

# CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE LA ZONA ÁRIDA DEL SUROESTE DE TAMAULIPAS, MÉXICO

## WATER QUALITY FOR AGRICULTURAL IRRIGATION IN THE UNDERGROUND WATER FROM THE ARID ZONE OF SOUTHWEST TAMAULIPAS, MEXICO

**Cantu-Medina, F.G., Ventura-Houle, R., Heyer-Rodríguez, L., Guevara-García, N.**

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Posgrado e Investigación, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

**Autor responsable:** ing.fcantu@gmail.com

---

### RESUMEN

El territorio de México está constituido por dos terceras partes de ecosistemas áridos y semiáridos, lo cual influye en la cantidad y calidad de agua que se infiltra y llega a los acuíferos, asimismo los elementos presentes en el agua son resultado de procesos de intemperismo químico de las rocas al contacto con el agua. El objetivo fue determinar la calidad de agua para riego agrícola en el agua subterránea, para lo cual se seleccionaron 15 puntos de muestreo que incluyeron norias, pozos y manantiales, determinando con las normas Riverside el cálculo de la relación de adsorción de sodio y utilizado el método de Wilcox, de % de sodio, donde en términos generales 46.6% de las muestras de agua fueron de buena calidad para riego agrícola, y 13.3% presentaron calidad dudosa a mediocre, por lo cual no se recomienda usarla para el riego agrícola.

**Palabras clave:** calidad de agua, riego agrícola, agua subterránea.

### RESUMEN

The territory of México is made up by two thirds arid and semiarid ecosystems, which influences the quantity and quality of water that infiltrates and reaches aquifers; likewise, the elements present in the water are the result of processes of chemical weathering of the rocks in contact with the water. The objective was to determine the quality of water for agricultural irrigation in the underground water, for which 15 points of sampling were selected that included waterwheels, wells and springs, defining with the Riverside norms the calculation of the relationship of sodium adsorption and, using the Wilcox method of sodium %, where in general terms 46.6 % of the samples of water were of good quality for agricultural irrigation, and 13.3 % presented a doubtful to mediocre quality, which is why it is not recommended for use in agricultural irrigation.

**Keywords:** water quality, agricultural irrigation, underground water.

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 1, enero. 2018. pp: 56-61.

**Recibido:** agosto, 2016. **Aceptado:** septiembre, 2017.

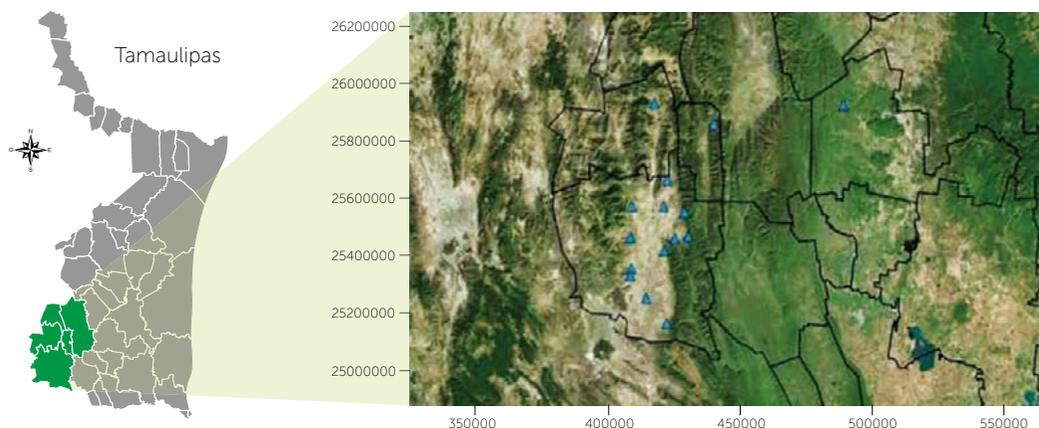
## INTRODUCCIÓN

En México, dos terceras partes del territorio están constituidas por ecosistemas áridos y semiáridos (CNA, 2013), que influye en la cantidad de agua que se infiltra en los acuíferos y la forma en que este proceso sucede. Su paso por las diferentes etapas del ciclo hidrológico ocasiona que la disponibilidad del recurso sea variable en cada región (Mazari, 2003). Un factor importante es la calidad del agua, la cual se centra en las características físicas, químicas y biológicas, mismas que pueden perturbar y afectar su uso potencial (abastecimiento público, riego agrícola, uso industrial) (Ayers y Westcot, 1987). La calidad del agua para uso en la agricultura está determinada por parámetros como el contenido de iones, como es el caso de los cationes calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ), y de los aniones dióxido de carbono  $\text{CO}_3^{2-}$ , bicarbonatos  $\text{HCO}_3^-$ , cloro  $\text{Cl}^-$  y sulfatos  $\text{SO}_4^{2-}$  (Nishanthiny *et al.*, 2010; Korzeniowska, 2008); es decir, la calidad de agua para riego está determinada por el tipo y cantidad de sales y otros elementos que la componen, y su importancia radica en prever el efecto sobre los cultivos y los suelos salinos o alcalinos (Moya, 2009; Rashidi y Seilssepuor, 2011). Los elementos presentes en suelo y agua son el resultado de procesos como el intemperismo químico (hidrólisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación) de las rocas al contacto con el agua, por lo cual acontece la formación y acumulación de elementos en forma de sales en los suelos (Grattan, 2006). Parte de los componentes químicos se adquieren en la zona de recarga y otros a lo largo del recorrido del flujo del agua subterránea hasta que es captada en pozos o descarga en manantiales (Gonzales-Abraham *et al.*, 2012). En Tamaulipas, México, 40% del territorio en la parte centro norte y suroeste presenta clima seco y

semiseco, por lo cual es de gran importancia debido a que condiciona el desarrollo económico de las regiones áridas y semiáridas del Estado. En estas zonas es donde la población compite por el aprovechamiento y uso de agua subterránea, debido a las escasas fuentes de agua superficial, por lo cual aumenta la necesidad de realizar perforaciones (pozos) para poder abastecer a la población y zonas agrícolas; por lo antes expuesto, se propuso como objetivo determinar la calidad del agua para riego agrícola zona árida del suroeste de Tamaulipas, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la región suroeste del Estado de Tamaulipas en los municipios de Tula, Palmillas, Miquihuana, Jaumave y Bustamante (Figura 1), ocupando 10.60% del territorio del Estado, con una población de total de 55,622 habitantes, concentrándose en el mayor número de personas en las zonas rurales. La zona se caracteriza por estar incrustada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, en dos sub provincias, la mayor extensión ubicada en la Gran Sierra Plegada y en la Sierras y Llanuras Occidentales; ambos sitios presentan diferentes tipos de topografía (INEGI, 2010). En las sub provincias se concentra una amplia diversidad de vegetación debido a las condiciones del clima; la zona en estudio se caracteriza por sus condiciones, donde predomina la región árida y semiárida y las lluvias oscilan entre 400 y 450 mm por año. El clima en las zonas topográficamente más bajas es de tipo (BS1hw) semiárido, semicálido, con temperatura media anual que oscila entre los 15° y 24° C (INEGI, 2010). En la zona de estudio afloran rocas sedimentarias a metamórficas de edades precámbricas a terciarias en su mayoría calizas, lutitas, conglomerado y, en menor grado, los gneises ocasionalmente



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio.

son cubiertos por depósitos de origen aluvial del Cuaternario. (SGM, 2006; CNA, 2015).

El tipo de suelo dominante en la región es el Leptosol, seguido por el Calcisol, Cambisol y Kastañozem, entre otros (INEGI, 2010). La producción agrícola de riego y temporal, en el municipio de Tula son aceituna (*Olea europea* L.), maíz (*Zea mays* L.) y avena forrajera (*Avena fatua* L.), con un valor de producción de 421.22 millones de pesos. El municipio de Bustamante, con una superficie cosechada de 650 hectáreas, con una producción de 375 t, valorado en 1.08 millones de pesos, de los cultivos de maíz y tuna (*Opuntia* spp.). Por otra parte, en Miquihuana se cultiva maíz, cebada grano (*Hordeum vulgare* L.) y avena forrajera, con un valor de 10.04 millones de pesos en una superficie de 3.440 hectáreas; para los municipios de Jaumave y Palmillas los principales cultivos son sábila (*Aloe vera*), maíz, cítricos (*Citrus* spp.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (CEAT, 2015). El estudio se desarrolló en parte de dos regiones hidrológicas; la número 26 identificada como Río Panuco, comprendiendo los Municipios de Jaumave, y Palmillas, y la número 37, denominada El Salado, ubicándose los municipios de Miquihuana, Bustamante y Tula. La región hidrológica Río Panuco tiene una superficie de 15,256.5 km<sup>2</sup>, siendo los principales afluentes los ríos Pánuco, Tamesí, Guayalejo, Chihue, Comandante, Jaumave, Cojo y San Vicente; los arroyos principales son las Ánimas y Maravillas, originándose las principales corrientes en el estado de Tamaulipas, y son los afluentes más importantes del Río Pánuco (CNA, 2015). El territorio de la Cuenca del Altiplano o también conocida como la región hidrológica del Salado número 37 se localiza en el centro norte de México entre la Sierra Madre Occidental y la Oriental, con una superficie de 87,778 km<sup>2</sup>, y una altura promedio de 2,000 m. La cuenca está integrada por 48 municipios, de los cuales Miquihuana, Bustamante y Tula pertenecen al estado de Tamaulipas, los cuales forman parte de la cuenca de la Sierra Madre, donde predomina el clima semiseco semicálido, caracterizándose por presentar un drenaje endorreico con escurrimientos superficiales efímeros e intermitentes de carácter torrencial, carentes de corrientes superficiales permanentes (Consejo de Cuenca del Altiplano, 2010). Dentro de la zona de estudio se conocen dos acuíferos; el primero denominado Palmillas-Jaumave, el cual es considerado un acuífero de tipo libre heterogéneo, tanto vertical como horizontal, y constituido en la parte superior por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, debido al proceso de erosión de rocas que componen la sierra

madre oriental, que delimitan los valles presentando permeabilidad de baja a alta (CNA, 2015). El identificado como Tula Bustamante está conformado en un medio de agujeros y conductos de disolución y las demás formaciones calcáreas son un medio fracturado y funcionan como acuíferos semi confinados a confinados (CNA, 2015).

### Método de muestreo

Se seleccionaron 15 puntos de muestreo (pozos, norias y manantiales); se utilizó como metodología de muestreo una celda de aislamiento, la cual evita la interacción del agua subterránea con la atmósfera y facilita la estabilización de las mediciones. Las muestras se recolectaron en recipientes de plástico de baja densidad. Se tomaron tres muestras de agua en tres recipientes distintos, la de cationes, que se filtró a 45 micras y se acidificó con ácido nítrico, y se llevó a un pH de dos y evitar que precipite algún elemento, la de aniones solamente se filtró y la de isotopos únicamente se recolectó el agua; las tres muestras se trasladaron a una temperatura de 4 °C para su conservación. Igualmente, se documentó en campo la temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxidación reducción (redox) y alcalinidad con potenciómetros. En la determinación de la calidad del agua para riego, uno de los métodos utilizados fue el propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos Riverside, California (1954), el cual emplea la conductividad eléctrica relacionándolo con el Cálculo de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) para determinar el riego de sodificación o alcalinización del agua. Asimismo, se empleó la norma de Wilcox (1948), en la cual considera como índice para la clasificación de agua de riego el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica a una temperatura estándar de 25 °C. La salinidad determina los efectos que producen las sales en el crecimiento de los cultivos, que son en su mayoría osmóticos. La concentración de sodio se relaciona con la cantidad de sodio intercambiable en el suelo, lo cual produce un deterioro de la permeabilidad y de la estructura del suelo, ya que la toxicidad hace referencia a que algunos solutos tienen efecto tóxico directo en los cultivos (Gómez, 2009).

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo con las normas de Riverside se procedió a determinar la calidad de agua de riego, obteniendo como resultado la Figura 2, en la cual se distribuyen los pozos, manantiales y norias de acuerdo con su conductividad eléctrica y al cálculo de relación de adsorción de sodio.

Según la metodología de Riverside, en el agua de riego, 46.6% de las muestras se clasificaron como clase C1 y S1: (Cuadro 1), siendo un agua de baja salinidad con bajo peligro de sodificación, la cual se puede usar en la mayoría de los cultivos y en casi todos los suelos sin que el nivel del sodio de intercambio se eleve demasiado. La salinidad en el suelo tiende a ser baja salvo en suelos poco permeables donde se requerirá intercalar riegos de lavado. El 6.66%, representado por la muestra número 15 y clasificada como C2 y S1, es un agua de salinidad moderada y bajo peligro de sodificación, la cual puede utilizarse en casi todos los cultivos con suelos de buena permeabilidad; en caso de que la permeabilidad sea deficiente se deberán evitar los cultivos muy sensibles a las sales. Se requerirá de riegos de lavados ocasionales. El 40.0% de las muestras de agua corresponden a la clase C3 y S1, y corresponden a agua de salinidad media, la cual debe usarse en suelos de permeabilidad moderada a buena donde se deberán efectuar riesgos de lavado para evitar que se acumulen las sales en cantidades nocivas para las plantas, seleccionando cultivos con una tolerancia alta a la salinidad.

De acuerdo con la clasificación de Riverside, que utiliza el programa Diagrammes, los valores menores a 100 microsiemens de conductividad eléctrica y valores menores a 1 RAS no entran dentro de la categoría C1-S1, por lo cual se les clasificó como valores menores a 100 microsiemens de conductividad eléctrica,

Cuadro 1. Clasificación del agua de riego según las normas Riverside.		
ID	Infraestructura	Clasificación Riverside
1	pozo	C3 - S1
2	pozo	C3 - S1
3	pozo	C1 - S1
4	pozo	C3 - S1
5	pozo	C3 - S1
6	pozo	C - S1
7	pozo	C - S
8	pozo	C - S1
9	pozo	C - S1
10	pozo	C5 - S3
11	Manantial	C - S
12	Manantial	C1 - S1
13	Pozo	C3 - S1
14	Noria	C3 - S1
15	Pozo	C2 - S1

ID: número consecutivo de muestra, Infraestructura: es el tipo de muestra y clasificación Riverside.

como la letra C, y menores a 1 RAS, para el pozo 10, que sobrepasó los niveles de conductividad eléctrica y también quedó fuera de los niveles de Ras, se tomó la decisión de un nuevo grupo, como C5, a valores mayores de 5,000 microsiemens, y ubicándolo con un Ras de S3.

En la Figura 3 se observa la distribución espacial de las muestras (norias, manantiales y pozos), de acuerdo con la clasificación de Riverside.

**Wilcox**

Según la metodología de Wilcox (Figura 4), las muestras identificadas

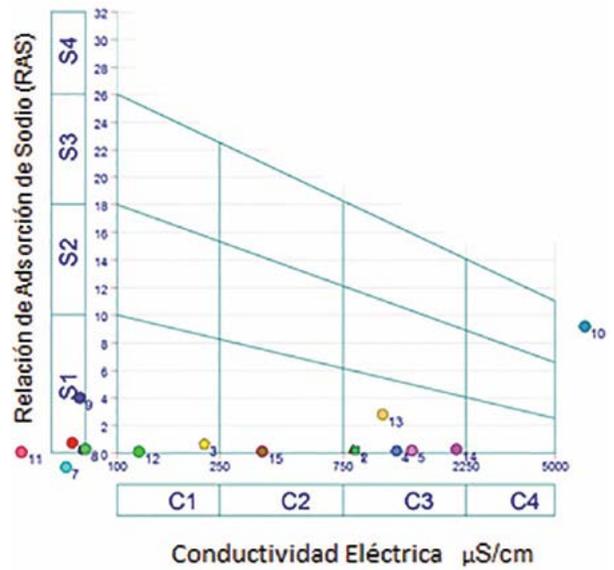


Figura 2. Calidad de Agua para Riego según Riverside.

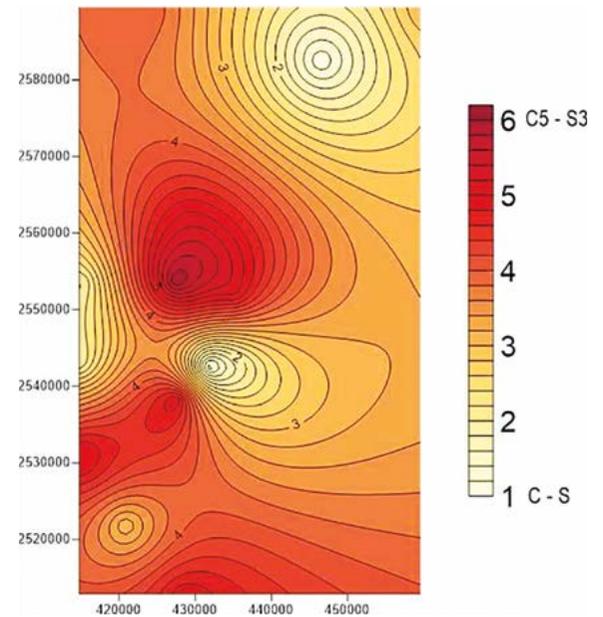


Figura 3. Distribución de las Muestras.

con los números 15, 12, 11, 9, 8, 6 y 3 presentaron una clasificación excelente para uso como agua de riego; asimismo, 13, 5, 4, 2 y 1 mostraron agua de buena calidad. La 14 y la 10 tuvieron calidad mediocre a dudosa, por lo cual no se recomienda su uso agrícola, debido a alto contenido de sodio, que puede provocar disminución de adsorción de agua por la planta, afectando a su vez la estructura del suelo.

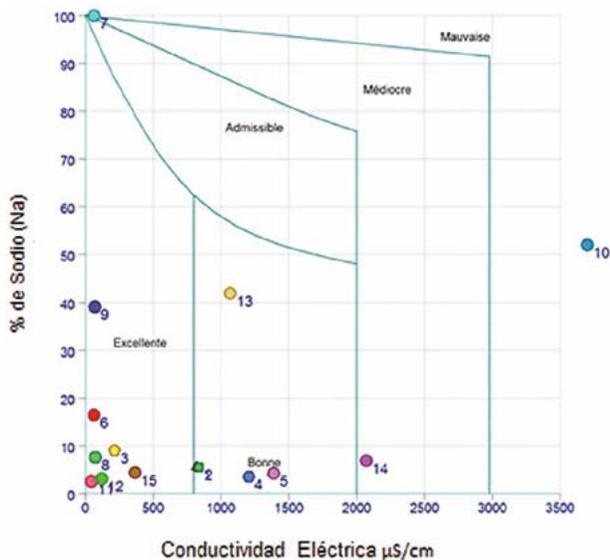


Figura 4. Diagrama de calidad de agua de riego, según Wilcox.

Los elementos mayoritarios registrados en las muestras de agua subterránea correspondieron a los aniones: nitratos, bicarbonatos, amoníaco y el ion cloro (Figura 5), y que el pozo número 10, tuvo una concentración más alta de sulfato y ion cloro. Asimismo, en la Figura 6 se observa la muestra número 10; es la que tiene mayor presencia de sodio, magnesio y calcio (cationes), determinando que las altas concentraciones de agua de riego generan peligrosidad sódica que puede perjudicar al suelo, volviéndose impermeable, llegando a ser difícil de cultivar (Douchafour, 1984).

## CONCLUSIONES

De acuerdo con las normas Riverside, 46.6% de las muestras son agua de buena calidad y recomendable para uso agrícola, siempre y cuando se intercalen lavados al suelo. Asimismo, 6.66% requiere riegos al suelo más ocasionales, limitando el uso del agua tipo C3-S1, (40%) debido al peligro de salinidad que representa, debiendo tener en cuenta que si es utilizada deberá elegirse adecuadamente el tipo de cultivo. Según la metodología de Wilcox (1948), 46.6% de las muestras es de excelente calidad, concordando con los resultados de peligro de salinización de Riverside. Igualmente, las muestras 10 y 14 indicaron que se trata de agua de tipo mediocre a dudosa, obteniendo resultados similares con normas Riverside en la que las clasifica como con un grado alto de peligro de alcalinización al suelo, indicando que la muestra número 10 tiene las concentraciones más altas de los iones sodio, calcio, sulfato, por lo cual se tendrá que elegir un cultivo resistente a la salinidad alta.

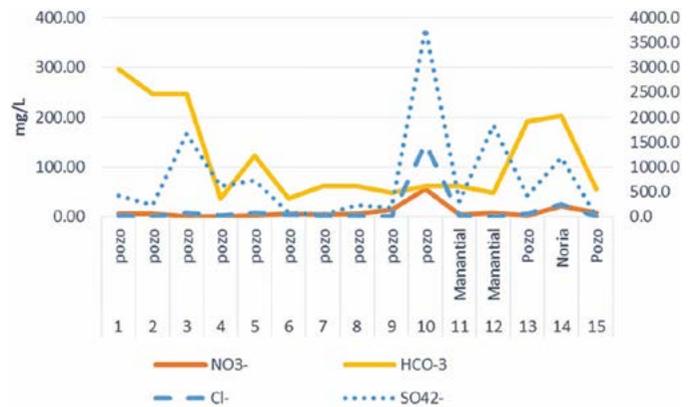


Figura 5. Composición Química de agua subterránea (aniones).

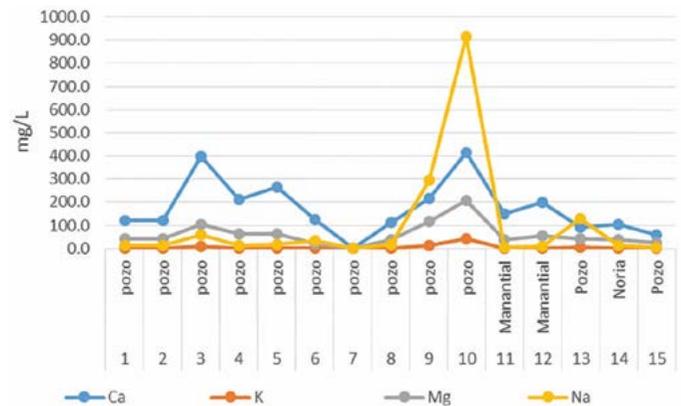


Figura 6. Composición química del agua subterránea (cationes).

## LITERATURA CITADA

Ayers R. S., Westcot, D.W. 1987. La calidad del agua y su uso en la agricultura (81 pp.). Estudio FAO Riego y Drenaje 29, Rev. 1. Roma: FAO.

Comisión Estatal del Agua de Tamaulipas, 2015. Región hidrológica 37 el salado. Páginaweb: <http://ceat.tamaulipas.gob.mx/wpcontent/uploads/2015/11/Cuencahidrol%C3%B3gica-37.pdf>.

Comisión Estatal del Agua de Tamaulipas, (CEAT). 2015. Región hidrológica, 26 Rio Panuco. Página web <http://ceat.tamaulipas.gob.mx/wpcontent/uploads/2014/09/Regi%C3%B3n-Hidrol%C3%B3gica-26 P%C3%A1nuco.pdf>.

Comisión Nacional del Agua. (CNA). 2013. Atlas del Agua en México. 144 p.

Comisión Nacional del Agua. (CNA). 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Palmillas-Jaumave estado de Tamaulipas.

Comisión Nacional del Agua. (CNA). 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tula - Bustamante, estado de Tamaulipas.

Consejo de Cuenca del Altiplano. (2010). Ficha Técnica de la Cuenca del Altiplano. 53 p.

Douchfour, P. (1984). Edafogénesis y clasificación. Barcelona: Masson, 450 p

Gómez L. M. (2009). Definición de la Aptitud de Agua para Riego en una Agroecosistema del sur de la provincia de Cordova, Argentina. Investigación y Ciencia, número 45, de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 38-43 p.

- Grattan S. 2006. Irrigation Water Composition and Salinization. IN B.R. Hanson, S. R. Grattan & A. Fulton (Eds). Agricultural Salinity and Drainage (pp. 5-6). Water
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2010). Información Nacional, por Entidad Federativa y Municipios. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=28>
- Korzeniowska J. 2008. Response of Ten Winter wheat Cultivars to Boron Foliar Application in a Temperate Climate (South-West Poland). *Agronomy Research*, 6(2), 471-476.
- Mazari H.M. 2003. El agua como Recurso. ¿Cómo ves? Índice 54 10-12.
- Moya T.J. 2009. Riego localizado y fertirrigación. 4ª ed. Editorial Mundiprensa. Madrid, España.
- Nishanthiny S.C., Thushyanthy M., Barathinathan T., Saravanan S. 2010. Irrigation Water Quality Based on Hydro Chemical Analysis, Jaffna, Sri Lanka. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 7(1), 100-102.
- Rashidi M., Seilsepour M. 2011. Prediction of Soil Sodium Adsorption Ratio Based on Soil Electrical Conductivity. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 8(2), 379-383.
- Servicio Geológico Mexicano. SGM. 2006. Carta geológico-minera estado de Tamaulipas. Servicio Geológico Mexicano. México. 1 p.
- United States Salinity Laboratory Staff. (1954). Soil and Water Conservation Research Branch. Agricultural Research Service. Ed. L.A. Richards. *Agriculture Handbook* n. 60.
- Wilcox L.V. 1948. The Quality of Water for Irrigation. *Tech. Bulletin* 962. Washington, D.C. Department of Agriculture. 40 p.

