

ESTADO ACTUAL DEL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE RIOVERDE, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

• Francisco Aguilar-Ortega • Hilario Charcas-Salazar •
 • Juan Rogelio Aguirre-Rivera • Javier Castro-Larragoitia •
 • José Luis Flores-Flores •

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

Resumen

El valle de Rioverde geográficamente se puede dividir en dos zonas: a) *Norte*, de aguas sulfatadas cálcicas, clases de agua C4S1 y C5S1 e impotables, se utilizan en la producción de cosechas; b) *Sur*, de aguas bicarbonatadas cálcicas, clases de agua C1S1, C2S2 y C3S1 y potables, con diferentes posibilidades de uso. Debido a la excelente calidad del agua en la zona sur, se espera que los efectos de un mayor aprovechamiento sean más intensos en esta zona. Considerando lo anterior, el objetivo del trabajo fue reconocer y jerarquizar los factores que influyen en el aprovechamiento del agua subterránea para uso agrícola y sus implicaciones en el abatimiento del nivel freático en la porción sur del valle de Rioverde. El procedimiento de trabajo fue: a) recopilar y analizar información censal y de archivos sobre el aprovechamiento del agua subterránea del valle de Rioverde; b) realizar una encuesta entre agricultores propietarios de pozos. La temática comprendió infraestructura hidráulica, organización, sistemas de cultivo, producción, rentabilidad y comercialización agrícola, crédito y apoyo oficial. La información censal y de archivos se sintetizó en cuadros. La información de la encuesta se analizó mediante análisis multivariable (componentes principales y TWISPAN). Los resultados indican que el aprovechamiento del agua subterránea se puede caracterizar con las variables aplicación del agua y patrón de cultivos. Asimismo, los agricultores se pueden agrupar con base en la aceptación de medidores que regulan la extracción, en la adopción de tecnologías de extracción y aplicación del agua, y en los patrones de cultivos.

Palabras clave: agua subterránea, valle, pequeños regadíos, patrón de cultivos, bombeo de pozos, análisis multivariable, aplicación del agua, Rioverde, San Luis Potosí.

Introducción

Localización del área de estudio

El valle de Rioverde se ubica principalmente en los municipios de Rioverde y Ciudad Fernández, situados en la porción sureste del estado de San Luis Potosí, México. El valle de Rioverde (figura 1) se extiende 60 km de norte a sur y 35 km de este a oeste; sus límites naturales son los siguientes: hacia el noreste, la sierra de San Francisco, y los cerros Vetado y Viejo; al este, los

cerros La Aguanosa, El Almagre, Mesas Cuatas y el Chichote; al sureste y sur, los cerros La Lágrima y Grande; al oeste y noroeste, los cerros de Cieneguilla, San Diego y Jabalí, y las sierras La Noria y El Tablón (INEGI, 2006).

En el valle de Rioverde, las aguas subterráneas están localizadas en:

- a) Acuíferos granulares, depósitos aluviales, los cuales conforman el principal material de relleno del valle; las zonas de recarga se localizan en las sierras circundantes

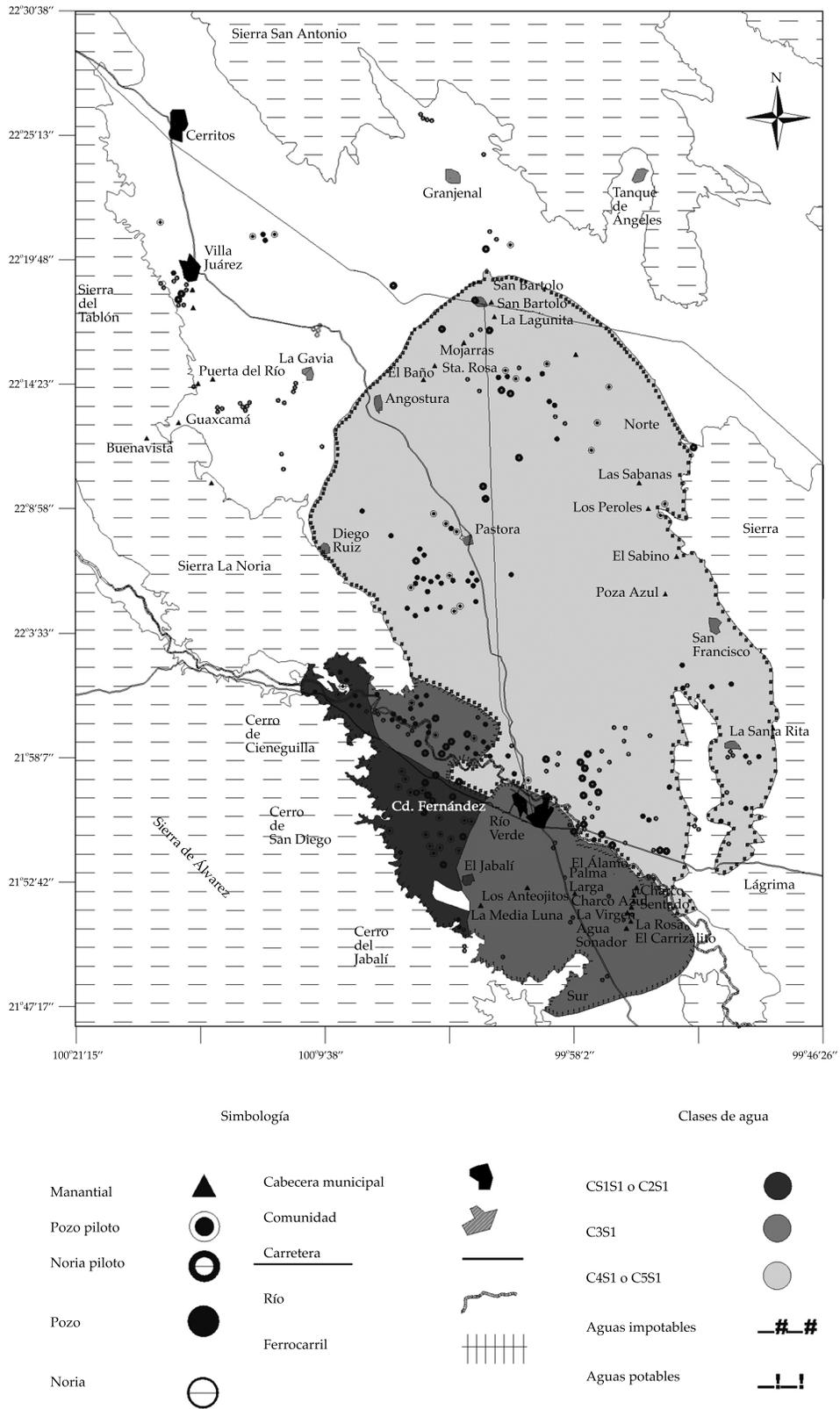


Figura 1. Pozos y manantiales del valle de Rioverde, San Luis Potosí, México (adaptado de Charcas, 2002).

y su descarga es a través de 1271 pozos. Al norte del valle, las aguas provienen de la región cárstica del noroeste; al sur, en la margen derecha del río Verde, las aguas provienen del sistema de sierras El Jabalí, San Diego y Cieneguilla, situadas al suroeste del valle.

- b) Acuíferos en calizas cretácicas, rocas de la Formación El Doctor y Guaxcamá, tienen sus zonas de recarga en las sierras circundantes y su descarga es a través de cinco grupos de manantiales (figura 1), entre los que destacan Media Luna, Charco Azul, Los Peroles, San Bartolo y Puerta del Río (Alvarado, 1973; SARH, 1979; PROYESCO, 1980; Conagua, 2002).

Geográficamente, el valle de Rioverde (figura 1) puede dividirse en dos zonas:

- a) Norte, donde las aguas corresponden principalmente al grupo geoquímico sulfatadas cálcicas, las cuales presentan valores de conductividad eléctrica que varían de 2 359 a 4 501 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C y clases de agua C4S1 y C5S1. Estos valores las hacen impropias para el consumo humano, sin embargo, se aprovechan en la producción animal y de cosechas. Las actividades económicas son la ganadería extensiva y la producción de cosechas de temporal y pequeños regadíos abastecidos por pozos profundos y manantiales.
- b) Sur, las aguas corresponden principalmente al grupo geoquímico bicarbonatadas cálcicas, las cuales presentan valores de conductividad eléctrica que varían de 240 a 2 515 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C, lo cual implica diferentes clases de agua (C1S1, C2S1, C3S1) y posibilidades de uso (consumo humano, producción animal y de cosechas). Las actividades económicas son el comercio, la ganadería intensiva, y la producción de cosechas de temporal, y de riego; la irrigación se realiza principalmente en huertas de cítricos y hortalizas mediante pozos profundos, y en el distrito de riego

número 130 mediante los manantiales Media Luna y Antejitos (Charcas, 2002; Charcas *et al.*, 2002).

Así, en el valle, las diferencias en la calidad del agua, principalmente, han condicionado los sistemas de producción agrícola bajo riego. Estas diferencias se reflejan en disimilitudes en los sistemas de extracción y aplicación del agua, y en el descenso del nivel freático. Debido a la excelente calidad del agua en la zona sur, se espera que los efectos de un mayor aprovechamiento sean más intensos en esta zona. Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue reconocer y jerarquizar los factores que influyen en el aprovechamiento del agua subterránea para uso agrícola y sus implicaciones en el abatimiento del nivel freático en la porción sur del valle de Rioverde.

Materiales y métodos

Recopilación y análisis de información de archivos sobre la hidrogeología y aprovechamiento del agua subterránea del valle de Rioverde

Se consultaron los archivos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) (Gerencia Estatal) y del Distrito de Desarrollo Rural Número 130. La información obtenida se ordenó cronológicamente en cuatro etapas. Para cada etapa se hizo una síntesis de la tecnología de extracción y aplicación del agua, y de los sistemas agrícolas irrigados.

Encuesta a los agricultores propietarios de pozos

Entre julio y diciembre de 2006 se encuestaron 85 agricultores. El cuestionario se preparó con base en lo propuesto por Namakforoosh (2000) y Charcas (2002). La temática comprendió infraestructura hidráulica, propiedad del pozo y de la tierra, forma de organización, sistemas de cultivo, sistemas de aplicación del agua, costo de producción y rentabilidad, comercialización,

crédito y apoyo oficial. La información de la encuesta se codificó, estandarizó y organizó en una matriz de 85 filas (propietarios de pozos) por 49 columnas (variables consideradas); posteriormente, se analizó mediante componentes principales (McCune y Mefford, 1999), la cual es una técnica de ordenación que permite identificar y resumir las relaciones que se presentan entre variables y los propietarios de pozos mediante combinaciones lineales a partir de la matriz de correlación; las nuevas variables más relevantes que resultaron del análisis anterior se trataron mediante TWINSPLAN (Höft *et al.*, 1999), método de clasificación jerárquico, divisivo y politético, que agrupa las variables y propietarios de pozos con base en características comunes o afines, para lo cual se empleó el programa PC-ORD v. 4. (McCune y Mefford, 1999).

Resultados y discusión

Evolución de los estudios hidrogeológicos

Antes de 1950, el agua freática estaba prácticamente sin aprovecharse con fines agrícolas, sólo existían algunos pozos a cielo abierto para el consumo doméstico, su recarga fluía como agua freática y descargaba en varios manantiales (Ojo de Agua de Solano, Puente de Cieneguilla, Arroyo Hondo, Las Higueras y San Antonio). El nivel freático en la porción central (El Refugio) era de 3.5 a 4.5 m (Paredes, 1909; Obregón, 1923).

De 1950 a 1972, la extracción del agua freática para riego se realizaba principalmente por pozos a cielo abierto, equipados con motores de combustión interna y bombas centrífugas; los niveles freáticos en el borde y en la porción central del valle eran de 3 y 10 m, la dirección del flujo en el área de Cieneguilla-San Martín era de oeste a este, y en el área del Refugio-Jabalí, de suroeste a noreste; la extracción era de ocho millones de $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$ (SRH, 1966; HIDROTEC, 1972). Como consecuencia de este aprovechamiento, algunos manantiales localizados en el borde

del río Verde desaparecen y otros disminuyen drásticamente su caudal.

De 1972 a 1980 se incrementó el número de pozos profundos equipados con motores eléctricos y bombas de turbina (información proporcionada por la Conagua y el Distrito de Desarrollo Rural 130); los niveles freáticos en el borde y en la porción central del valle (El Refugio) eran de 6 y 12 m, la dirección del flujo se unifica de suroeste a noreste; la extracción era de 16.1 millones de $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$ (PROYESCO, 1980). Debido a esta extracción desaparecen todos los manantiales del borde del río Verde. Con base en lo anterior se puede inferir que la recarga del área estudiada es de 16.1 millones de $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$.

De 1980 a 2003 predominan los pozos profundos, equipados con motores eléctricos de mayor potencia, y bombas de turbina y sumergibles; los niveles freáticos en el borde y en la porción central del valle eran de 10 y 45 m; la extracción fue de 37.80 millones de $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$, lo cual indica que se está aprovechando agua almacenada históricamente. (Conagua, 2002; Ballín, 2003).

Evolución del aprovechamiento del agua subterránea

En el área de estudio se llevaron a cabo tres censos de aprovechamientos subterráneos para riego (cuadro 1):

- Censo de 1966.* Se aprovecha el agua freática del acuífero granular, por medio de 115 pozos, principalmente a cielo abierto (77%), excavados a una profundidad máxima de 36 m; equipados con motores de combustión interna de 2.2 a 20.9 kW y bombas centrífugas; con caudal de 7 a 60 l s^{-1} (SRH, 1966).
- Censo de 1988.* Continúa el uso de las aguas freáticas mediante 179 pozos, la mayoría de ellos profundos (78%), perforados a una profundidad máxima de 75 m, equipados con motores de combustión interna y eléctricos de 4.5 a

Cuadro 1. Evolución de las características generales de los pozos y su equipamiento en la porción sur del valle de Rioverde, San Luis Potosí.

Tipo de pozo/año	Número y profundidad de pozos, tipo de motor, tipo y potencia de la bomba, y diámetro de ademe y descarga									
	Porcentaje de pozos	Profundidad del pozo (m)	Tipo de motor		Potencia de la bomba (kW)	Tipo de bomba			Diámetro de ademe (m)	Diámetro de descarga (cm)
			Combustión interna (%)	Eléctrico (%)		Centrífuga (%)	Turbina de flecha (%)	Sumergible (%)		
1966										
Cielo abierto	77	3 a 36	100		2.2 a 20.9	100			1 a 6.5	3.8 a 25
Profundo	23	38 a 73	100		3.0 a 37.3	100			0.20 a 0.40	7.5 a 20
1988										
Cielo abierto	22	5 a 30	85	15	3.7 a 18.6		96	4	1.2 a 4	2.5 a 20
Profundo	78	13 a 75	90	10	4.5 a 63.4	7	86	7	0.20 a 0.40	5.0 a 20
2003										
Cielo abierto	5	15 a 60	75	25	6.0 a 7.5		92	8	1.2 a 1.4	7.5 a 10
Profundo	95	13 a 330	15	85	7.5 a 93.2	0.50	75	24.50	0.15 a 0.40	7.5 a 20

Fuente: SRH (1966). Información proporcionada por Conagua y DDR núm. 130 (1988) y Ballín (2003).

63.4 kW y bombas de turbina, caudal de 3 a 36 l s⁻¹ (información proporcionada por el Distrito de Riego Número 130 y la Conagua).

- c) *Censo de 2003*. Se continúa utilizando el agua freática y se inicia el aprovechamiento del acuífero calcáreo mediante 237 pozos (95% profundos), con motores eléctricos de 3.7 a 93.2 kW y bombas de turbina y sumergibles; caudal de 3 a 100 l s⁻¹ (Ballín, 2003).

Con base en lo precedente, se puede afirmar que la profundización en el nivel freático está asociada con la modificación de las características de los pozos y la tecnología de extracción del agua.

Evolución del área irrigada

De acuerdo con los censos oficiales, la superficie irrigada y el patrón de cultivos han evolucionado de la siguiente manera:

- Entre 1950 a 1970, la superficie irrigada se incrementó a 2 300 ha, las cuales sólo se sembraban con riego durante el ciclo primavera-verano; esto significa que se extraían del acuífero granular alrededor de 12 millones de m³año⁻¹. Además, sólo se cultivaban variedades criollas de maíz para grano, chile y jitomate (DGE, 1957; Martínez, 1970; DGE, 1975). En este periodo, la superficie irrigada y el patrón de cultivos representó una extracción menor que el volumen de recarga local, lo cual significaba la posibilidad de un aprovechamiento adicional de 4.1 millones de m³.
- En el periodo de 1970 a 1994, la superficie irrigada se incrementó a 3 850 ha y los sistemas de cultivo se diversificaron con el desarrollo de los dos ciclos. Así, en invierno-primavera se producía maíz para elote, chile, jitomate y tomate; en verano-otoño, principalmente maíz para elote. En ambos ciclos, las variedades hortícolas ya eran mejoradas, con mayor requerimiento de

agua que las criollas, más frutales (naranja Valencia y mandarina) y forrajes (alfalfa y sorgo) (INEGI, 1994; Charcas, 2002). La extracción de agua de los acuíferos granular y calcáreo era de unos 46.2 millones de m^3 año⁻¹, cantidad que ya superaba la recarga natural, por lo que se inicia el aprovechamiento del agua almacenada históricamente en el acuífero granular.

3. Situación actual. La superficie irrigada es de 4 235 ha; los cultivos anuales de invierno-primavera son chile, jitomate, tomate y calabacita, y de verano-otoño es el maíz para elote, principalmente, con predominio de variedades mejoradas; persisten los frutales (naranja y mandarina) y forrajes (alfalfa y sorgo). La aplicación del agua es por goteo a maíz y hortalizas, y microaspersión a frutales, y por gravedad a maíz y frutales cultivados en surcos y amelgas (Ballín, 2003). La extracción es de 59.82 millones de m^3 año⁻¹; bajo estas condiciones continúa el déficit en la recarga-extracción.

Encuesta a los agricultores propietarios de pozos

Tenencia de la tierra

En el área bajo estudio predomina la tenencia ejidal. La extensión de la parcela hasta antes de la nueva Ley Agraria, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 26 de febrero de

1992, fue de alrededor de 6 ha. A partir de esta fecha se inició el proceso de compra-venta de parcelas; cuando se realizó la encuesta, el 71% de los agricultores contaba con una superficie mayor que 8 ha, es decir mayor a la dotación original (cuadro 2). Lo anterior indica que se está dando un proceso de concentración de la tierra y el agua en los ejidos donde se localiza el área bajo estudio.

Patrón de cultivos

El cultivo perenne es la naranja valenciana; los cultivos anuales son maíz para elote, jitomate, chile, tomate y calabacita. Con la encuesta se registraron dos patrones de cultivo: naranja, maíz y hortaliza, y naranja, hortaliza y maíz. En ambos patrones, lo que varía es la superficie que se dedica a cada cultivo y la inversión en insumos. Los agricultores que disponen de menor superficie (clase 1 a 7 ha), utilizan un patrón de naranja, maíz y hortalizas; por el contrario, los que cuentan con mayor superficie (clase 22 a 28 ha) tienen un patrón de naranja, hortalizas y maíz; y los que tiene una superficie intermedia (clase 15 a 21 ha) utilizan ambos patrones de cultivo (cuadro 2). En general, los agricultores que tienen éxito en las hortalizas durante una o más temporadas invierten las ganancias en el establecimiento o compra de una huerta de cítricos, con lo cual tratan de dar estabilidad y certidumbre a su unidad de producción familiar.

Cuadro 2. Caracterización general de la agricultura de riego en la porción sur del valle de Rioverde, San Luis Potosí, con base en una encuesta a 85 agricultores propietarios de pozos.

Superficie (ha)			Frecuencia	Características del pozo		Área por tipo de riego (%)			Área por tipo de cultivos (%)		
				Caudal ($l0s^{-1}$) promedio	Bomba turbina vertical (%)	Gravedad	Microaspersión	Goteo	Maíz	Hortalizas	Naranja
1	-	7	25	10	88	53	38	9	20	17	63
8	-	14	42	15	54	46	35	19	11	9	80
15	-	21	14	18	78	46	45	9	18	21	62
22	-	28	4	26	50	4	68	29	9	0	91

Pozos y equipo de bombeo

Las características de los pozos y el equipo de bombeo varían según la disponibilidad de tierra de los agricultores; así, los que cuentan con menos de 8 ha tienen pozos con caudales de 10 l s^{-1} y bombas turbina vertical; los que disponen de más de 22 ha poseen pozos con caudales de 26 l s^{-1} , y bombas turbina vertical y sumergibles (cuadro 2). El equipo de bombeo es indicador del volumen de extracción y de su costo; por tanto, el reemplazo de las bombas de turbina vertical por las sumergibles obedece básicamente a costos de extracción, mantenimiento y reparación.

Sistemas de riego

Los agricultores que disponen de superficies menores que 22 ha utilizan riego por gravedad y presurizado; los que poseen entre 22 y 28 ha usan preferentemente el riego presurizado. El reemplazo del riego por gravedad por el presurizado implica la sustitución de semillas criollas por mejoradas, con una intensificación total del cultivo (mayor densidad de población, fertilización y requerimiento de agua) y al final una mayor extracción de agua.

Caracterización de los agricultores propietarios de pozos mediante su ordenación con componentes principales y su clasificación con el TWISPAN

Los resultados indican (cuadro 3) que los primeros tres ejes de ordenación o componentes principales explicaron el 57.8% de la variación total; el primero de ellos resume 27.7% y los atributos con mayor peso son superficie regada con microaspersión (Hmicro), superficie con naranja (Sperenn) y caudal del pozo (Caudal); el segundo componente resume 15.8% de la variación, y los atributos con mayor peso son superficie regada por gravedad (Hgrave) y superficie con maíz (Ha_M); el tercero explica 14.3% de la variación, y los atributos con mayor peso son la superficie con riego por goteo (Hagoteo) y superficie con hortalizas (Shorta).

En la figura 2 se presenta el ordenamiento sobre los primeros dos componentes principales de los agricultores con base en las diez variables estudiadas. La disposición de los agricultores sobre el primer componente corresponde a un gradiente de aplicación del agua, patrón de cultivos perennes y caudal del pozo. Con base en las variables aplicación del agua, caudal del pozo y patrón de cultivos, obtenidos anteriormente, y la caracterización general de la agricultura de riego (cuadro 2), los agricultores con valores más altos en las variables superficie regada con microaspersión (68%), superficie con naranja (91%) y caudal promedio del pozo (26 l s^{-1}), son los que tienen superficies irrigadas entre 22 y 35 ha. En contraste, los agricultores con valores más altos en las variables superficie regada por gravedad (53%) y superficie con maíz (20%), son quienes cuentan con una superficie regada entre 1 y 7 ha. Asimismo, la figura 2 presenta las relaciones de las variables consideradas con los dos primeros componentes. Se observa que la superficie regada con microaspersión, superficie con naranja y caudal está más relacionada con el primer componente principal (CP1). Como la superficie regada con microaspersión tiene el mayor peso y el vector con mayor magnitud, puede caracterizar por sí misma a todos los agricultores. Por otra parte, la superficie con maíz y la superficie por gravedad están mejor relacionados con el segundo componente principal (CP2); sin embargo, como la superficie con maíz tuvo un peso mayor, puede caracterizar mejor los agricultores que la superficie regada por gravedad.

Según los resultados de los censos de pozos (cuadro 1), los censos agrícola-ganaderos, la caracterización general del área de estudio (cuadro 2) y la ordenación de los agricultores, el aprovechamiento del agua de riego de la región estudiada se puede caracterizar apropiadamente sólo con las variables que involucran aplicación del agua y patrón de cultivos.

Cuadro 3. Importancia relativa de las diez variables de la agricultura de riego en la porción sur del valle de Rioverde, San Luis Potosí, dentro de los tres primeros componentes principales.

Variables	CP1 (27.7)*	CP2 (15.8)*	CP3 (14.3)*
ProfPozo	-0.3692	-0.1126	-0.1171
Medidor	-0.2126	0.3291	0.3031
Tbomba	0.1600	0.1666	0.2682
Hagrave	0.2722	-0.5933	0.2131
Hamico	-0.5256	-0.0067	0.0067
Hagoteo	0.0247	0.1272	-0.6986
Sperenn	-0.4583	-0.3338	0.1082
Shorta	0.0651	-0.2988	-0.5113
Ha_M	0.2176	-0.4490	0.1261
Caudal	-0.4246	-0.2843	0.0081

* Porcentaje de variación explicada por cada componente principal.

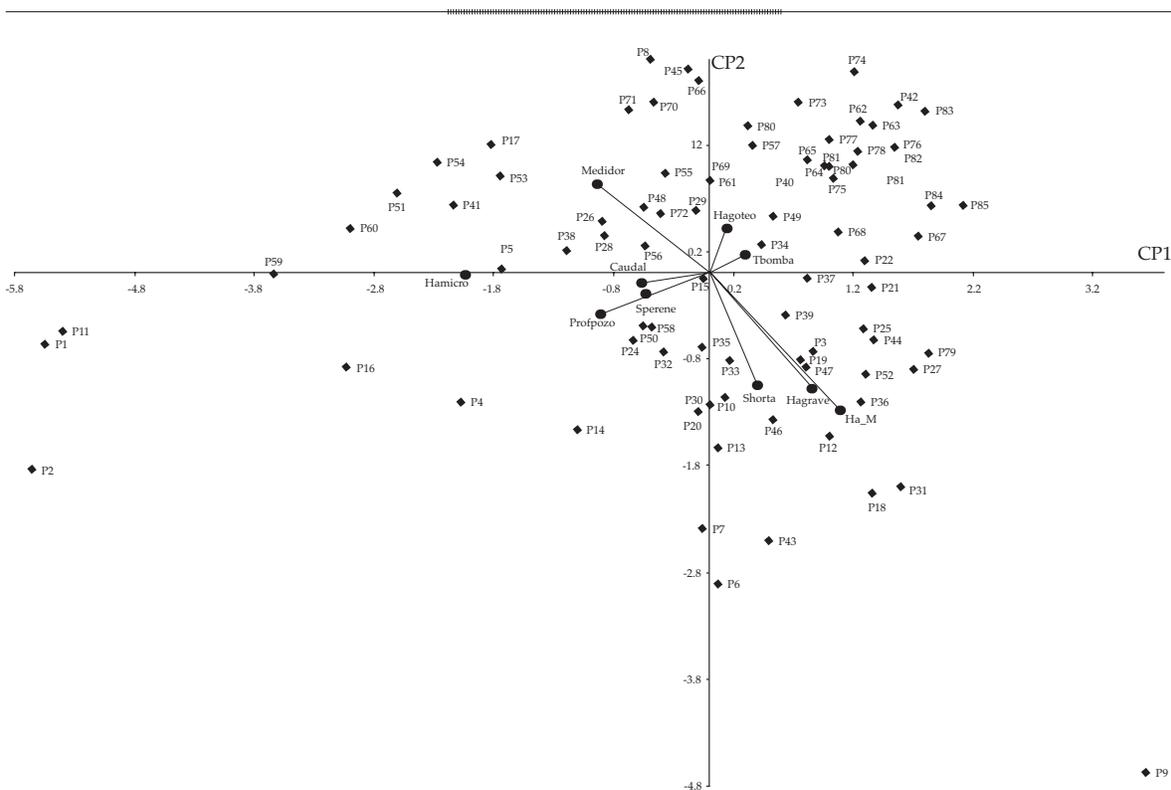


Figura 2. Ordenación de 85 agricultores de la porción sur del valle de Rioverde, San Luis Potosí, México, con base en diez variables, sobre los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2).

Clasificación

Las variables se clasificaron en tres grupos (figura 3), los cuales se separan en dos

conjuntos: a) conjunto primero, comprende al grupo I, formado por las variables medidor (Medidor) y Hamicro (Superficie irrigada por microaspersión), el cual quedó definido

desde el nivel 1 de clasificación y se relaciona con el control de la extracción y la aplicación del agua; b) conjunto segundo, integrado por dos grupos: el primero (grupo III) consta de las variables Hagrave (superficie irrigada por gravedad), Hagoteo (superficie irrigada por goteo), Shorta (superficie con hortalizas) y Ha_M (superficie con maíz), delimitado en el nivel 2 de clasificación y vinculado a la aplicación del agua y al patrón de cultivos; c) el segundo grupo (grupo II), presenta las variables Caudal (caudal), Sperenn (superficie con naranja), Tbomba (tipo de bomba) y ProfPozo (profundidad del pozo), y está relacionado con eficiencia en la extracción y requerimiento de agua.

Los 85 agricultores encuestados se clasificaron en siete grupos (figura 3), los cuales se dividen en dos conjuntos, con medidor (Medidor) como variable indicadora o determinante de su separación. A continuación se describen ambos conjuntos:

- a) El conjunto primero comprende a todos los agricultores que tienen medidor instalado, y da lugar a dos subconjuntos. Subconjunto primero, formado solamente por el grupo 1, integrado con cinco agricultores, con Hamicro (superficie irrigada por microaspersión) y Caudal (caudal) como variables indicadoras, pues estos agricultores tienen mayor superficie bajo microaspersión y extraen un mayor volumen de agua; subconjunto segundo, con Tbomba (tipo de bomba) como variable indicadora y comprende dos grupos, el primero (grupo 2), formado por cuatro agricultores, utiliza bomba sumergible para resolver problemas de operación debido a la mayor profundidad de los pozos, y el segundo (grupo 3), constituido por 15 agricultores, que utiliza bomba de turbina debido a que la profundidad de los pozos es menor.
- b) Conjunto segundo. Todos los agricultores de este conjunto carecen de medidor y se integra por dos subconjuntos: subconjunto

primero, con Hagoteo (superficie irrigada por goteo), Hamicro (superficie irrigada por microaspersión), Sperenn (superficie con naranja) y Tbomba (tipo de bomba), como variables indicadoras; incluye dos grupos. El primero (grupo 4) abarca tres agricultores que se distinguen por poseer huertas de cítricos y hortalizas con riego presurizado y extraer el agua con bombas de turbina; el segundo (grupo 5) comprende 11 agricultores que se caracterizan por cultivar huertas de cítricos y hortalizas con riego presurizado, pero que extraen el agua con bombas sumergibles. Subconjunto segundo, con Tbomba (tipo de bomba) como variable indicadora, comprende dos grupos, el primero (grupo 6), formado por 38 agricultores, utiliza bombas de turbina para la extracción del agua, y el segundo (grupo 7), formado por ocho agricultores, utiliza bombas sumergibles.

Los resultados de la clasificación indican que los agricultores propietarios de pozos se diferencian por la aceptación a la instalación de medidores que regulan la extracción (asignación de volumen) y aplicación del agua; asimismo, por la adopción de nuevas tecnologías para la extracción y aplicación del agua (motores y bombas más eficientes y riego presurizado), y finalmente por la conformación de patrones de cultivos más demandantes de agua.

Conclusiones

El aprovechamiento del agua freática durante más de cincuenta años transformó en regadío prácticamente toda el área de temporal de la porción sur del valle de Rioverde. Asimismo, los patrones de cultivo muy demandantes de agua, y los métodos de extracción y aplicación del agua muy eficientes, provocaron un desequilibrio en el ciclo de recarga-extracción anual, por lo cual se está corriendo el riesgo de un vaciado del acuífero granular y el inicio

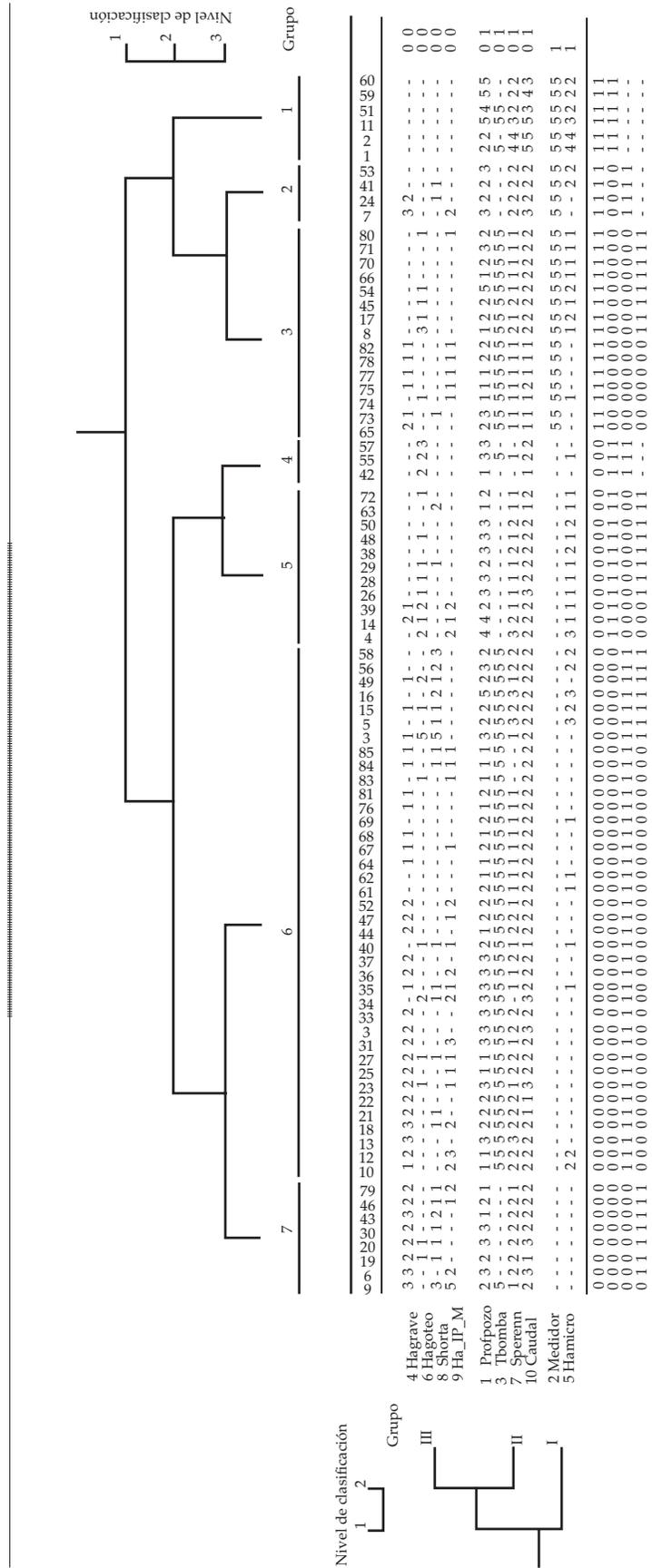


Figura 3. Clasificación jerárquica de atributos de pozos y agricultores mediante TWISPAN de la porción sur del valle de Rioverde, San Luis Potosí, México.

del aprovechamiento del acuífero calcáreo mediante pozos profundos, con agua de menor calidad, lo cual provocaría una reducción en los rendimientos de los cultivos.

Las características generales del aprovechamiento del agua freática, al sur del valle, corresponde a la aplicación del agua, asociada con los sistemas de riego presurizado (goteo y microaspersión) y por gravedad, así como al patrón de cultivos (naranja, maíz y hortaliza, y naranja, hortaliza y maíz.)

La reacción de los propietarios de pozos al descenso de los niveles freáticos se caracteriza por la aceptación de medidores para controlar la extracción de cada pozo, al igual que por la instalación de sistemas de riego más eficientes; sin embargo, según sus posibilidades económicas, tratan de combinar el aprovechamiento del agua freática de buena calidad con el de agua a mayor profundidad, pero de menor calidad, mediante la profundización de los pozos y cambio del equipo de bombeo, con el consecuente incremento en una mayor extracción del agua.

Recibido: 15/09/08
Aprobado: 04/06/10

Referencias

- 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.
- BALLÍN, C.J.R. *Caracterización y manejo del hidrosistema de la región agrícola de Rioverde*, tesis de maestría en Hidrosistemas. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, 2003.
- CONAGUA. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Río Verde, estado de San Luis Potosí. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, 2002, 24 pp.
- CHARCAS, H., OLIVARES, E. y AGUIRRE, J. Agua de riego en la región de Rioverde, San Luis Potosí, México. *Ingeniería hidráulica en México*. Vol. XVII, núm. 4, octubre-diciembre, 2002, pp. 37-56.
- CHARCAS, H. *Proceso de conformación y caracterización actual de la región agrícola de Rioverde, San Luis Potosí, México*. Tesis de doctorado en Ciencias agrícolas. Marín, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, 2002.
- DGE. *Primer Censo Agrícola-Ganadero y Ejidal 1950, San Luis Potosí*. México, D.F.: Dirección General de Estadística, 1957, 320 pp.
- DGE. *V Censos Agrícola Ganadero y Ejidal 1970, San Luis Potosí*. México, D.F.: Dirección General de Estadística, 1975, 300 pp.
- HIDROTEC. Informe del estudio geohidrológico preliminar en la zona de Río Verde. Tomo I. San Luis Potosí, México: Hidrotecnología Ledezma, S.A. de C.V., 1972, 181 pp.
- HÖFT, M., BARIK, S.K. and LYKKE, A.M. Quantitative ethnobotany. Applications of multivariate analyses in ethnobotany. *People and Plants working paper 6*. Paris: UNESCO, 1999, 46 pp.
- INEGI. *San Luis Potosí. Resultados definitivos. VII. Censo agrícola-ganadero*. Tomo I. México, D.F.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1994, 505 pp.
- INEGI. *Anuario estadístico del estado de San Luis Potosí*. Tomo I. México, D.F.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2006, 498 pp.
- MARTÍNEZ, J. *Proyecto de organización económica del ejido El Refugio*. Tesis profesional. San Luis Potosí, México: Escuela de Economía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 1970, 57 pp.
- McCUNE, B. and MEFFORD, M.J. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 4*. Glenden Beach, USA: MjM Software Design, 1999, 237 pp.
- NAMAKFOROOSH, M.N. Metodología de la investigación. Segunda edición. México, D.F.; Limusa, 2000, 525 pp.
- OBREGÓN, M.B. La irrigación: por medio de presas, canales, avenamientos y pozos artesianos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Segunda edición. San Luis Potosí, México: Sociedad Geológica Mexicana, 1923, 128 pp.
- PAREDES, T. *Estudio hidrológico de la región de Rioverde y Arroyo Seco, en los estados de San Luis Potosí y Querétaro*. México, D.F.: Secretaría de Fomento, 1909, 47 pp.
- PROYESCO. *Trabajos complementarios del estudio geohidrológico de la zona de Río Verde, S.L.P.* Tomo I. San Luis Potosí: Proyectos, Estudios y Consultoría, S.A. de C.V., SARH, 1980, 96 pp.
- SARH. *Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la zona de San Cirio, San Luis Potosí*. México, D.F.: 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, 1979.
- SRH. *Inventario de aprovechamientos superficiales y subterráneos para riego. San Luis Potosí*. México, D.F.: Irrigación y Control de Ríos, Dirección de Pequeña Irrigación, Secretaría de Recursos Hidráulicos, SRH, 1966, 117 pp.

Abstract

AGUILAR-ORTEGA, F., CHARCAS-SALAZAR, H., AGUIRRE-RIVERA, J.R., CASTRO-LARRAGOITIA, J. & FLORES-FLORES, J.L. Current state of groundwater exploitation in the Rioverde valley, San Luis Potosí, Mexico. *Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish)*. Vol. I, No. 4, October-December, 2010, pp. 137-148.

The Rioverde valley can be geographically divided in two areas: North, with calcium sulfate water, C4S1 and C5S1 water classes, and undrinkable water, used for crop production, and South, with calcium bicarbonate, C1S1, C2S2 and C3S1 water classes, and drinking water for different possible uses. Due to the excellent water quality in the south, the effects of greater use are expected to be more intense in this area. Considering the above, the objective was to recognize and prioritize the factors influencing the utilization of groundwater for agricultural use and its implications in the depletion of the phreatic level in the south portion of the Rioverde valley. The working procedure was: to collect and analyze census data and files on the use of groundwater at the Rioverde valley, and to do a survey among farmers who own wells. The topics were hydraulic infrastructure, organization, crop systems, production, profitability and agricultural marketing, credit, and government support. Census information and archive data were synthesized in tables. Information from the survey was analyzed using multivariate analysis (principal components and TWISPAN). The results indicate that the use of groundwater can be characterized with the application of water and crop pattern variables. Also, farmers can be grouped based on the acceptance of water meters governing the extraction, on the adoption of technologies for the extraction and application of water, and on crops patterns.

Keywords: groundwater, valley, small irrigation fields, crop pattern, pumping wells, multivariate analysis, water application, Rioverde, San Luis Potosí.

Dirección institucional de los autores

M.I. Francisco Aguilar-Ortega

Estudiante de posgrado
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Calle Altair número 200, Fraccionamiento del Llano
78377 San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
pm_fao_04_a@yahoo.com.mx

Dr. Hilario Charcas-Salazar

Profesor investigador
Facultad de Ingeniería-Instituto de Investigación de Zonas Desérticas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Calle Altair número 200, Fraccionamiento del Llano
78377 San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
Teléfonos: +52 (444) 8422 359, 8422 475, 8421 146, extensión 115
Fax: +52 (444) 8422 359, extensión 106
hilario@uaslp.mx

Dr. Juan Rogelio Aguirre-Rivera

Director
Profesor investigador
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Calle Altair número 200, Fraccionamiento del Llano
78377 San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
Teléfonos: +52 (444) 8422 359, extensión 107
Fax: +52 (444) 8422 359, extensión 106
iizd@uaslp.mx

Dr. Javier Castro-Larragoitia

Profesor investigador
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Avenida Dr. Manuel Nava, número 8, Zona Universitaria,
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
Teléfonos: +52 (444) 8262 330
Fax: +52 (444) 8262 330, extensión 2336
gcastro@uaslp.mx

Dr. José Luis Flores-Flores

Profesor investigador
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Calle Altair número 200, Fraccionamiento del Llano
78377 San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
Teléfonos: +52 (444) 8422 359, extensión 117
Fax: +52 (444) 8422 359, extensión 106
joseluis.flores@uaslp.mx