Rioverde, San Luis Potosí.



usarse para riego, siempre y cuando se trate de cultivos muy tolerantes a las sales, se aplique en abundancia y el drenaje del subsuelo sea adecuado (Fipps, 1996).

En los manantiales de la zona sur, la concentración de sales es menor, pues la conductividad eléctrica varía de 1,650 a 1,980 micromhos  $\text{cm}^{-1}$  a 25°C. Asimismo, la RAS es muy baja y se presenta en una amplitud de 0.1 a 0.2. El pH varía desde ligeramente ácido hasta ligeramente alcalino. Los valores de la conductividad eléctrica y la RAS indican que las aguas de esta zona pertenecen a la clase C3S1. Este tipo de agua puede usarse para riego en suelos con buen drenaje y prácticas especiales de control de la salinidad, así como para cultivos tolerantes a las sales (Richards, 1973; Palacios y Aceves, 1994; Fipps, 1996).

El área del Distrito de Riego 049 cuenta con una red de cuatro drenes principales de alrededor de tres metros de profundidad que permiten eliminar el exceso de agua de los suelos con textura arcillosa; además, como el agua de la Media Luna y manantiales menores cuesta muy poco, los agricultores acostumbran aplicar fuertes láminas de riego. Por lo anterior, hasta la fecha no se han presentado problemas de salinidad en el suelo.

Las aguas de todos los manantiales considerados presentan valores en el contenido del ion cloruro que varían entre 1 y 5 meq  $\text{l}^{-1}$ , lo cual las ubica en la clase de agua calificada como condicionada (cuadro 2). Sin embargo, los cultivos que se siembran en la región son relativamente tolerantes a este ion, y como ya se señaló para el caso del Distrito de Riego 049, se aplican fuertes láminas de riego y se cuenta con buen drenaje, por lo que tampoco se han apreciado problemas con cloruros.

En relación con el carbonato de sodio residual (CSR), todas las aguas muestran valores de cero o negativos, por consiguiente se les considera en la clase calificada como buena.

Según el diagrama triangular de Piper (citado por González-Reyes, 1993), las aguas de todos los manantiales corresponden al grupo sulfatadas cálcicas (ilustración 6), lo cual indica que tienen el mismo origen; sin embargo, se observa que los manantiales de la zona norte presentan los valores más altos para estos iones (cuadro 3). Lo anterior parece deberse a que la zona de recarga de todos los manantiales se ubica en formaciones calizas, pero antes de que las aguas broten en el valle, cruzan por substratos geológicos de distinta naturaleza. Así, las aguas de la zona norte fluyen por oquedades dentro de yesos y brotan en aluviones, mientras que las de la zona sur lo hacen a través de calizas y aluviones (Medina, 1966; SARH, 1979; Montañez, 1992). Con base en lo anterior se puede afirmar que los manantiales de la zona norte constituyen un acuífero diferente al del sur.

**Cuadro 2. Clasificación del agua de diferentes manantiales de la región de Rioverde, San Luis Potosí, con base en el contenido de cloruros.**

Zona/Manantial*	$\text{Cl}^-$ Meq $\text{l}^{-1}$	Calificación de la clase de agua
Norte		
Santa Rosa (1)	2.0	Condicionada
La Lagunita (1)	2.2	"
Los Baños (1)	1.8	"
Los Peroles (3)	3.3	"
Sur		
Media Luna (12)	1.9	"
Anteojitos (2)	1.1	"
Palma Larga (1)	3.7	"
Charco Azul (1)	0.7	Buena
Agua Sonadora (1)	2.6	Condicionada
El Sabino (1)	2.6	"
El Carrizalito (1)	2.9	"
La Rosa (1)	4.9	"

\* Entre paréntesis se anota el número de muestras consideradas para cada manantial. En el caso de los manantiales Los Peroles, Media Luna y Anteojitos, los valores del atributo corresponden a los promedios.

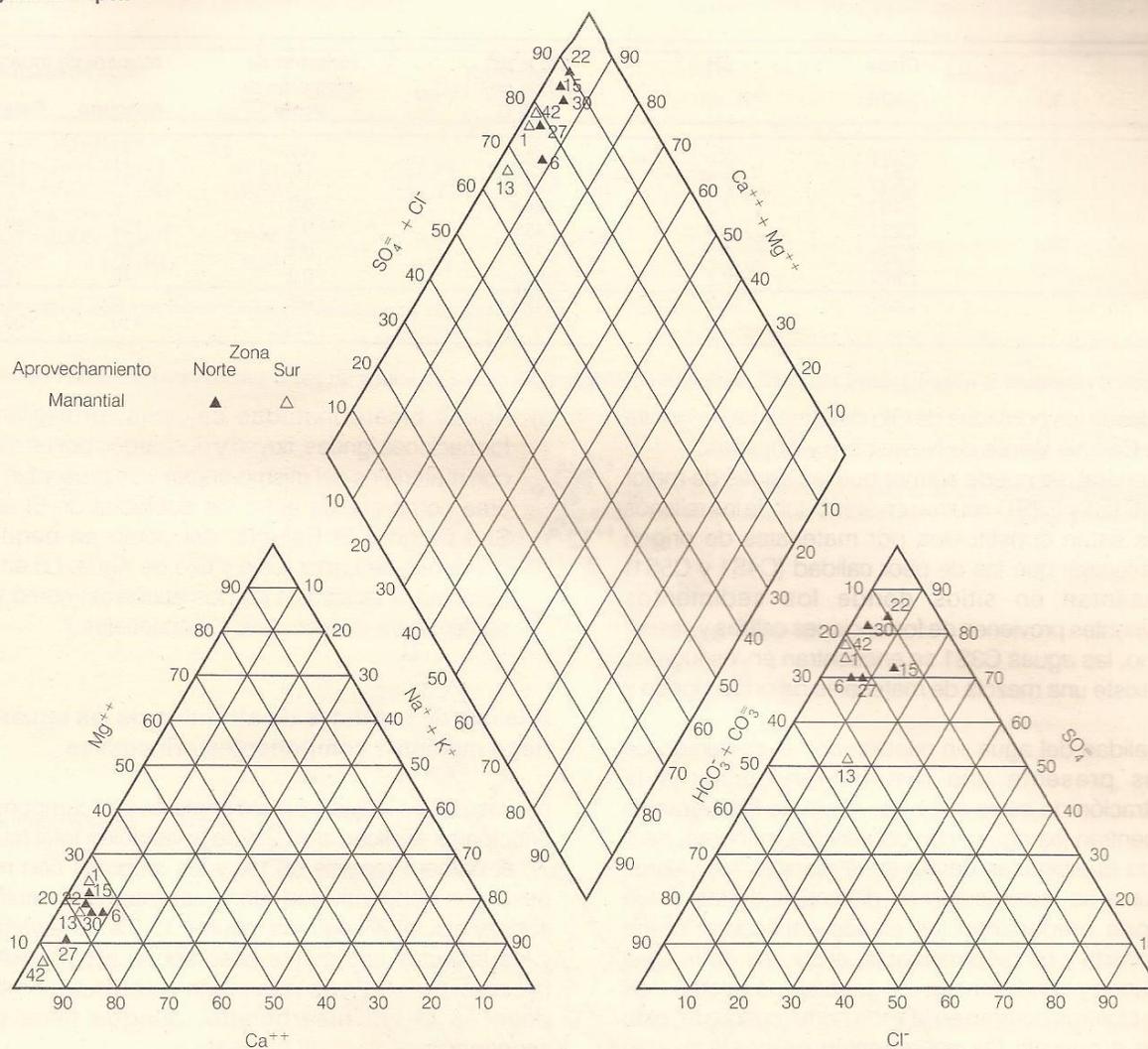
## Pozos

Los pozos se agrupan de la misma manera que los manantiales (ilustraciones 2 y 5):

- Pozos de la zona norte: se ubican entre los poblados de San Bartolo, Angostura y San Francisco, en el límite septentrional, y Colonia Veinte de Noviembre y Miguel Hidalgo, en el límite meridional. Es una zona poco productiva, pues los terrenos son planos, con mal drenaje y con suelos arcillosos que presentan problemas de salinidad.
- Pozos de la zona sur: están localizados entre los poblados de Puestecitos, El Jabalí y San Martín, y en la franja de la margen izquierda del río Verde, que va de Labor Vieja a la Colonia Veinte de Noviembre. Es la zona más productiva de la región, pues los terrenos presentan pendiente suave, buen drenaje y suelos con texturas arenarcillosa, franca y arcillosa.

Para toda el área de bombeo de pozos se consideraron 319 análisis de aguas. La clasificación y distribución de estas aguas se presenta en el cuadro 4. Las clases de agua que predominan son las siguientes: C2S1 (38.25%), C5S1 (31.35%) y C3S1 (18.49%). La clase C2S1 ocurre en el área comprendida entre los poblados de El Jabalí, La Loma, San Diego y El Refugio; la C5S1, en la zona norte y una porción de la margen derecha, que abarca desde Adjuntas hasta el Canal Principal; la C3S1, en una franja de ambas márgenes del río Verde,

Ilustración 6. Clasificación de muestras de aguas de manantiales de la región de Rioverde, San Luis Potosí, según el diagrama triangular de Piper.



Cuadro 3. Concentración de los principales iones (meq l<sup>-1</sup>) en las aguas de los manantiales de la región de Rioverde, San Luis Potosí.

Zona/Manantial*	Cationes				Aniones		
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
Norte							
La Lagunita (1)	31.20	7.80	0.99	0.18	3.85	2.20	32.15
Santa Rosa (1)	30.25	7.15	1.64	0.47	4.95	2.00	29.58
Los Baños (1)	24.60	3.00	1.07	0.16	6.00	1.80	17.85
Los Peroles (3)	21.93	5.93	1.66	0.13	8.27	3.26	28.56
Sur							
Media Luna (26)	14.64	5.83	0.51	0.08	4.68	1.92	17.88
Anteojitos (2)	21.60	1.80	0.49	0.11	4.70	1.10	18.91
Palma Larga (1)	18.50	4.00	0.70	0.10	8.40	3.74	12.52
Charco Azul (1)	19.80	7.40	0.21	0.03	3.69	0.74	26.44

\* Entre paréntesis se anota el número de muestras consideradas para cada manantial. En el caso de los manantiales Los Peroles, Media Luna y Anteojitos, los valores de concentración de los iones corresponden a los promedios.

**Cuadro 4. Distribución de las clases de agua y valores promedio de tres atributos en dos zonas del área de bombeo de la región de Rioverde, San Luis Potosí.**

Zona	Clase	pH	CE x 10 <sup>6</sup> (µmhos cm <sup>-1</sup> ) a 25°C	Relación de adsorción de sodio	Número de muestras	
					Absoluto	Relativo
Norte	C4S1	7.2	2,550	0.6	21	6.58
	C5S1	7.3	4,501	1.1	94	29.47
Sur	C1S1	7.3	240	0.2	2	0.63
	C2S1	7.4	451	0.4	122	38.25
	C3S1	7.2	1,334	0.4	59	18.49
	C4S1	7.2	2,515	0.3	15	4.70
	C5S1	7.1	3,590	0.6	6	1.88
Total					319	100.00

que va desde los poblados de Ojo de Agua y La Reformita hasta la Colonia Veinte de Noviembre y Adjuntas.

En general, se puede afirmar que las aguas de mejor calidad (C1S1 y C2S1) ocurren en áreas donde los rellenos aluviales están constituidos por materiales de origen ígneo; mientras que las de peor calidad (C4S1 y C5S1) se presentan en sitios donde los sedimentos predominantes provienen de formaciones calizas y yesos; asimismo, las aguas C3S1 se encuentran en los lugares donde existe una mezcla de materiales de origen ígneo y calizo.

La calidad del agua en relación con el contenido de cloruros presenta una distribución similar a la concentración de sales solubles. Al pie de las serranías se encuentran las aguas con contenidos menores, pero a medida que circulan dentro de la planicie, los valores de cloruros se incrementan en distancias cortas. En la zona norte predominan las clases calificadas como condicionada y no recomendable; al sur, las calificadas como buena y condicionada. En general, los valores más altos de cloruros ocurren en la zona norte (cuadro 5), esto se debe a que ahí las aguas están en contacto con horizontes de evaporación.

Los valores del carbonato de sodio residual en el área de bombeo son similares a los que ocurren en el área de los manantiales.

Con base en el diagrama triangular de Piper (citado por González-Reyes, 1993), las aguas de los pozos se relacionan principalmente con dos grupos geoquímicos (cuadro 6 e ilustración 7):

a) Aguas sulfatadas cálcicas: al igual que en los manantiales, esta aguas proceden de las formaciones calizas que rodean la planicie, fluyen por grietas de calizas y oquedades de yeso, alumbran en pozos y norias perforados en yesos y aluvión, y se distribuyen por casi toda la planicie.

b) Aguas bicarbonatadas cálcicas: provienen de formaciones ígneas, fluyen y descargan por un aluvión con materiales del mismo origen y se presentan en el área comprendida entre los poblados de El Jabalí, San Diego y El Refugio, así como en pequeñas porciones de Labor Vieja y Ojo de Agua. Lo anterior confirma la existencia de dos acuíferos, como ya se señaló, para el caso de los manantiales.

#### **Análisis de los datos de atributos de las aguas de riego mediante componentes principales**

Los resultados indican que los primeros tres componentes principales explican el 79.2% de la variación total (cuadro 7); el primero resume 56.1% y los atributos con mayor peso son conductividad eléctrica, magnesio, sulfatos, sodio y calcio; el segundo resume 13.9% de la variación y los atributos con mayor peso son el pH y la RAS; el tercero explica 9.1% de la variación y el atributo con mayor peso es el ion bicarbonato, aunque tiene poca importancia.

**Cuadro 5. Clasificación de las aguas con base en el contenido de cloruros, en dos zonas del área de bombeo de la región de Rioverde, San Luis Potosí.**

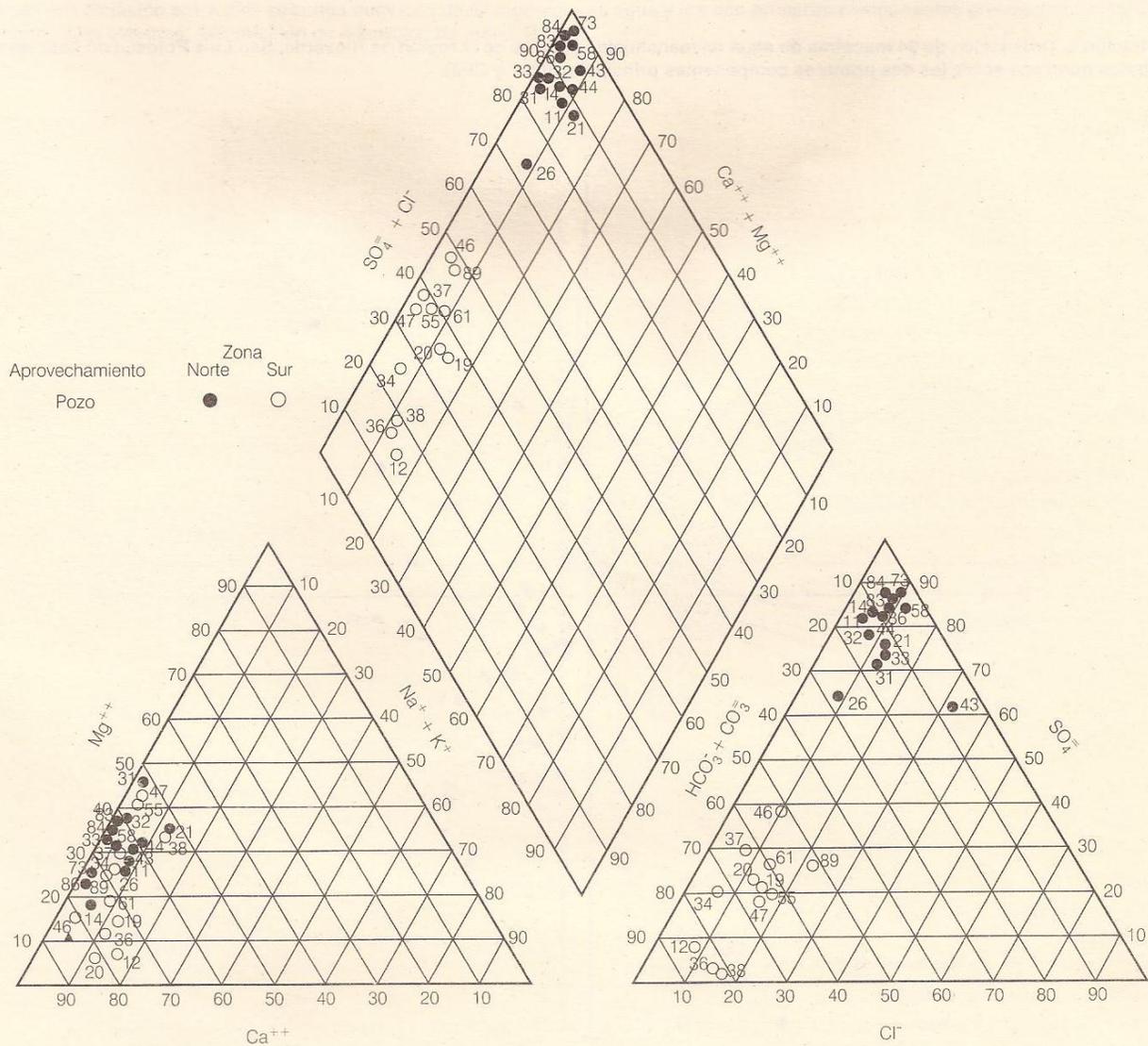
Zona	Calificación de la clase de agua	Número de muestras	
		Absoluto	Relativo
Norte	Buena	2	2.22
	Condicionada	20	22.22
	No recomendable	14	15.56
Sur	Buena	27	30.00
	Condicionada	20	22.22
	No recomendable	7	7.78
Total		90	100.00

**Cuadro 6. Concentración promedio de los principales iones (meq l<sup>-1</sup>) en las aguas de los pozos de la región de Rioverde, San Luis Potosí.**

Zona/Grupo de agua*	Cationes				Aniones		
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
Norte, Ca>Mg>Na>K							
SO <sub>4</sub> >Cl>HCO <sub>3</sub> (19)	27.81	19.33	2.56	0.31	3.87	6.51	42.39
SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl (20)	28.86	12.28	1.82	0.28	7.05	3.97	35.98
Sur, Ca>Mg>Na>K							
SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl (27)	12.76	3.34	0.42	0.12	3.31	1.26	16.42
HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl (10)	3.36	1.2	0.22	0.06	2.36	0.54	1.34

\* Entre paréntesis se anota el número de muestras consideradas para cada grupo de agua.

**Ilustración 7. Clasificación de muestras de aguas de pozos de la región de Rioverde, San Luis Potosí, según el diagrama triangular de Piper.**

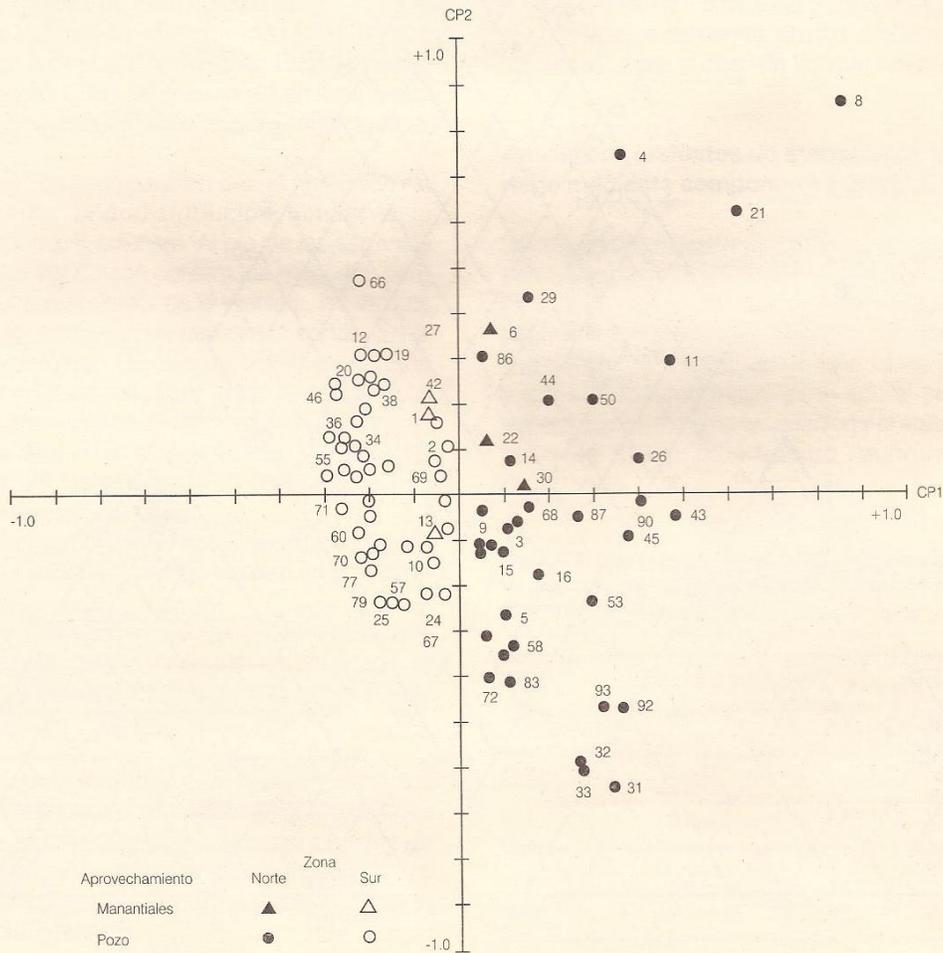


Cuadro 7. Correlaciones entre los tres primeros componentes principales (CP) y diez variables químicas de 94 muestras de agua subterránea de la región de Rioverde, San Luis Potosí.

Variable	CP1 (56.1)*	CP2 (13.9)*	CP3 (9.1)*
Conductividad eléctrica	<b>0.9040</b>	-0.2778	0.0498
Calcio	<b>0.8042</b>	-0.3273	0.3841
Magnesio	<b>0.8788</b>	-0.1491	-0.2129
Sodio	<b>0.8352</b>	0.4171	-0.1513
Potasio	0.7546	0.1416	-0.3960
Bicarbonatos	0.5956	0.0257	<b>0.5650</b>
Cloruros	0.7543	-0.1932	-0.0432
Sulfatos	<b>0.8665</b>	-0.1439	0.0727
RAS	0.6509	<b>0.6229</b>	-0.1605
pH	0.0479	<b>0.7463</b>	0.4300

\* Porcentaje de variación explicada por cada componente principal.

Ilustración 8. Ordenación de 94 muestras de agua de manantiales y pozos de la región de Rioverde, San Luis Potosí, con base en diez atributos químicos sobre los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2).

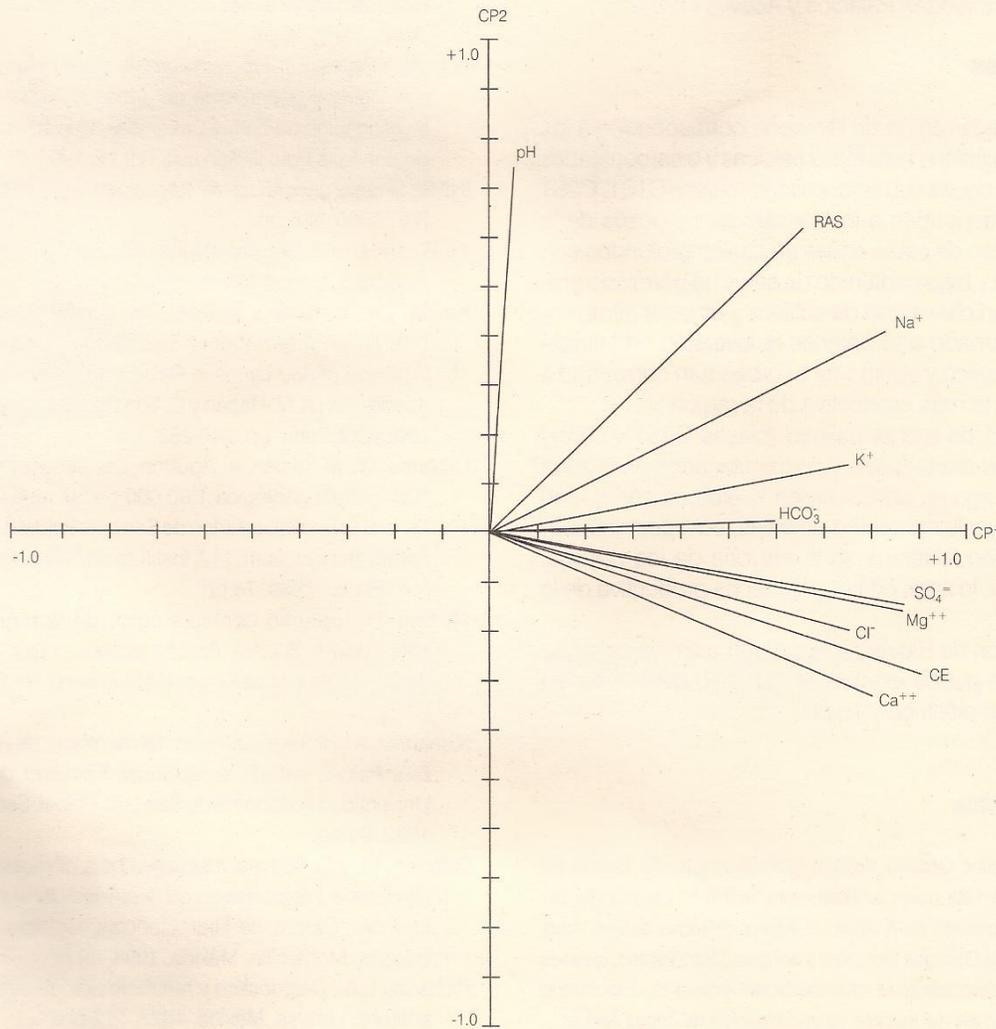


En la ilustración 8 se presenta el ordenamiento de las muestras de agua con base en las diez características químicas estudiadas sobre los primeros dos componentes principales. Este orden de las muestras sobre el primer componente corresponde a su arreglo de acuerdo con un gradiente de conductividad eléctrica y de concentraciones de los iones —magnesio, sulfatos, sodio y calcio—, por ejemplo, las muestras 8, 21, 26, 31, 32, 33, 43, 45, 50, 53, 92 y 93 presentan valores altos en dichas variables, mientras que las 36, 46, 55, 60 y 70 tienen valores bajos. En el segundo componente, el orden se da con base en un gradiente de pH, por ejemplo, las muestras 6, 27 y 29 muestran valores altos del atributo mencionado, pero las 24, 025, 67 y 72 presentan valores

bajos. Geográficamente y geoquímicamente, las aguas con valores más altos de conductividad eléctrica —magnesio, sulfatos, sodio y calcio— corresponden a la zona norte del área de estudio y al grupo de aguas sulfatadas cálcicas, mientras que las que exhiben valores bajos de tales atributos pertenecen a la zona sur y al grupo de aguas bicarbonatadas cálcicas, o bien al de sulfatadas cálcicas con concentraciones muy bajas en todos los iones.

En la ilustración 9 se presentan las relaciones que guardan las variables consideradas con los dos primeros componentes. Se observa que la conductividad eléctrica y todos los iones (ocho variables) están más relacionados con el primer componente principal (CP1). Como las ocho

**Ilustración 9. Relación entre diez atributos químicos de 94 muestras de agua y los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). (Conductividad eléctrica, CE; relación de adsorción de sodio, RAS).**



variables están muy correlacionadas, la conductividad eléctrica —por ser la variable más importante, el vector con mayor magnitud— puede caracterizar por sí misma todas las muestras de agua. Por otra parte, el pH y la RAS están mejor relacionados con el segundo componente principal (CP2); sin embargo, como el pH corresponde al vector con mayor magnitud puede caracterizar mejor las muestras de agua que la relación de adsorción de sodio.

Con base en estos resultados y en los de la clasificación previa de las muestras de agua, la calidad química del agua de riego de la región estudiada —referida a las condiciones dominantes de cultivos, suelos y prácticas de manejo— se puede caracterizar apropiadamente con sólo las variables siguientes: a) conductividad eléctrica, la cual está correlacionada particularmente con los iones más abundantes y b) pH. Esto permitirá ahorrar dinero y trabajo de laboratorio, como lo recomiendan Palacios y Aceves (1994).

### 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.

### Agradecimientos

Al ingeniero Carlos Octavio Navarro González, jefe del Distrito de Desarrollo Rural 130, quien amablemente facilitó la información del archivo del Laboratorio de Análisis de Aguas de dicho distrito. A las químicas Yolanda Gallegos González y Socorro Jasso Espino, quienes gentilmente proporcionaron la información del archivo del Laboratorio de Análisis de Aguas del Instituto de Investigación de Zonas Áridas.

Recibido: 20/10/2000

Aprobado: 27/11/2001

### Referencias

- Alemán, E., *Investigación socioeconómica directa de los ejidos de San Luis Potosí*, Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas, México, 1966, 192 pp.
- Alvarado, A.R., *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, 1973, 40 pp.
- CETENAL, 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, 1973.
- Fipps, G., *Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies*, B-1667, Texas Agricultural Extension Service, A&M University System, College Station, Texas, 1996, 19 pp.
- González-Reyes, F.J., *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, 1993, 51 pp.
- INEGI, *Síntesis geográfica del estado de San Luis Potosí*, México, D.F., 1985, 186 pp.
- INEGI, *San Luis Potosí. Resultados definitivos. VII. Censo agrícola-ganadero*, tomo I, México, 1994, 505 pp.
- Kovda, V.A., B. Yaron y Y. Shalhevet, *Quality of Irrigation Water (1967)*, en *International Sourcebook on Irrigation and Drainage of Arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity*, Kovda, V.A., A.M. Hagan y C. Ven Den Berg (editores), FAO-UNESCO, París, pp. 246-282.
- Labarthe, G., M. Tristán, A. Aguillón, L.S. Jiménez y A. Romero, "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, 1989, 76 pp.
- Medina, F., "Estudio geohidrológico de la región Cerritos-Villa Juárez, S.L.P.", *Folleto técnico*, núm. 10, Instituto de Geología y Metalurgia, UASLP. San Luis Potosí, 1966, 24 pp.
- Montañez, A., *Hidrogeoquímica del municipio de Rioverde, San Luis Potosí*, trabajo recepcional, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, 1992, 91 pp.
- Palacios, O. y E. Aceves, *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, 1994, 49 pp.
- Richards, L.A., *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*, Limusa, México, 1973, 172 pp.

SARH, *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., 1979.

SRH, *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, 1966, 117 pp.

Ter Braak, C.J.F., *CANOCO – A FORTRAN Program for Canonical Community Ordination by (Partial) (Detrended) (Canonical)*

*Correspondence Analysis, Principal Component Analysis and Redundancy Analysis*, Agricultural Mathematics Group, Wageningen, 1988a, 95 pp.

Velázquez, P.F., *Colección de documentos para la historia de San Luis Potosí*, tomo 3, Archivo Histórico del Estado, San Luis Potosí, 1987, 561 pp.

Verástegui, E., "Rioverde, S.L.P. V. Dominio español y la independencia", *Cuadernos*, núm. 74, Biblioteca de Historia Potosina, San Luis Potosí, 1979, 42 pp.

Villalobos, C.I., "Carta hidrogeoquímica del estado de San Luis Potosí, 1974", *Folleto técnico*, núm. 42, Instituto de Geología y Metalurgia, UASLP, San Luis Potosí, 1974, 35 pp.

#### Abstract

Charcas Salazar, H., E. Olivares Sáenz & J.R. Aguirre Rivera, "Irrigation Water In Rioverde Region, San Luis Potosí, Mexico", *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*, vol. 17, no. 4, pages 37-56, October-December, 2002.

Approximately 15,132 ha of farmland in the region of Rioverde are irrigated, mainly from two sources: the Manatíal de la Media Luna (a spring which provides 7 m<sup>3</sup>/s of water) and a series of small wells. The latter consists of 239 deep wells and 67 shallow wells, which together generate 74,000,000 m<sup>3</sup> per year. Water from both sources varies greatly in its composition and concentration of dissolved salts. The use of this water for irrigation had distinct effects on the physical and chemical properties of the soil, on the irrigation equipment, and on plant growth, which were reflected in the productivity and profitability of the crops. The objective of this work was to characterize the quality of the water used for irrigation and its impact on agricultural production. Data were compiled from samples analyzed in the laboratories of the Instituto de Investigación de Zonas Desérticas (Desert Zone Research Institute) and the Distrito de Desarrollo Rural #130 (Rural Development District #130). Average values for electrical conductivity, sodium absorption ratio, pH, cations, and anions were obtained and organized in tables to determine classes of water as determined by their chemical characteristics. Later, those data, which were complete for the chemical characteristics listed above, were categorized using multivariate ordination techniques. The results showed that the water in the region corresponds to the following geochemical groups: water with calcium sulfates and water with calcium bicarbonates. The water with the best quality for irrigation comes from the spring and wells in the southern part of the region, while the water with poorer quality is used in the north.

**Keywords:** irrigation, irrigation water quality, groundwater, springs, pumping, aquifers, hydrogeochemistry, Rioverde, San Luis Potosí.

#### Dirección institucional de los autores:

Hilario Charcas Salazar

Facultad de Agronomía  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Carretera Zuazua-Marín, km 17, Marín, Nuevo León  
México.  
Correo electrónico: charcassalazar@yahoo.com

Emilio Olivares Sáenz

Facultad de Agronomía  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Carretera Zuazua-Marín, km 17, Marín,  
Nuevo León, México.  
Apartado Postal 358  
Código Postal 66450  
Teléfono: (52) (824) 8 02 59  
Fax: (52) (824) 8 01 01

Juan Rogelio Aguirre Rivera

Instituto de Investigación de Zonas Desérticas  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
Altair 200, Fraccionamiento del Llano  
78377 San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.  
Teléfono: (52) (4) 822 2130  
Fax: (52) (4) 822 2718  
Correo electrónico: iizd@prodigy.net.mx