

CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CIÉNEGA DE CHAPALA COMO FACTOR DE DEGRADACIÓN DEL SUELO

Chemical Quality of Groundwater of the Ciénega of Chapala as a Factor of Soil Degradation

J. T. Silva-García¹, S. Ochoa-Estrada¹, D. Cristóbal-Acevedo^{2†} y F. Estrada-Godoy¹

RESUMEN

Para determinar el esquema de distribución de la calidad química del agua subterránea y su relación con el aumento de la salinización del suelo en la ciénega de Chapala, se muestrearon un total de 88 pozos profundos; así como 83 sitios de suelo colindantes a cada pozo. Se cuantificaron las distintas facies químicas de agua subterránea: 79% corresponde a tipo bicarbonato sódico, 20% a bicarbonato cálcico y el restante 1% a cloruro sódico. Se definió el grado de peligrosidad de estas aguas para los suelos en términos de sodicidad y salinidad, las combinaciones van desde aquéllas con salinidad media y sodicidad baja (C2-S1), hasta el mayor grado de salinidad y sodicidad (C4-S4). En salinidad efectiva y potencial, 10% son buenas para la agricultura, 66% son condicionadas y 26% restantes no son recomendables. La recurrente explotación del agua subterránea de mala calidad, sin programas de control, ha impactado directamente en el suelo, reflejándose en un proceso creciente de salinidad y sodicidad, en intervalos desde ligeramente salino, hasta fuertemente salino, con conductividades eléctricas de 1.5 hasta 40 dS m⁻¹, aspecto que ha influido en la producción de cultivos de la ciénega. Un caso específico lo es el trigo, cuyo rendimiento por hectárea, en sólo una década, paulatinamente ha disminuido hasta en 60%.

Palabras clave: *calidad del agua, salinidad, sodicidad, conductividad eléctrica.*

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional. 59510 Jiquilpan, Michoacán, México.

² Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

[†] Autor responsable (cristobalacevedo@yahoo.com.mx)

Recibido: noviembre de 2003. Aceptado: diciembre de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 503-513.

SUMMARY

To determine the distribution scheme of the chemical quality of groundwater and its relationship with the increase in soil salinity in the ciénega of Chapala, Mexico, 88 deep wells and 83 soil sites were sampled. Different chemical facieses of groundwater were quantified, 79% corresponding to sodium bicarbonate, 20% to calcium bicarbonate, and the remaining 1% to sodium chloride. The degree of danger of these waters for the soils in terms of sodicity and salinity was defined; the combinations range from those with medium salinity and low sodicity (C2-S1) to the highest salinity and sodicity grade (C4-S4). In effective and potential salinity, 10% are good for agriculture, 66% are conditioned, and the remaining 26% are not recommended. The recurrent exploitation of groundwater of bad quality, without control programs, has impacted directly in the soils, which reflected a process of increasing salinity and sodicity, in ranges from slightly saline to strongly saline, with electrical conductivities from 1.5 to 40 dS m⁻¹, aspect that influenced the production scheme of the ciénega; a specific case is wheat, whose yield per hectare has diminished gradually 60% in one decade.

Index words: *water quality, salinity, sodicity, electrical conductivity.*

INTRODUCCIÓN

Debido a las condiciones climáticas en zonas áridas de México, se presenta salinización del suelo debido a la alta evaporación; en otros casos, el origen de este proceso se relaciona con el uso de agua de mala calidad para riego.

Los problemas de salinidad o de acumulación de sodio en exceso ocasionan pérdidas en la producción agrícola, así como un deterioro acelerado en la calidad de los suelos (Aceves-Navarro, 1979; De la Peña, 1980, 1996; Ayres y Wescott, 1985; Ortega, 1993).

En la zona de estudio, conocida como ciénega de Chapala, los procesos de salinización de suelos son cada día mayores, lo que ha repercutido en significativas mermas económicas para los agricultores por la disminución en sus índices de productividad, lo cual se ha traducido en suelos cada vez más improductivos y un estímulo de la migración (INEGI, 2001).

El problema se asocia con la calidad química del agua para riego, procedente de la explotación de pozos profundos, que ha tenido efectos negativos en el ámbito agropecuario, principal actividad económica; del total de la superficie del distrito de riego (46 171 ha), únicamente 18 752 ha se riegan; de éstas 81% utilizan agua proveniente de fuentes superficiales y 19% emplean agua proveniente del subsuelo.

Originalmente, la ciénega de Chapala era un humedal, pero se desecó por el bordo de Maltaraña y dio origen a la denominación ciénega. Durante la década de los noventa, debido a la paulatina disminución de los niveles de agua en el lago y presas, el suministro de este recurso para la región resultó insostenible, lo que originó la necesidad de realizar más obras de perforación de pozos profundos.

El censo de estos aprovechamientos en operación registra, en la actualidad, un total de 565 pozos; a principios de los noventa eran poco menos de 100 pozos (CNA, 2002). Con profundidades menores de 70 m, en su mayoría extraen agua de mala calidad química, con conductividades eléctricas que, en ocasiones, superan 4.5 dS m^{-1} , originando deterioro del suelo. Con relación al suelo, predomina el Vertisol pélico y, en menor medida, el Vertisol crómico, ambos con fase ligeramente salina y sódica y clase textural fina (CETENAL, 1974). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el esquema de distribución de la calidad química del agua subterránea y su relación con el aumento en la salinización del suelo en la ciénega de Chapala.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la ciénega de Chapala, cuyas coordenadas son $19^{\circ} 53' - 20^{\circ} 14' \text{ N}$ y $102^{\circ} 29' - 102^{\circ} 45' \text{ O}$, se obtuvieron, en mayo de 2002, un total de 88 muestras de agua, para su análisis químico, provenientes de un igual número de pozos profundos, seleccionados para que tuvieran una distribución espacial lo más homogénea posible en las 46 171 ha del área de estudio. En el momento de la colecta, se tomaron datos de temperatura, conductividad

eléctrica (conductivímetro portátil marca HANNA Instruments, HI 9635), sólidos totales disueltos, pH, alcalinidad (HACH-Test-Kit cat 22709-00), nitratos y fosfatos (HANNA Instruments-Kit).

En la determinación de los demás elementos químicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} y SO_4^{2-}) se siguieron patrones establecidos en el Standard Methods (APHA-AAWWA-WEF, 1998). Con el diagrama de Piper, se definieron las distintas facies químicas de agua prevalecientes en la ciénega y, con el de Richards (1954), la clase de agua para su uso en la agricultura.

Los parámetros de salinidad efectiva y potencial se obtuvieron siguiendo el método de Palacios-Vélez y Aceves-Navarro (1970). Asimismo, se elaboraron los planos isoiónicos para conductividad eléctrica, salinidad efectiva y salinidad potencial, aplicando el método de interpolación de Kriging (Cristóbal-Acevedo *et al.*, 1996).

Se tomaron un total de 83 muestras simples de suelo, a una profundidad de 30 cm en el área de influencia para riego de los pozos analizados. Las muestras se secaron a temperatura ambiente, se molieron y se tamizaron con Malla 10. Las variables químicas medidas fueron: pH, conductividad eléctrica, calcio, magnesio, sodio, relación de adsorción de sodio y porcentaje de sodio intercambiable, utilizando siempre técnicas de análisis indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2000).

Se consideraron como aspectos principales del detrimento del régimen de productividad agrícola de los suelos sujetos a riego producto del uso progresivo del agua, la densidad de pozos, las cantidades de extracción, la conductividad eléctrica, la relación de adsorción de sodio (RAS), y la salinidad efectiva y potencial.

Las crisis recurrentes de escasez de agua para todos los usos, provocada por la disminución de caudales en las principales fuentes superficiales de la región, han ocasionado que, en los últimos diez años, el acuífero local sea sujeto de una mayor explotación, con lo cual el agua subterránea se ha convertido en la principal fuente de abasto para el desarrollo de las actividades económicas de la zona. Tomando en consideración las características geológicas de cada una de las unidades litológicas reconocidas en la región, con relación a su posición estratigráfica, porosidad, permeabilidad y litología, se definió el sistema acuífero de la ciénega de Chapala a escala regional (Figura 1).

En la parte superficial (Unidad a) se presentan los depósitos aluviales y lacustres recientes, de características areno-arcillosa, de alta porosidad, baja permeabilidad y heterogeneidad en su constitución, cuyo comportamiento hidráulico es de un acuitardo que funciona como una unidad semiconfinante en gran parte de la ciénega. Su espesor promedio es de 3 m. Subyaciendo a esta unidad, se encuentran los antiguos depósitos lacustres pliocénicos (Unidad b) constituidos por intercalaciones de areniscas, limolitas, diatomitas y depósitos volcánicos piroclásticos. Su espesor llega a ser de 300 a 450 m, hacia la zona de Los Negritos y de Ixtlán. Las unidades arriba descritas representan un sistema semiconfinado a libre en las márgenes de la cuenca y muestran comunicación hidráulica con la secuencia volcánica fracturada que la subyace. Bajo el paquete granular se encuentran las vulcanitas indiferenciadas del Mioceno plioceno, estas rocas están muy fracturadas, por lo que en profundidad pueden considerarse como conducto preferencial del flujo térmico regional manifiesto en el área de estudio (Unidad c).

Por otra parte, las rocas volcánicas del Cuaternario y Plioceno (Unidad d) que conforman las principales prominencias de la región (Sierra de Pajacuarán, Sahuayo, Jiquilpan) se consideran como zonas de recarga de acuíferos, por su alto grado de fracturamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad Química del Agua

La localización de los sitios de muestreo (88) de agua subterránea se observa en la Figura 2a. Se obtuvieron intervalos de valores para la conductividad eléctrica de 0.5 a 4.5 dS m⁻¹. En la Figura 2b puede apreciarse que

los valores más bajos coinciden con las estribaciones de los cerros de mayor altura y con los principales cuerpos de agua superficial (lago de Chapala y ríos Duero y Lerma), lo que es indicativo de que éstos corresponden a potenciales zonas de recarga del acuífero.

En el estudio fue posible evidenciar la estrecha relación existente entre la concentración salina del agua con el tipo de unidad litológica en explotación. Los pozos perforados sobre roca volcánica registran valores menores de 1.0 dS m⁻¹, por el contrario, en aquellos pozos que extraen agua de horizontes lacustres, las conductividades llegan a ser de 4.5 dS m⁻¹, por lo que representan un alto riesgo para la agricultura regional.

Los valores obtenidos de RAS oscilaron entre 1 y 15 meq L⁻¹, lo cual indica que, en términos de este elemento (sodio), la mayoría de las aguas representan un grado de peligrosidad media, es decir, inferior a la frontera de 18 meq L⁻¹, según el diagrama de Richards (Figura 3).

En las Figuras 4a y b se muestran los índices de salinidad efectiva y potencial, respectivamente. Los intervalos obtenidos varían de 1 a 15 meq L⁻¹.

Con la utilización del Diagrama de Piper y de acuerdo con el ion predominante, se determinaron las distintas facies de agua presentes en la ciénega de Chapala (Figura 5). De los sitios monitoreados, 80% tienen correspondencia con aguas de tipo bicarbonatada-sódica-cálcica, concentrados en la porción centro y N-NE de la zona; en menor proporción, 10% se definen como bicarbonatadas-sódicas-magnésicas y el resto se asocia a un agua sódica-clorurada, vinculada a un ambiente termal presente en la región sur de la ciénega (Los Negritos, Michoacán).

Con el esquema hidrogeoquímico obtenido, se determinaron tres tipos de intervalos referidos a la calidad

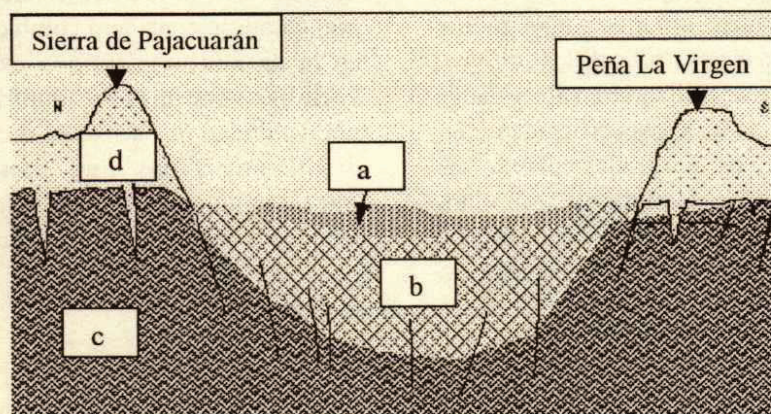


Figura 1. Sección geológica esquemática en la ciénega de Chapala (Modificado de Garduño *et al.*, 1993).

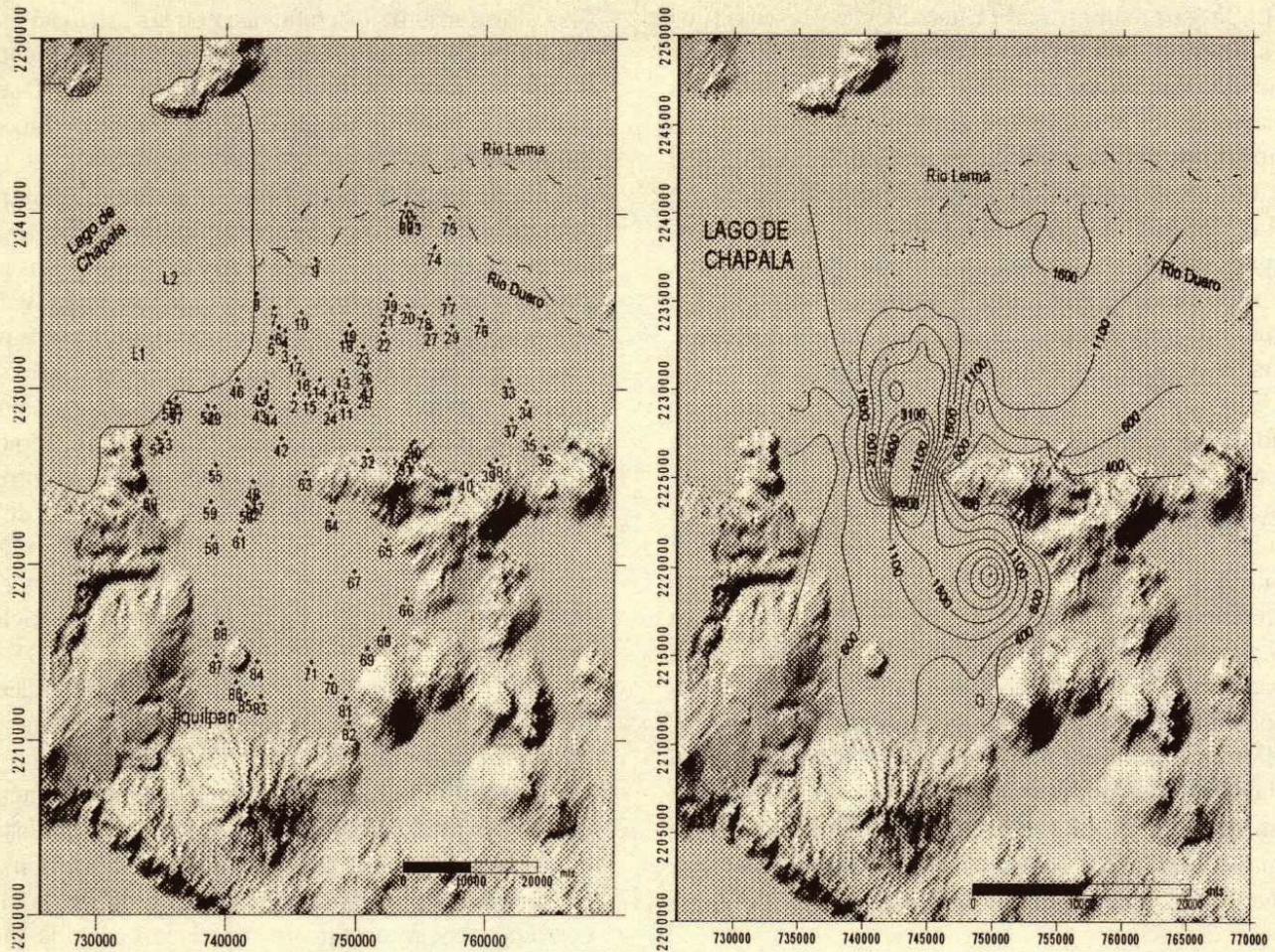


Figura 2a. Ubicación de los pozos para toma de muestra de agua. Figura 2b. Plano de isolíneas de CE (dS m^{-1}) en la Ciénega de Chapala.

química del agua subterránea, siguiendo los criterios establecidos por Palacios-Vélez y Aceves-Navarro (1970).

Las características de cada una de ellas se presentan en el Cuadro 1.

El agua de Tipo 1 es aquella que, de acuerdo con las condiciones propias de la ciénega, no afecta a los suelos y no presenta restricción para el desarrollo de los cultivos.

El Tipo 2 es agua que puede utilizarse en actividades agrícolas con ciertas restricciones, específicamente en la selección del tipo de cultivos, los cuales deberán ser tolerantes a estos intervalos de salinidad y sodicidad. Ejemplos de ellos son alfalfa, zanahoria, sorgo, trigo y cebolla, comunes en la región. Aunado a lo anterior, es necesario que se cuente con un drenaje parcelario eficiente.

El Tipo 3 es un agua no recomendable para su uso en actividades agrícolas, ya que, con esos valores,

el riesgo de degradación de los suelos por procesos de salinización y sodificación es acelerado.

En la Figura 6 se presenta la distribución de las calidades de agua en la ciénega, sobresaliendo aquella franja de buena calidad que coincide con la periferia del contorno volcánico (sierra Pajacuarán). Un alto porcentaje se considera como condicionada para su uso en la agricultura, aunque existen zonas donde esta variable supera las 15 unidades, lo que revela la imposibilidad de su uso en dicha actividad económica, de hecho, áreas que han estado sometidas a estas condiciones, en tan sólo cinco años, presentan intervalos de productividad reducidos en más de 50%.

Calidad de Suelos

En la Figura 7 se observa la ubicación de los 83 sitios de muestreo. Los resultados de los análisis de laboratorio

Cuadro 1. Tipos y categorías del agua subterránea para riego, de acuerdo con su calidad química.

Tipo	Categoría	Salinidad efectiva	Salinidad potencial	Conductividad eléctrica	RAS [†]
		----- meq L ⁻¹ -----		dS m ⁻¹	
1	Recomendada	< 5	< 5	< 0.75	< 10
2	Condicionada	5 a 15	5 a 15	0.75 a 2.25	10 a 25
3	No recomendada	> 15	> 15	> 2.25	> 25

[†]RAS = relación de adsorción de sodio.

reflejan valores de Ca de 0.6 a 61, Mg de 0.2 a 26.6 y Na de 1.0 a 504.3 meq L⁻¹. Para el RAS fueron de 0.29 a 240.5 meq L⁻¹ y para el PSI de 0.39 a 60.6 meq L⁻¹.

La interpretación del grado de salinidad de los suelos se realizó tomando en cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación

de suelos. En el Cuadro 2, se muestran los valores de referencia.

Los datos reflejan la situación actual de la salinidad en los suelos. Los valores mayores fueron hasta de 45 dS m⁻¹, específicamente en los lugares aledaños a la zona geotérmica de Los Negritos (sureste de la ciénega), así como en la zona noroeste de la ciénega (ejido

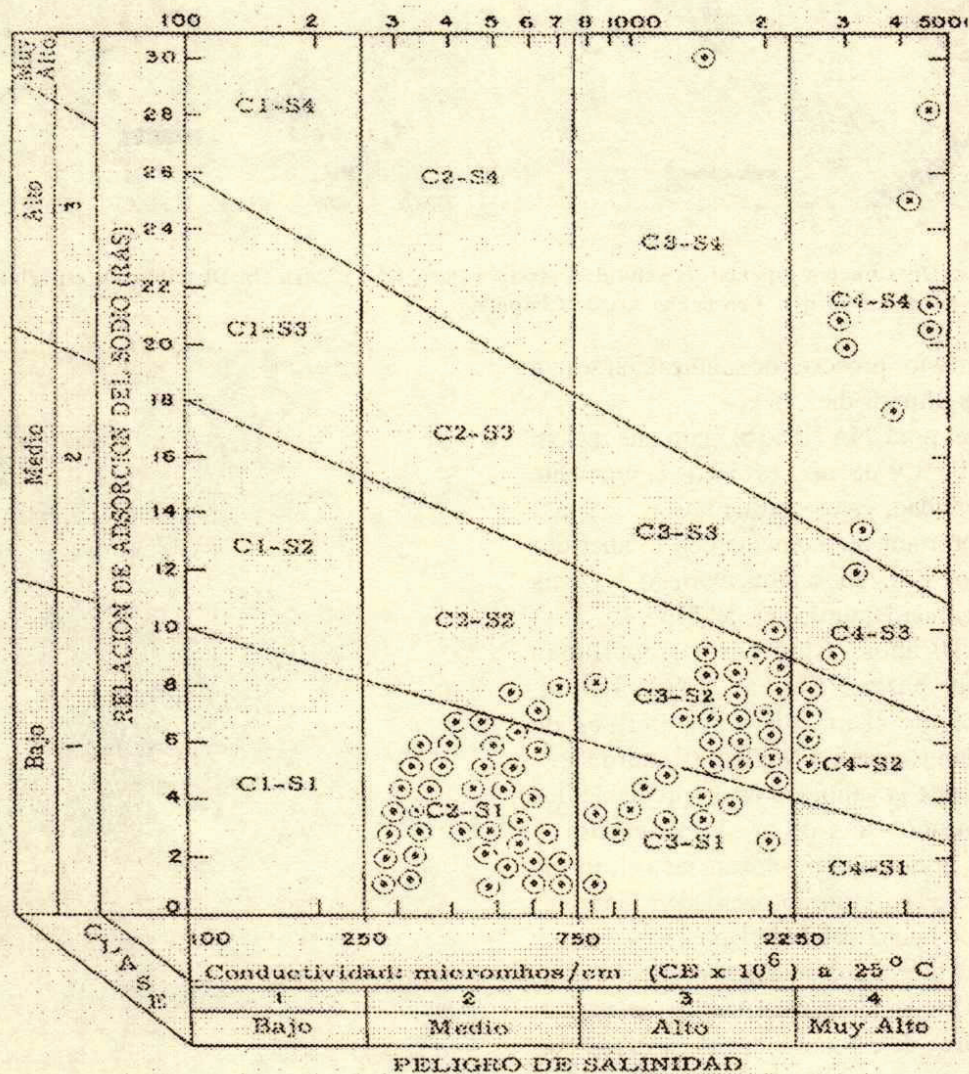


Figura 3. Clasificación del agua en diagrama de Richards.

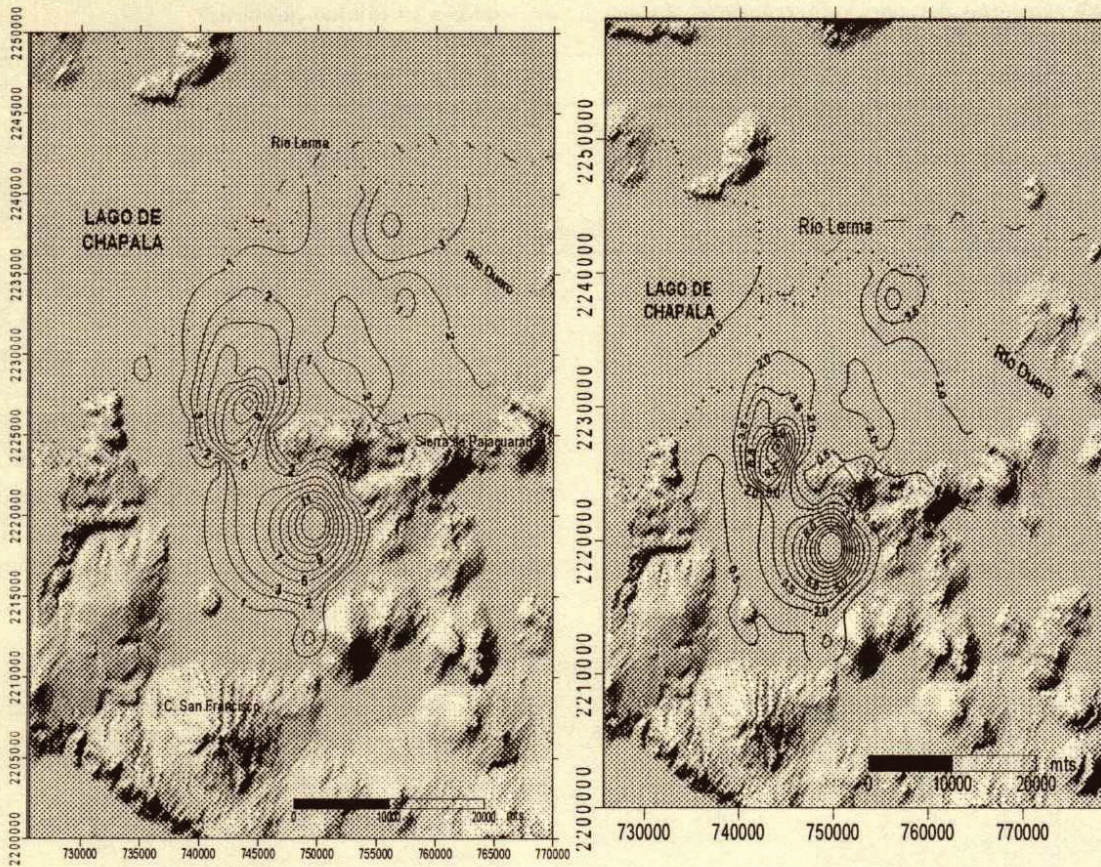


Figura 4a. Distribución espacial de salinidad efectiva (meq L⁻¹). Figura 4b. Distribución espacial de salinidad potencial (meq L⁻¹) en la ciénega de Chapala.

La Magdalena) donde los procesos de salinización se han intensificado en los últimos diez años.

Datos reportados por CNA (1993b), para esta región, indicaban valores de 1.9 dS m⁻¹, es decir, ligeramente salinos; en la actualidad, éstos son de hasta 5 dS m⁻¹; este incremento notoriamente coincide con la apertura de pozos profundos utilizados para el riego y cuyas características de calidad química es del Tipo 3.

Hace apenas 10 años, estas tierras reportaban cosechas de trigo de hasta 9 Mg ha⁻¹ (CNA, 1993b). En el ciclo otoño-invierno/2001, sus índices de productividad disminuyeron a 4 Mg ha⁻¹ (Cuadro 3).

En las áreas donde la salinidad es despreciable, los intervalos fueron menores de 1 dS m⁻¹, localizándose en las márgenes de las principales prominencias volcánicas que circundan a la ciénega y que corresponden con zonas regadas con agua de buena calidad (Tipo 1).

En general, prevalecen los suelos con intervalos de salinidad de ligera a moderadamente salinos y representan 55% del total del área de estudio y cuyos riegos se dan con aguas Tipo 2.

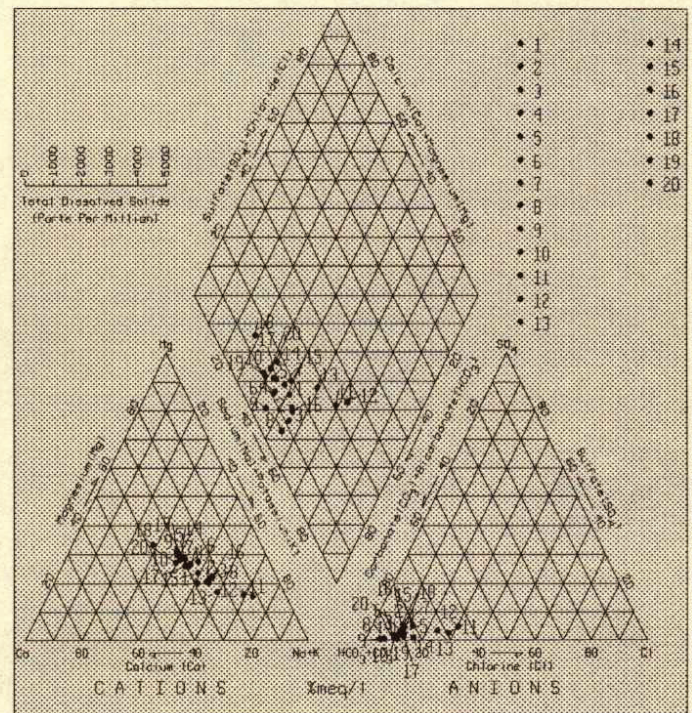


Figura 5. Tipos de facies de agua definidas para la ciénega de Chapala.

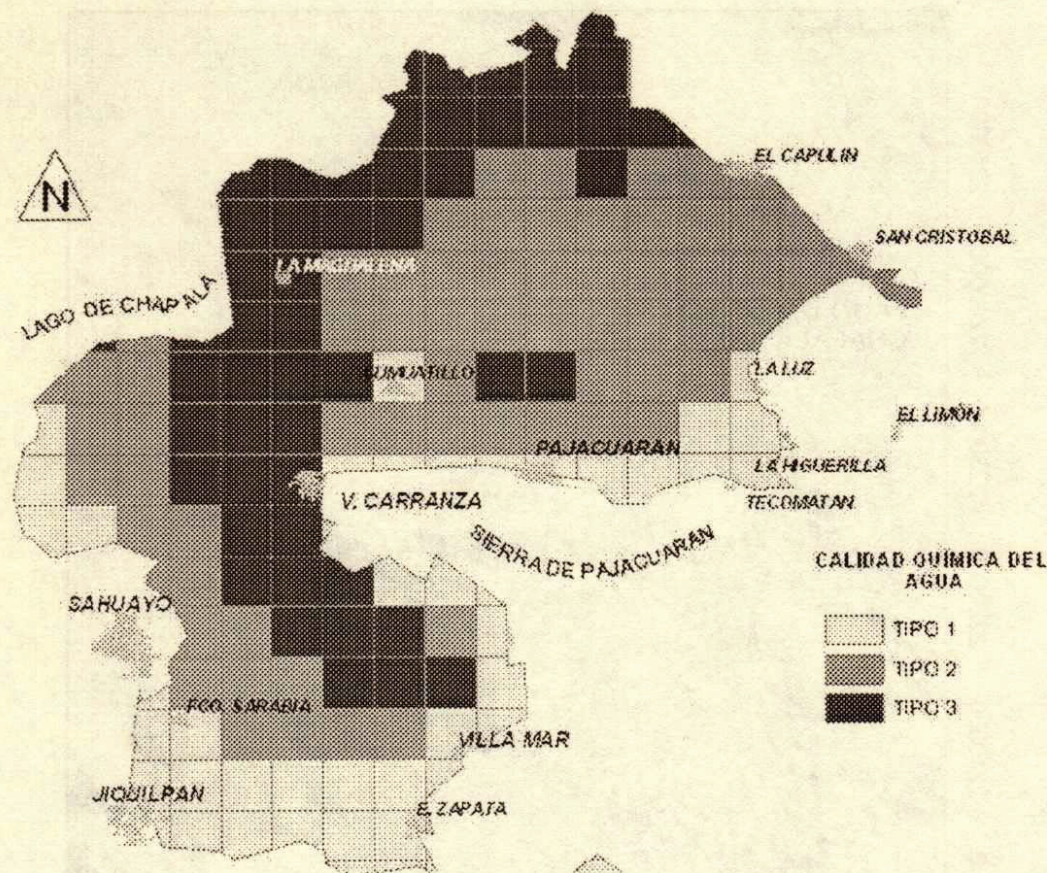


Figura 6. Distribución de los tipos de calidad química de agua subterránea en la ciénega de Chapala.

Densidad de Pozos

Con el análisis de este factor, se delimitan aquellas zonas con mayor concentración de pozos o, el caso contrario, donde la existencia de ellos es mínima; esto permite proponer nuevas reglas de operatividad encauzadas a una distribución más homogénea de los actuales aprovechamientos.

En la ciénega existe un total de 565 pozos (CNA, 2002); hay una concentración de ellos por área de 4 km², que varían desde cero hasta un total de 17.

Lo anterior es importante, en virtud de que a principios de los años noventa había menos de 100 pozos (CNA, 1992), lo cual es indicativo del incremento en la extracción del recurso agua en la última década. Las categorías por densidad de pozos son: baja (de 0 a 4 pozos/4 km²), moderada (de 5 a 9 pozos/4 km²) y alta (> 9 pozos/4 km²). La distribución de la densidad de pozos se observa en la Figura 9, donde destaca la región

sur de la ciénega, hacia la zona de Jiquilpan, y Emiliano Zapata, como la de menor concentración.

Por el contrario, hacia el norte de la ciudad de Sahuayo y en el área de El Fortín y San Gregorio (porción norte-centro) se ubican los valores máximos; en esta zona se presenta una alta sobreposición de los dominios de pozos.

Régimen de Extracción

Para obtener los datos correspondientes a este concepto, se tomaron en cuenta los volúmenes autorizados en los títulos de concesión para cada pozo y la información existente en los archivos de la CNA-Sahuayo; en campo se verificaron algunos puntos de control. En la actualidad, de la ciénega se extrae agua, por bombeo de pozos, a razón de 22 676 m³ año⁻¹. De estos datos, se definieron tres intervalos de extracción: intervalo bajo (< 156 000 m³ año⁻¹); intervalo medio (de 156 000 a 534 000 m³ año⁻¹); intervalo alto

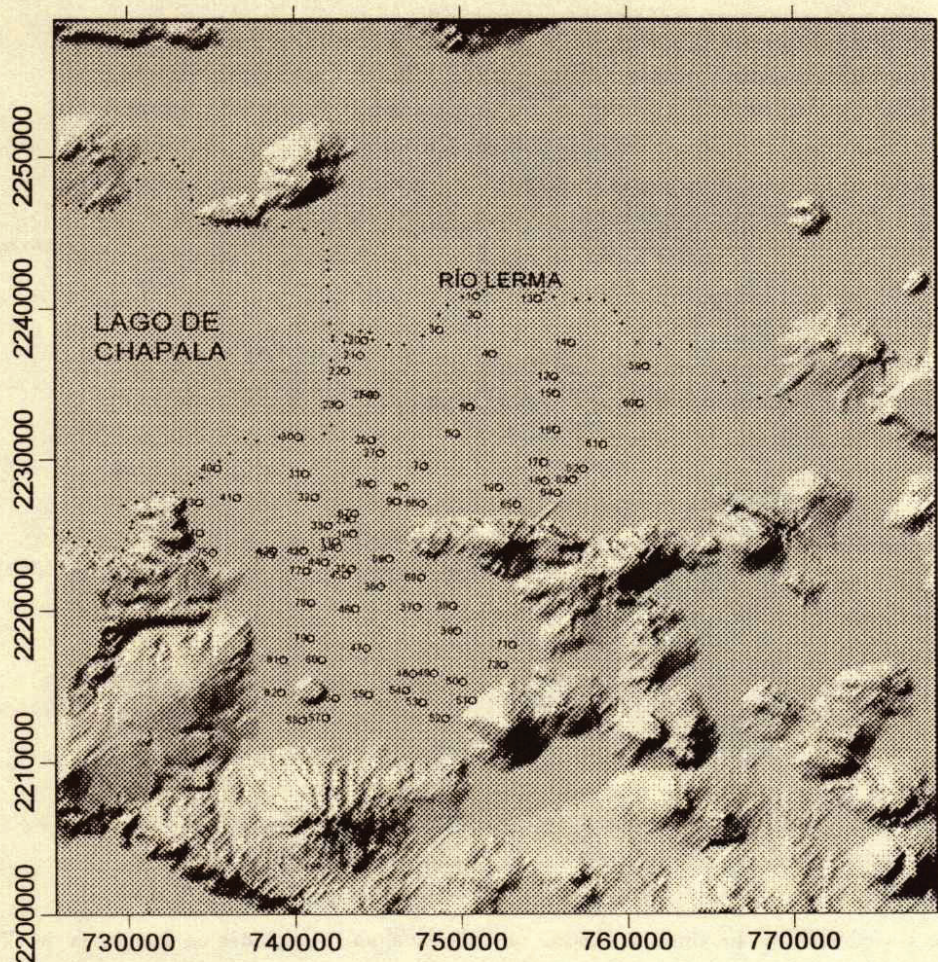


Figura 7. Distribución de sitios de muestreo de suelos, en la ciénega de Chapala.

(> 534 000 m³ año⁻¹) En la Figura 10 se delimitan las distintas zonas, con su correspondiente cantidad de extracción.

Cuadro 2. Valores de referencia para determinar el efecto por salinidad a partir de la conductividad eléctrica (CE) para los suelos de la ciénega de Chapala.

Conductividad eléctrica a 25 °C	Efectos
dS m ⁻¹	
< 1.0	Efectos despreciables de salinidad
1.1 a 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 a 4.0	Moderadamente salino
4.1 a 8.0	Suelo salino
8.1 a 16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Muy fuertemente salino

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

Se destaca la porción norte de la ciénega, que registra los valores máximos, hacia el poblado de San Gregorio; ésta coincide con la variable de densidad de pozos.

Otro factor a considerar en el proceso de salinización es el drenaje superficial presente en cada parcela. En la ciénega, 30% de su superficie presenta problemas agudos de drenaje parcelario, lo que ha obligado a la CNA a contar con un sistema de desalajo de excedentes de agua, por medio de bombeos, localizados en las zonas topográficamente más bajas.

CONCLUSIONES

- El agua subterránea de mejor calidad coincide con las estribaciones de los cerros de mayor altura en la zona y con los principales cuerpos de agua superficial. Se encontró relación entre la concentración salina del agua y el tipo de unidad litológica en explotación; el acuífero

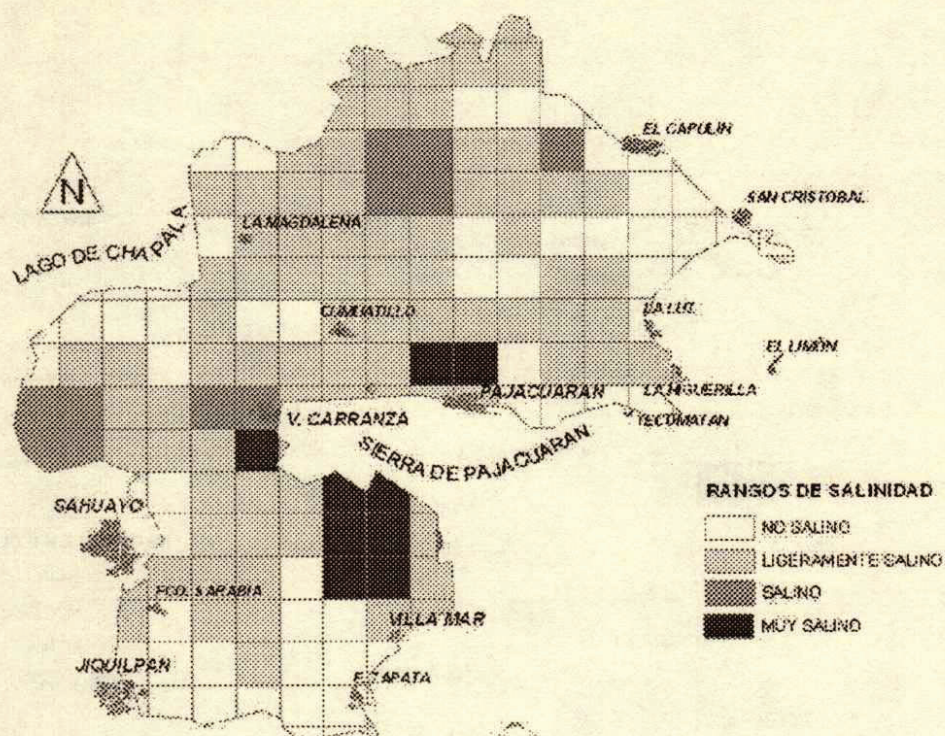


Figura 8. Distribución del régimen de salinidad de suelos en la ciénega de Chapala.

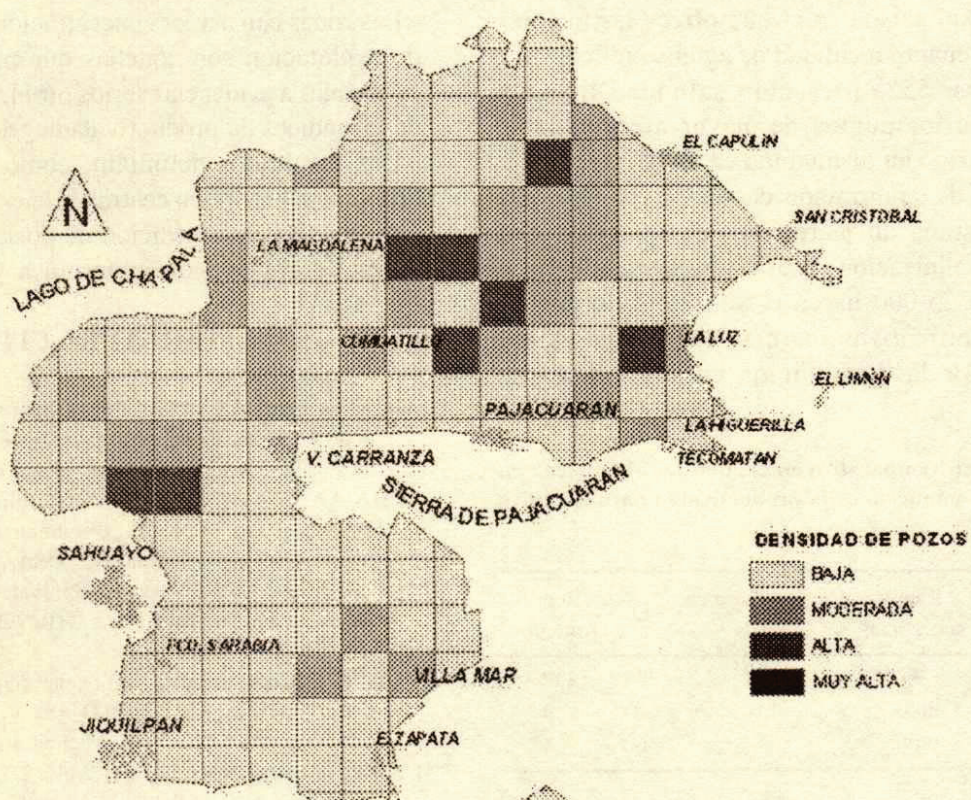


Figura 9. Distribución de la densidad de pozos para la ciénega de Chapala.

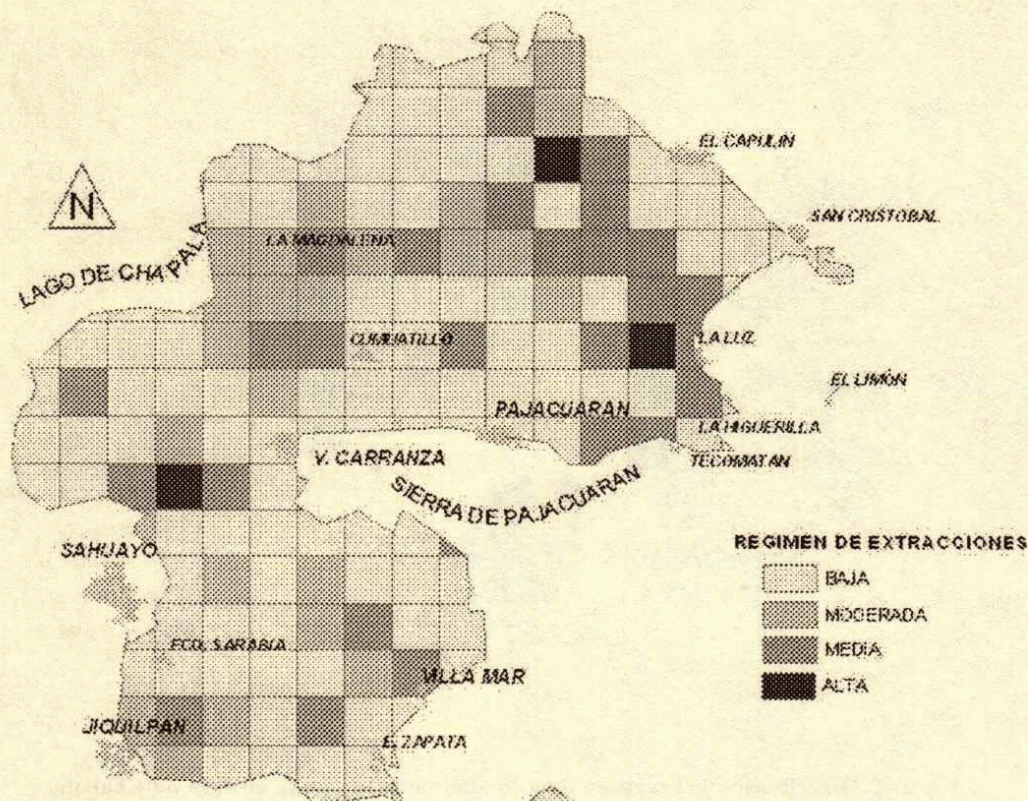


Figura 10. Distribución del índice de extracción en la ciénega de Chapala.

volcánico en explotación es el que ofrece las mejores condiciones en cuanto a calidad de agua se refiere.

- De los suelos, 55% presentan salinidad ligera a moderada y, en los puntos de mayor afectación, la producción de trigo ha disminuido en 50%.

- Los procesos de salinización de suelos son cada día mayores. Se estima un incremento en superficie con problemas de salinización de 5000 ha, para el año de 1992, hasta de 25 000 ha en el año 2002, lo que ha provocado significativas mermas económicas a los agricultores por la disminución en sus índices de productividad.

Cuadro 3. Análisis comparativo en el ejido La Magdalena en relación con la disminución de la productividad para el cultivo de trigo[†].

Año	No. de pozos	Riego superficial ha	CE promedio en suelos dS m ⁻¹	Q lps	Rendimiento t ha ⁻¹
1992	0	800	1.9	0	9
2002	7	800	5	560	4

Fuente: CNA (1993b).

[†] Se toma como ejemplo el cultivo de trigo, por su alta demanda de agua, llegando su lámina bruta de riego a 99 cm.

- Las zonas con mayor concentración de pozos y régimen de explotación son aquellas que presentan tendencias favorables a evidenciar serios problemas de disminución de los índices de productividad agrícola.

- Los resultados delimitan, como la zona de mayor afectación, la porción central de la ciénega, caracterizada por una alta concentración de pozos y altos regímenes de extracción de agua subterránea.

LITERATURA CITADA

- Aceves-Navarro, N. E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego (identificación, control, combate y adaptación). Colegio de Postgraduados. Chapingo, estado de México.
- APHA-AAWWA-WEF (American Public Health Association-1998. Standard Methods. 20th edition. American Public Health Association. Washington, DC, USA.
- Ayers, R. S. and D. W. Wescot. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 2 (Rev. 1). Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). 1974. Carta edafológica (F-13-D-88) Villa Chavinda. Escala 1:50 000. Villa Chavinda, Michoacán, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1992. Censo de pozos profundos de la Ciénega de Chapala. Distrito de Riego 024-Sahuayo. Sahuayo, Michoacán, México.

- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1993a. Carta de series de suelos de la Ciénega de Chapala. Distrito de Riego 024-Sahuayo. Sahuayo, Michoacán, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1993b. Reporte anual de cosechas. Distrito de Riego 024-Sahuayo. Sahuayo, Michoacán, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2002. Censo de pozos profundos de la Ciénega de Chapala. Distrito de Riego 024-Sahuayo. Sahuayo, Michoacán, México.
- Cristóbal-Acevedo, D., O. L. Palacios-Vélez y F. Ruiz-Figueroa. 1996. Comparación de métodos de interpolación en variable hídricas del suelo. *Agrociencia* 30: 329-343.
- De la Peña, de la Torre, I. 1980. Salinidad de los suelos agrícolas. Su origen, clasificación, prevención y recuperación. *Boletín Técnico* 10. Distrito de Riego No. 41. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Cd. Obregón, Sonora, México.
- De la Peña, de la Torre, I. 1996. Salinidad y drenaje en la región noroeste en el marco nacional. Problemática y soluciones. Comisión Nacional del Agua. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Garduño, V. H., J. Spinnler y E. Ceragioli. 1993. Geological and structural study of the Chapala rift, State of Jalisco, México. *Geof. Int.* 32: 487-499.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. XII Censo de Población y Vivienda 2000. Aguascalientes, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. México, D.F.
- Ortega, M. 1993. Causas del ensalitramiento y su efecto sobre los suelos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Palacios-Vélez, O. y E. Aceves-Navarro. 1970. Instructivos para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, estado de México.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *Agric. Handbook* 60. US Department of Agriculture. Washington, DC, USA.