

Calidad del agua para uso agrícola del río Mololoa, México

Water quality for agricultural use of Mololoa river, Mexico

Moisés Ignacio Ortiz Vega¹, Álvaro Can Chulim^{1,2,‡}, Carlos Alberto Romero Bañuelos³,
Elia Cruz Crespo^{1,2} y Alberto Madueño Molina^{1,2}

¹ Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias, ² Unidad Académica de Agricultura, ³ Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9. 63780 Xalisco, Nayarit, México.

[‡] Autor para correspondencia (canchulim@yahoo.com.mx)

RESUMEN

La descarga de agua residual de origen urbano, industrial y agrícola es la principal causa de la degradación de la calidad del agua de los ríos. El agua del río Mololoa que se utiliza para el riego, recibe descargas de agua residual de diversos poblados y en mayor volumen de la ciudad de Tepic. Con el objetivo de evaluar la calidad del agua para uso agrícola del río se establecieron 12 sitios de muestreo a lo largo del cauce. El muestreo fue mensual de enero a diciembre 2016. La calidad del agua se clasificó de acuerdo al pH, CE, SE, RAS y CSR. Para todo el periodo de muestreo: el pH fue alcalino, con promedio de 7.5, mínimo 6.3 y máximo 8.9; la CE fue en promedio 304, mínimo 139 y máximo 831 $\mu\text{S cm}^{-1}$, 50.7% se clasificaron como C1, 48.6% C2 y 0.7% C3. Con la SE 131 muestras se clasificaron como de muy buena a buena calidad, ocho de buena a peligrosa y una como peligrosa a muy peligrosa; los valores de la RAS fueron en promedio 1.6, mínima 0.3 y máxima 4.4; el CSR indica que 97% de las muestras son de buena calidad para uso agrícola y 3% condicionadas. En estiaje el pH fue alcalino con promedio de 7.7, mínimo 6.3 y máximo 8.9; en lluvias fue neutro con promedio de 7.3, mínimo 6.5 y máximo 7.8. Se obtuvo un incremento del pH, CE, SE, RAS y CSR en el periodo de estiaje, ya que el valor más alto se presentó en mayo, en el sitio La Escondida, donde se concentran todas las descargas de agua residual de la ciudad de Tepic y del relleno sanitario El Iztete. El agua del río Mololoa en el sitio La Escondida, no se recomienda para riego en el mes de mayo.

Palabras clave: salinidad efectiva, agua alcalina, agua residual.

SUMMARY

Wastewater discharge from urban, industrial and agricultural sources is the main cause of degradation of river water quality. Water from the Mololoa river is used for irrigation and receives discharges of wastewater from several towns and a greater volume from the city of Tepic. In order to evaluate the quality of the river water for agricultural use, 12 sampling sites were established along the river channel. Sampling was monthly from January to December 2016. Water quality was classified by pH, EC, ES, SAR and RSC. During the entire sampling period pH was alkaline, with an average of 7.5, minimum 6.3 and maximum 8.9, and EC was on average 304, minimum 139 and maximum 831 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Of the samples, 50.7% were classified as C1, 48.6% C2 and 0.7% C3. With the ES, 131 samples were classified as very good to good quality, eight as good to dangerous and one as dangerous to very dangerous. SAR values were on average 1.6, minimum 0.3 and maximum 4.4. RSC indicates that 97% of the samples are of good quality for agricultural use and 3% conditioned. In the dry season pH was alkaline with an average of 7.7, minimum 6.3 and maximum 8.9; in the rainy season it was neutral with an average of 7.3, minimum 6.5 and maximum 7.8. An increase in pH, EC, ES, SAR and RSC was obtained in the dry season, and the highest values were found in May at the La Escondida site, where all the wastewater discharges

Cita recomendada:

Ortiz Vega, M. I., Á. Can Chulim, C. A. Romero Bañuelos, E. Cruz Crespo y A. Madueño Molina. 2019. Calidad del agua para uso agrícola del río Mololoa, México. *Terra Latinoamericana* 37: 185-195.
DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.406>

Recibido: 19 de abril de 2018.

Aceptado: 13 de marzo de 2019.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 37: 185-195.

from the city of Tepic and the El Iztete landfill are concentrated. The water of the Mololoa river at the La Escondida site is not recommended for irrigation in the month of May.

Index words: *effective salinity, alkaline water, residual water.*

INTRODUCCIÓN

El deterioro de la calidad del agua superficial en México se atribuye a las actividades antropogénicas, principalmente a la descarga de agua de origen urbano-industrial y a las actividades agrícolas. La importancia de la calidad del agua se debe a que se destina 76.3% para uso agrícola, de las cuales el 61.1% proviene de fuentes superficiales (CONAGUA, 2016). La calidad del agua se refiere a sus características para un uso específico, para el uso agrícola se define por sus constituyentes mayoritarios como el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} y en menor proporción B^{3+} , P y N (Silva, 2004; Korzeniowska, 2008; Nishanthiny *et al.*, 2010). Conocer la concentración cualitativa y cuantitativa, así como la predominancia de iones en el agua permite predecir su posible afectación sobre el suelo y los cultivos, cuando se utiliza en el riego (Rashidi y Seilsepuor, 2011; Can-Chulim *et al.*, 2014). En el suelo, el uso del agua de mala calidad propicia la acumulación de iones que forman sales y degradan la calidad; en los cultivos, pueden ocasionar problemas de toxicidad y desbalances osmóticos (Sánchez *et al.*, 2002; Goykovic y Saavedra, 2007; Rodríguez, 2006). En el estado de Nayarit el agua para riego proviene principalmente de los ríos. El río Mololoa, tributario del río Santiago, nace en el manantial de Acuña en el ejido de San Leonel y en su trayecto recorre los poblados de La Labor, Trigomil, Pantanal, San Cayetano, Xalisco, Tepic, La Escondida, Salazares y Vado del Cora hasta desembocar en el río Santiago. En su trayecto recibe descargas de agua residual de estos poblados y en mayor volumen ($0.637 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de la ciudad de Tepic (Jáuregui *et al.*, 2007). Se utiliza para el riego de hortalizas, caña de azúcar, maíz, frijol y frutales, en los ejidos de La Escondida, Bellavista, San Andrés, Francisco I. Madero, Atonalisco, El Rincón y La Resolana. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del agua para uso agrícola del río Mololoa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

El río Mololoa nace en el manantial de Acuña, en San Leonel, a una altitud aproximada de 1182 m y desemboca en el río Santiago a una altitud de 43 m. Tiene una longitud aproximada de 70 km. La cuenca del Mololoa se ubica entre las coordenadas geográficas $21^\circ 16' 30''$ y $21^\circ 44' 30''$ N, y $104^\circ 39' 30''$ y $105^\circ 00' 30''$ O. De acuerdo a Avalos *et al.* (2015) cuenta con una superficie de 56 937 ha. Se considera una cuenca del tipo exorréica, delimitada por los volcanes San Juan, Tepetitlic, Sangangüey y Las Navajas. La temperatura media anual de la cuenca oscila entre 21 a 22 °C en el valle de Matatipac y de 24 a 26 °C hacia la desembocadura, mientras que la precipitación media anual es entre 1000-1200 mm, aunque en algunas zonas le siguen hasta 1500 mm (Vivanco *et al.*, 2010). En el área de estudio afloran principalmente rocas ígneas (extrusivas e intrusivas) del Terciario, le siguen en orden de importancia los depósitos aluviales, palustres y litorales de edad Cuaternaria (CONAGUA, 2015).

Muestreo de Agua y Métodos Analíticos

Se establecieron 12 sitios de muestreo a lo largo del cauce del río Mololoa, considerando los puntos que permitan identificar las modificaciones a la concentración iónica (Figura 1). Los sitios se ubicaron con un GPS. El muestreo fue mensual de enero a diciembre de 2016.

La toma de muestras de agua se realizó con base a la NMX-AA-034-SCFI-2015. Se usaron frascos de polietileno de 250 mL de capacidad para recolectar por duplicado y analizar por triplicado. Los parámetros medidos fueron pH (NMX-AA-008-SCFI-2000); CE (NMX-AA-093-SCFI-2000); Cl^- (NMX-AA-073-SCFI-2001); Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- y SO_4^{2-} (APHA, 2012).

Parámetros de Calidad del Agua

La calidad del agua se clasificó de acuerdo a los siguientes parámetros:

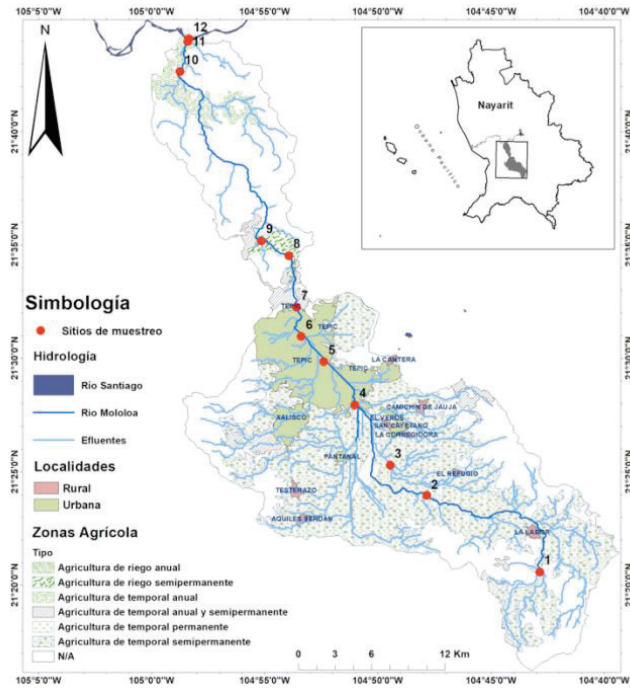


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en el río Mololoa, Nayarit, México.
Figure 1. Location of the sampling sites on the Mololoa river, Nayarit, Mexico.

pH y conductividad eléctrica. Con respecto al pH el agua se clasifica en: fuertemente ácida < 5, moderadamente ácida 5.1-6.5, neutra 6.6-7.3, medianamente alcalina 7.4 a 8.5 y fuertemente alcalina > 8.5. Para el riego se recomienda entre 5.5 y 6.5 ya que la mayoría de los iones se encuentran disponibles para la planta (Steiner, 1968). Las exigencias de calidad para el agua de riego, a fin de prevenir la salinización de los suelos, se basan en la concentración total de sales solubles, para fines de diagnóstico y clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica y de acuerdo a Richards (1990) se dividen en cuatro

clases: agua de salinidad baja (C1: < 250 $\mu\text{S cm}^{-1}$), agua de salinidad media (C2: 250-750 $\mu\text{S cm}^{-1}$), agua de salinidad alta (C3: 750-2250 $\mu\text{S cm}^{-1}$) y agua de salinidad muy alta (C4: > 2250 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

Salinidad efectiva y salinidad potencial. Doneen (1958) establece que la salinidad efectiva (SE) hace una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, dado que toma en cuenta la precipitación de las sales menos solubles: carbonatos de calcio y magnesio, y sulfato de calcio, las que, por consiguiente, dejan de participar en el incremento de la presión osmótica de la solución del suelo. El valor de la SE indica la cantidad de sales que quedarán en solución y serán las potencialmente nocivas para los cultivos. Este proceso es más notable cuando las aguas tienen un contenido alto de carbonatos y bicarbonatos. La clasificación se presenta en el Cuadro 1.

También establece que la salinidad potencial (SP) se presenta cuando la humedad aprovechable del suelo disminuye a niveles inferiores del 50% y las últimas sales que quedan en solución son los cloruros y parte de los sulfatos. La SP es un índice para estimar el peligro de estas últimas sales que quedan en solución, a bajos niveles de humedad y que, por consiguiente, aumentan considerablemente la presión osmótica. Valores < 3 son de buena calidad, de 3 a 15 condicionadas y > 15 no recomendables para el riego. Este índice se calcula con la siguiente fórmula: $SP = Cl + \frac{1}{2} SO_4^{2-}$. Donde todos los conceptos se expresan en mEq L^{-1} .

Relación de adsorción de sodio. El contenido de sodio en el agua de riego se clasifica utilizando la relación de adsorción de sodio (RAS) con respecto a la concentración iónica (CE), mediante el diagrama propuesto por Richards (1990); esta clasificación se basa principalmente en el efecto que tiene el ion sodio adsorbido sobre las condiciones físicas del suelo, es decir, predice el efecto del sodio del agua de riego, que

Cuadro 1. Clasificación del agua para riego de acuerdo a la salinidad efectiva.
Table 1. Water classification for irrigation according to effective salinity.

Características del suelo	SE	Muy buena-buena	Buena-peligrosa	Peligrosa- muy peligrosa
Poca o ninguna lixiviación (suelos arcillosos)	mEq L^{-1}	< 3	3-5	> 5
Baja lixiviación, drenaje restringido (suelos limosos)	mEq L^{-1}	< 5	5-10	> 10
Buen drenaje (suelos arenosos)	mEq L^{-1}	< 7	7-15	> 15

Fuente: Doneen, 1958. Source: Doneen, 1958.

pasará a formar parte del suelo. Con base al contenido de sodio (RAS) el agua para riego se clasifica en cuatro clases: Agua baja en sodio (S1), Agua media en sodio (S2), Agua alta en sodio (S3) y Agua muy alta en sodio (S4).

$$\text{RAS} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{\frac{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}{2}}} \quad (1)$$

donde: Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} se refieren a las concentraciones de los cationes solubles expresados en mEq L^{-1} .

Índice de saturación. Este índice propuesto por Langelier (1936) se define como el pH actual del agua (pHa) menos el pH teórico (pHc) que el agua tendría estando en equilibrio con CaCO_3 . Índice de saturación = $\text{pHa} - \text{pHc}$. $\text{pHc} = (\text{pK}_2' - \text{pK}_c') + \text{pCa} + \text{pAlk}$. Para calcular pHc se utiliza la propuesta de Bower *et al.* (1965) en donde $(\text{pK}_2' - \text{pK}_c')$ se estimó con la concentración total de cationes, pCa con la concentración de Ca^{2+} y pAlk con la concentración de $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$, todos en mEq L^{-1} . Valores positivos indican que el CaCO_3 precipitará en el agua, mientras que valores negativos que el agua disolverá CaCO_3 .

Carbonato de sodio residual. Richards (1990) recomienda, al evaluar la calidad del agua, considerar la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio. En el agua con altas concentraciones de iones bicarbonato existe la tendencia del calcio y del magnesio a precipitarse

en forma de carbonatos, a medida que la solución del suelo se vuelve más concentrada. Eaton (1950) usa el término carbonato de sodio residual (CSR) al referirse a esta reacción. Este índice se calcula con la siguiente fórmula, donde todos los constituyentes iónicos se expresan en mEq L^{-1} .

$$\text{Carbonato de sodio residual (CSR)} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}).$$

Un agua con valor < 1.25 se clasifica como de buena calidad para uso agrícola, entre 1.25 y 2.5 como condicionada y > 2.5 como no recomendable. Cuando la diferencia es negativa no existe el problema y el valor de CSR puede suponerse igual a cero. Cuando el valor es positivo indica que Ca y Mg precipitarán como carbonatos, existiendo solo sales de sodio en la solución.

Análisis estadístico. Se realizó el análisis estadístico mediante la prueba de t-Student utilizando el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1999), en donde se compararon las variables CE, concentración iónica total y CSR de las muestras de agua de la época de lluvia y estiaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó un incremento de la conductividad eléctrica en el periodo de estiaje, que tiene un valor más alto en el mes de mayo (Figura 2). Por esta razón se dividió en dos periodos, uno de estiaje y otro de lluvias. La prueba estadística mostró que la CE, y

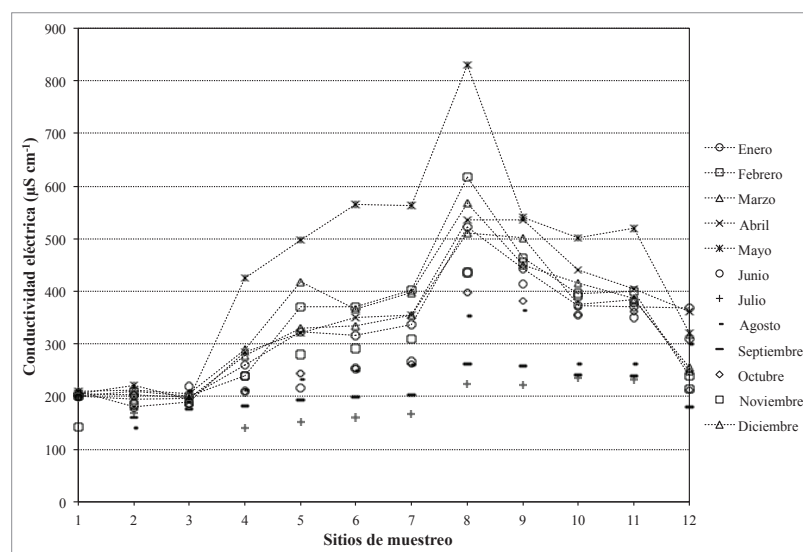


Figura 2. Distribución de la conductividad eléctrica a lo largo del cauce del río Mololoa, Nayarit, México.
Figure 2. Distribution of electric conductivity along the Mololoa river channel, Nayarit, Mexico.

la concentración iónica total fueron significativamente diferentes entre ambos periodos y en la época de estiaje se registraron los valores mayores (CE 29% y concentración iónica total 25%). En condiciones naturales, la concentración iónica expresada como CE disminuye en el periodo de lluvias por la dilución que ocurre al incrementar el caudal del río y en sequía incrementa por la disminución del caudal. Singh *et al.* (2005) encontraron en la cuenca del río Damodar que en el periodo de estiaje la concentración iónica en el agua superficial es elevada y la atribuyen al incremento de la evaporación y el bajo caudal del río.

pH. La Figura 3 permite observar que en general el pH del agua es de tipo alcalina. Se obtuvo un pH promedio de 7.5, mínimo de 6.3 y máximo de 8.9 para todas las muestras. En el periodo de estiaje el pH fue alcalino con promedio de 7.7, mínimo 6.3 y máximo 8.9. En el periodo de lluvias el pH fue neutro (Figura 4b) con promedio de 7.3, mínimo 6.5 y máximo 7.8. Ayers y Westcot (1994) mencionan que el intervalo normal para agua de riego es entre 6.5 y 8.4, aunque algunos autores recomiendan un pH que oscile entre 5.5 y 6.5 ya que en este intervalo la mayoría de los nutrientes que contiene el agua estarán disponibles para la planta (Steiner, 1968; Faulkner, 2000; Juárez *et al.*, 2006). De emplearse para el riego en viveros o invernaderos es necesario acondicionar el agua considerando el pH, para un mejor aprovechamiento de los nutrientes. Los valores más altos se presentan en el periodo de

estiaje, muestreo en marzo, abril y mayo (Figura 4a). Este incremento en el pH se debe a que el tipo de iones que predominan en este periodo son el bicarbonato y el sodio (Figura 5a).

Conductividad eléctrica. La concentración iónica del agua del río Mololoa en términos de la conductividad eléctrica para todo el periodo de muestreo tuvo promedio de 304, mínimo 139 y máximo 831 $\mu\text{S cm}^{-1}$. En el periodo de estiaje la CE promedio fue 357 (Figura 6a), mínima 180 y máxima 831 $\mu\text{S cm}^{-1}$; la clasificación fue C1, agua de salinidad baja, se puede usar para el riego de la mayor parte de los cultivos (29.2%); C2, agua de salinidad media, se puede usar siempre y cuando haya un grado moderado de lavado (69.4%); y C3, agua de salinidad alta, no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente (1.4%). En el periodo de lluvias la CE promedio fue 252 (Figura 6b), mínima 139 y máxima 455 $\mu\text{S cm}^{-1}$, la clasificación fue C1 (59.7%) y C2 (40.3%).

De acuerdo a la Figura 2, del sitio 1 (Nacimiento del río en San Leonel) al 3 (Calle Zoquite, antes de entrar a la ciudad de Tepic) es de baja concentración iónica, incrementando en el sitio 4 (Bonaterra) donde empieza a recibir descargas de agua residual proveniente de los primeros poblados por las que atraviesa. Tiene su punto más elevado en el sitio 8 que corresponde a La Escondida, donde se concentran todas las descargas de agua residual de la ciudad de Tepic y del relleno sanitario El Iztete. Cabe destacar que entre el sitio 7 y 8 se deriva

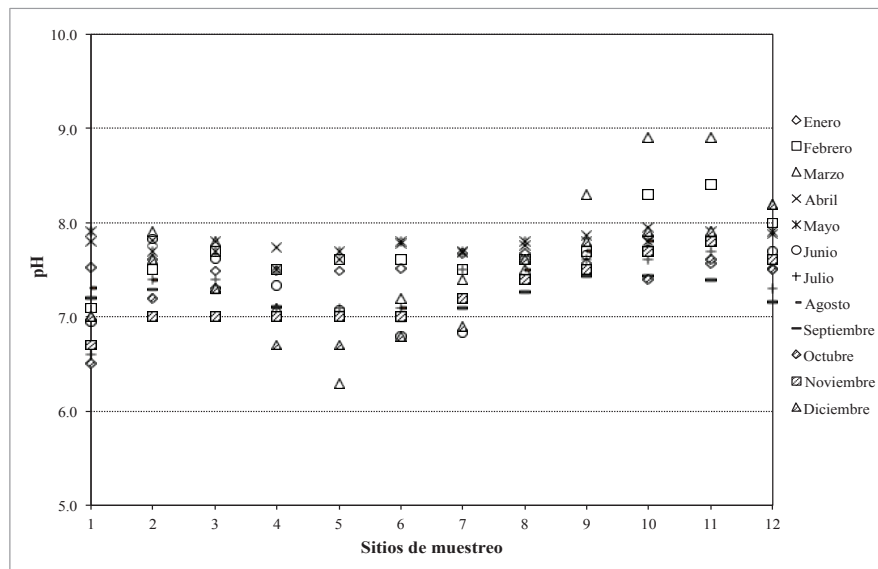


Figura 3. Distribución del pH a lo largo del cauce del río Mololoa, Nayarit, México.
Figure 3. Distribution of pH along the Mololoa river channel, Nayarit, Mexico.

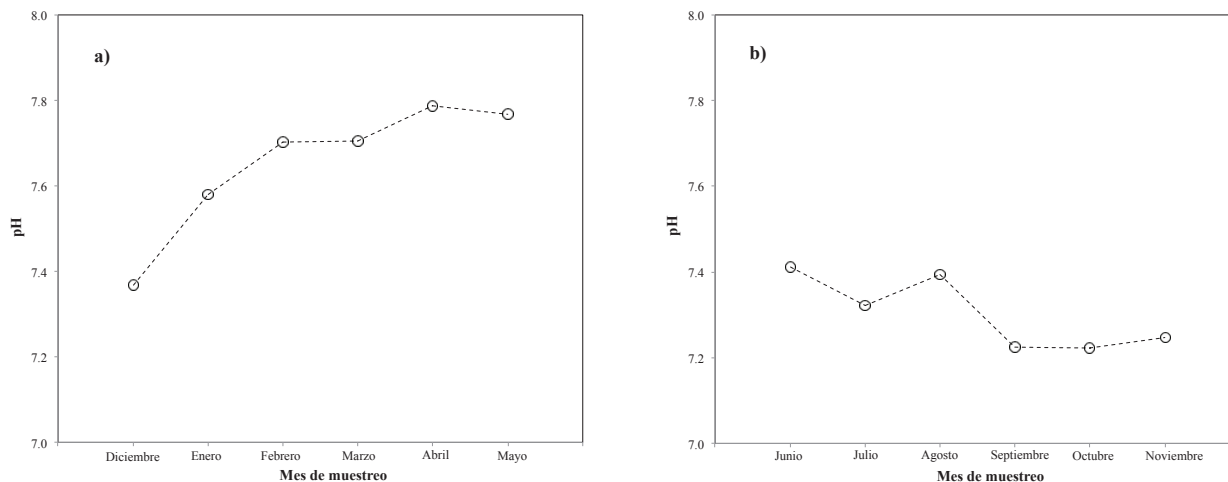


Figura 4. pH promedio del agua del río Mololoa, Nayarit, México. a) Estiaje. b) Lluvia.
Figure 4. Average pH of the water of the Mololoa river, Nayarit, Mexico. a) Dry season. b) Rainy season.

para el riego de hortalizas, caña de azúcar, maíz, frijol y frutales, en los ejidos de La Escondida, Bellavista, San Andrés, Francisco I. Madero, Atonalisco, El Rincón y La Resolana. Angelidis *et al.* (1995), Ouyang *et al.* (2006) y Chimwanza *et al.* (2006) demostraron que las descargas de agua residual procedentes de las actividades domésticas e industriales, así como las agrícolas, son la principal fuente de degradación de la calidad del agua de los ríos, similar con lo que sucede con el río Mololoa. Pesce y Wunderlin (2000) demuestran el impacto de la descarga de agua residual de la ciudad de Córdoba, Argentina, en el Río Suquía,

así como el efecto del periodo de estiaje sobre la degradación de la calidad del agua, como se ha citado por Jauregui *et al.* (2007) la ciudad de Tepic es la que mayor volumen de agua residual vierte al cauce del río Mololoa, directamente al cauce o con tratamiento parcial, a su vez, el relleno sanitario el Iztete ubicado a un costado del cauce del río vierte sus lixiviados al río sin ningún tratamiento, presentando mayor deterioro en la calidad del agua en periodo de estiaje. En el mes de mayo, para evitar la acumulación de sales en los suelos que son regados con agua proveniente del sitio 8, se recomienda una fracción de lavado.

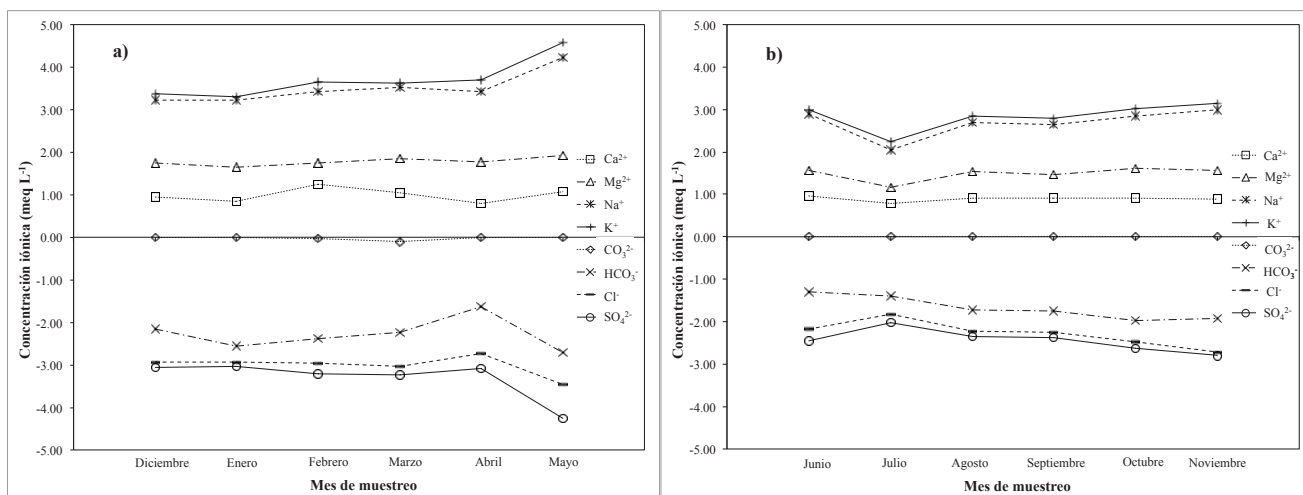


Figura 5. Concentración iónica total del agua del río Mololoa, Nayarit, México. a) Estiaje. b) Lluvia.
Figure 5. Total ionic concentration of the water of the Mololoa river, Nayarit, Mexico. a) Dry season. b) Rainy season.

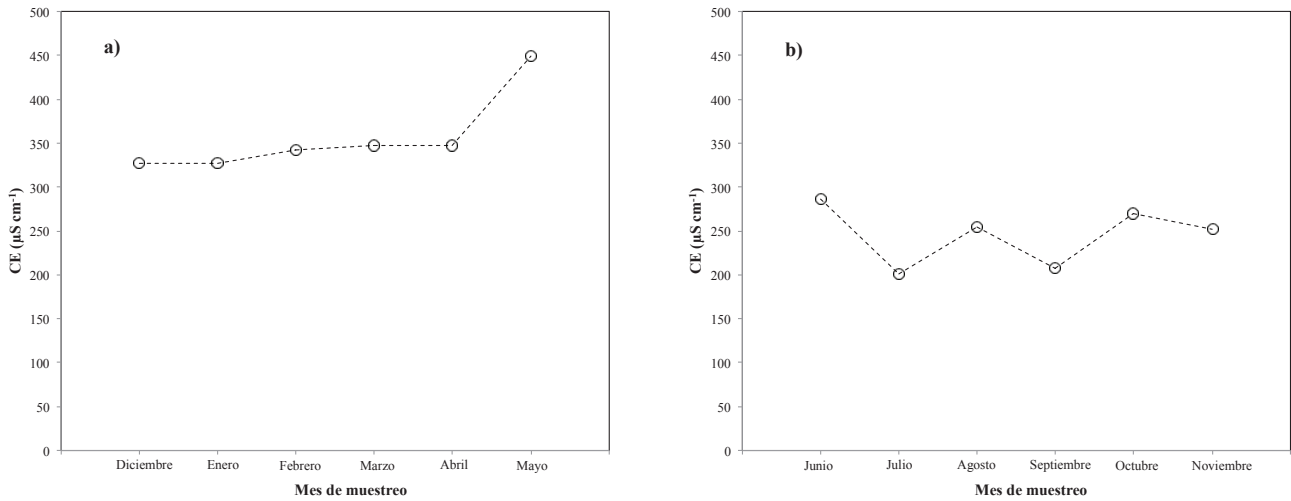


Figura 6. Conductividad eléctrica promedio del agua del río Mololoa, Nayarit, México. a) Estiaje. b) Lluvia.
 Figure 6. Average electrical conductivity of the water of the Mololoa river, Nayarit, Mexico. a) Dry season. b) Rainy season.

Salinidad efectiva y salinidad potencial. De acuerdo a la salinidad efectiva (SE) 131 (91%) de las muestras se clasifican como de muy buena a buena calidad, 8 (8%) como buenas a peligrosas y 1 (1%) como peligrosa a muy peligrosa. En el muestreo de mayo, la Figura 7 revela que no es recomendable el uso del agua en el sitio 8, lugar donde se deriva para el riego del área agrícola de La Escondida, El Rincón y La Resolana. Doneen (1954) establece este parámetro

para predecir la precipitación del calcio y magnesio en forma de carbonatos en los suelos regados con agua donde predominan el Ca^{2+} , Mg^{2+} , los CO_3^{2-} y HCO_3^- , que ocasionarán que las más solubles como el Na^+ predominen y su efecto sea más dañino sobre las plantas. Balmaseda y García (2013) en la cuenca del río Naranjo mencionan que de acuerdo a la SE el agua se clasifica como condicionada para su empleo para el riego ya que tiene valores entre 3 a 10 mEq L⁻¹,

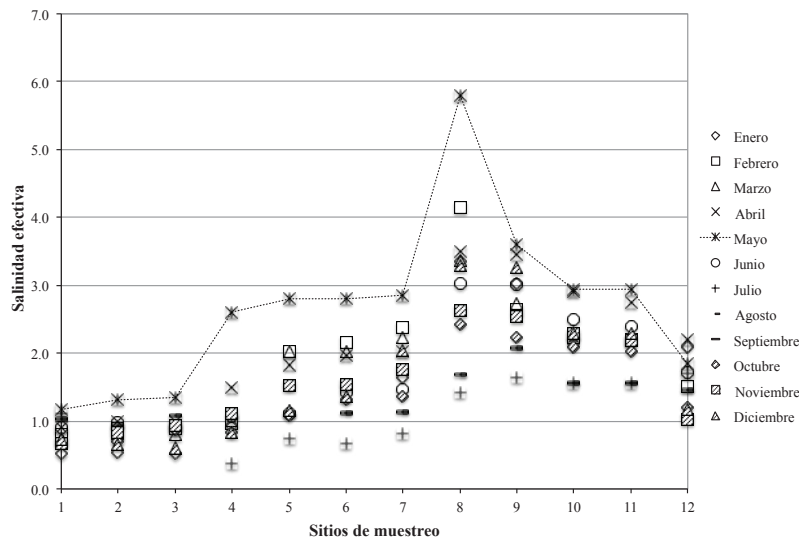


Figura 7. Salinidad efectiva de las muestras de agua del río Mololoa, Nayarit, México.
 Figure 7. Effective salinity of the water samples from the Mololoa river, Nayarit, Mexico.

y que el carbonato de calcio y magnesio o sulfato de calcio pueden pasar a formar parte del suelo en forma de sales. En las muestras del río Mololoa, ocho se encuentran en este intervalo, y corresponden al periodo de estiaje, que es cuando el caudal del río disminuye y se dan los procesos de precipitación. Rodríguez *et al.* (2009) en efluentes de plantas de tratamiento de agua residual encontraron valores promedio de 5.7 mEq L^{-1} y las clasifican como condicionadas para uso agrícola, similar al valor encontrado en el sitio 8 en el mes de mayo, cuando el río recolecta mayor volumen de agua residual.

De acuerdo a la salinidad potencial (SP), para los dos periodos de muestreo se encontró el valor promedio de 0.95 (intervalo 0.19-2.73), lo que indica que no existe riesgo por cloruros o sulfatos al usarse esta agua para el riego. El valor promedio de Cl^- fue 0.83 mEq L^{-1} (intervalo 0.19-2.50) y de SO_4^{2-} fue 0.23 mEq L^{-1} (intervalo 0.01-0.87), lo que explica los valores bajos de SP.

Relación de adsorción de sodio e índice de saturación.

Los valores de la RAS fueron en promedio 1.6, mínimo 0.3 y máximo 4.4. Ocho muestras tuvieron valores superiores a tres en el periodo de estiaje, donde el valor más alto fue en el mes de mayo en el sitio 8, donde se deriva para el riego (Figura 8).

De acuerdo a López *et al.* (2016) el agua residual por lo general posee grandes cantidades de sodio y tiene bajas concentraciones de calcio y magnesio; el pH del agua

del río Mololoa tiende a la alcalinidad, por lo que estas concentraciones de sodio pueden destruir la estructura de los suelos y reducir la infiltración del agua de riego en los suelos de los ejidos La Escondida, Bellavista, San Andrés, Francisco I. Madero, Atonalisco, El Rincón y La Resolana. Los tipos de suelo en esta área, de acuerdo al INEGI (2018), son cambisoles, acrisoles, luvisoles, umbrisoles y nitosoles. Los valores de RAS encontrados en el río Mololoa, aun cuando no son cantidades tan altas, de acuerdo a Levy *et al.* (2014) en un estudio sobre el uso de agua residual tratada con RAS entre 3 a 5 encontraron que, al ser usadas para el riego, a largo plazo conducen a la acumulación de sodio intercambiable en la capa superficial del suelo, ocasionando la degradación de la estructura con sus consecuentes problemas. Así que, de no considerar el manejo adecuado o el tratamiento del agua del río Mololoa, paulatinamente se presentarán problemas en los suelos que se riegan con esta agua. De acuerdo a Bower *et al.* (1965) cuando en el agua existen concentraciones apreciables de HCO_3^- y es empleada para el riego, una fracción variable de éste precipitará en el suelo como CaCO_3 . Esta precipitación causará una reducción de la salinidad del suelo, pero incrementará la proporción de Na^+ en la solución del suelo y por lo tanto en el complejo de intercambio. Con base al índice de saturación, en el periodo de estiaje 11% de las muestras de agua precipitarán CaCO_3 . En el mes de mayo, en el sitio 8, existirá precipitación, por lo que

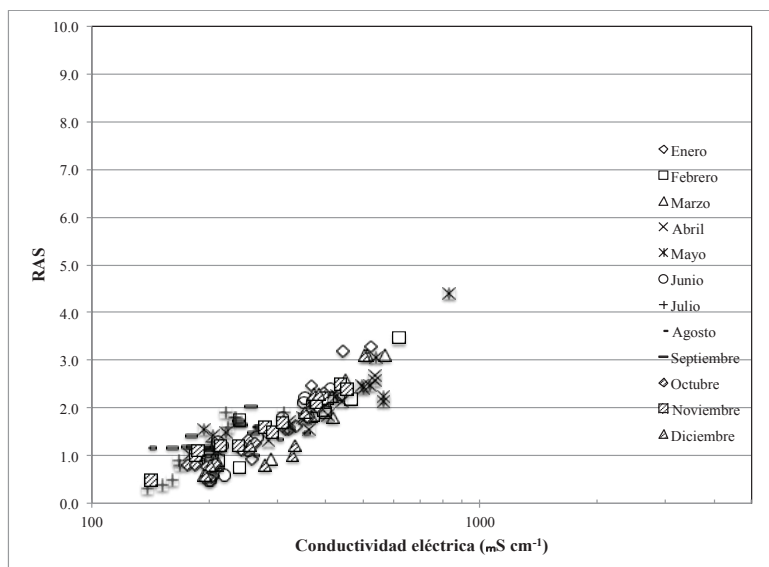


Figura 8. Relación de adsorción de sodio de las muestras del río Mololoa, Nayarit, México.
Figure 8. Sodium adsorption ratio of the samples from the Mololoa river, Nayarit, Mexico.

se prevé un incremento de la proporción de Na^+ en la solución de los suelos que son regados con esta agua y, por consecuencia, en el complejo de intercambio catiónico. A mayor concentración de Na^+ en los suelos regados con el agua del sitio 8, mayor valor de RAS y por ciento de sodio intercambiable que causarán mayor potencial de expansión y dispersión de arcillas, y menor conductividad hidráulica del suelo. Suarez *et al.* (2008), encontraron que el incremento de la RAS tiene un impacto adverso en el tiempo de infiltración del agua en suelos franco arcillosos y arcillosos.

Costa (1999) menciona que el tipo de suelo condiciona los efectos adversos del sodio, ya que, en suelos con buen drenaje, los periodos de lluvia contribuyen a la disminución de las concentraciones de Na^+ en suelos regados con agua en la cual predomina el sodio. Aun no se cuenta con un estudio sobre la físico-química de los suelos regados con el agua residual del río Mololoa, por lo que en un futuro será necesario considerar el tipo de suelo y su físico-química para una mejor predicción y recomendación de manejo de los problemas que ocasionará esta agua. Hussain y Al-Saati (1999) señalan que el agua residual puede ser empleada para el riego, pero con condiciones de manejo adecuado como la fracción de lavado, el manejo de fertilizantes y la selección de cultivos.

Carbonato de sodio residual. La prueba estadística entre estiaje y lluvia mostró que el CSR fue significativamente diferente entre ambos periodos,

donde en la época de estiaje se registraron los valores mayores (CSR 62%). Los resultados del carbonato de sodio residual indican que 97% de las muestras son de buena calidad para uso agrícola y 3% se clasifican como condicionadas. En el periodo de estiaje 93% son de buena calidad y 7% son condicionadas (Figura 9a), en el periodo de lluvia el 100% son de buena calidad (Figura 9b).

López *et al.* (2016) mencionan que los bicarbonatos en el agua de riego se transforman en carbonatos con cierta facilidad durante las estaciones secas del año, por esta razón, algunas muestras, en el periodo de estiaje, son condicionadas para el riego, ya que Ca^{2+} y de Mg^{2+} precipitan en forma de carbonatos, dejando en predominio el Na^+ . En el suelo regado con esta agua ocurre algo similar, lo que aumenta el riesgo de sodificación. Kebede *et al.* (2016) en su estudio sobre la calidad del agua para riego del lago Beseka mezclada con agua del río Awash, encontraron valores de CSR superiores a 2.5 mEq L^{-1} y muy altos el mes de marzo, periodo de estiaje; Islam y Shamsad (2009) en Bangladesh también encontraron valores de CSR altos en el periodo de estiaje, similar a lo que sucede en los datos sobre el río Mololoa. Alobaidy *et al.* (2010) en agua residual tratadas encontraron valores de CSR hasta de -12.5 y se clasificaron como de buena calidad para uso agrícola por ser menores a 1.25. Valores de CSR negativos indican que no existe el problema de precipitación de Ca y Mg. En el muestreo en temporada

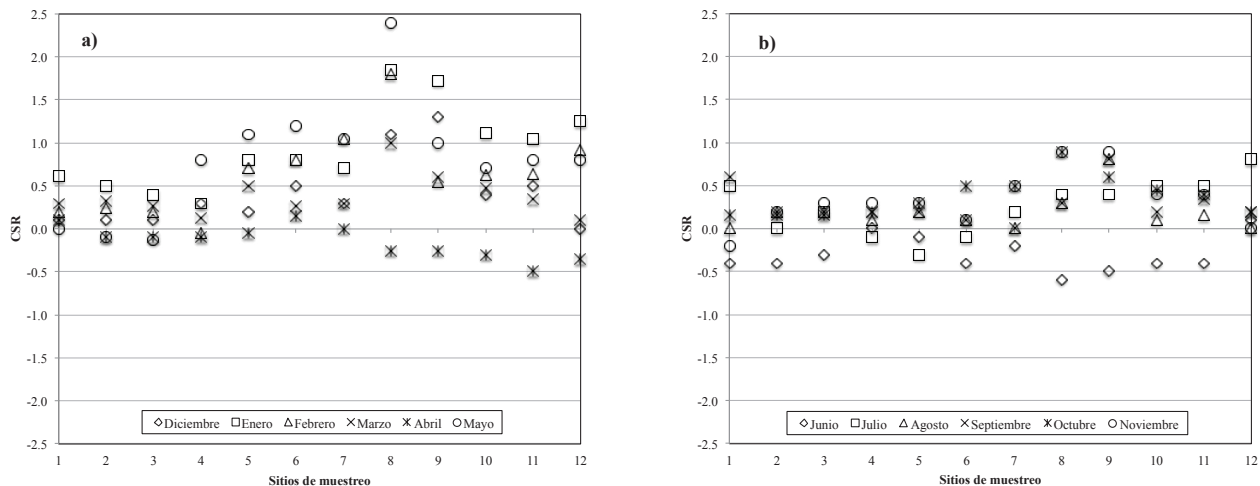


Figura 9. Carbonato sodio residual (CSR) del agua del río Mololoa, Nayarit, México. a) estiaje. b) Lluvia.
Figure 9. Residual sodium carbonate (RSC) of the water of the Mololoa river, Nayarit, Mexico. a) dry season. b) Rainy season.

de lluvias se tienen valores negativos (Figura 9b), razón por la que se consideran sin problemas para usarlos en el riego.

CONCLUSIONES

- La calidad del agua para uso agrícola del río Mololoa del sitio 1 al 3 es buena. Del sitio 4 al 8 se deteriora por el vertido de agua residual parcialmente tratado y sin tratar de los poblados por las que atraviesa.

- La concentración iónica total es mayor en el periodo de estiaje. Tiene su punto más elevado en el sitio 8, que corresponde a La Escondida, donde se concentran todas las descargas de agua residual sin tratar y parcialmente tratados de la ciudad de Tepic y del relleno sanitario El Iztete. En este sitio de acuerdo a la SE, SP, CSR y RAS, en el mes de mayo, no se recomienda usar el agua para riego. De usarse, se recomienda una fracción de lavado para evitar la acumulación de sales en los suelos que son regados con esta agua.

- El índice de saturación indica que, en el mes de mayo, en el sitio 8, existirá precipitación de CaCO_3 , por lo que se prevé un incremento de la proporción de Na^+ en la solución de los suelos regados y por consecuencia, en el complejo de intercambio catiónico. A mayor concentración de Na^+ en los suelos, mayor valor de RAS y porcentaje de sodio intercambiable que causarán mayor potencial de expansión y dispersión de arcillas, y menor conductividad hidráulica del suelo; que afectarán de forma paulatina a los principales cultivos del área.

- El pH del río Mololoa es alcalino en temporada de estiaje y tiende a neutro en temporada de lluvia. De emplearse para el riego en viveros o invernaderos es necesario acondicionarla para un mayor aprovechamiento de los nutrientes.

LITERATURA CITADA

- Alobaidy, A. H. M. J., M. A. Al-Sameraiy, A. J. Kadhem, and A. Majeed. 2010. Evaluation of treated municipal wastewater quality for irrigation. *J. Environ. Protec.* 1: 216-225.
- Angelidis, M. O., P. G. Markantonatos, and N. C. Bacalis. 1995. Impact of human activities on the quality of river water: the case of Evrotas river catchment basin, Greece. *Environ. Monit. Assess.* 35: 137-153. doi: 10.1007/BF00633711.
- APHA. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. 1496 p. Washington, DC. USA.
- Avalos-Jiménez, A., F. Flores-Vilchez y S. Marceleño-Flores. 2015. Integración del paisaje como propuesta de regionalización. Cuenca río Mololoa. *Rev. Iberoam. Cienc. Biol. Agropec.* 4: 1-14.
- Ayers, R. S. and D. W. Wescot. 1994. Water quality for agriculture. Reprinted. FAO Irrigation and Drainage Paper, 29 Rev. 130 p. 1. Rome, Italy. ISBN 92-5-102263-1.
- Balmaseda-Espinosa, C. y Y. García-Hidalgo. 2013. Calidad de las aguas de la cuenca del río Naranjo, Municipio Majibacoa, provincia Las Tuna para el riego. *Cult. Trop.* 34: 68-73.
- Bower, C. A., L. V. Wilcox, G. W. Akin, and M. G. Keyes. 1965. An index of the tendency of CaCO_3 to precipitate from irrigation waters. *Soil Sci. Soc. Am. Proceed.* 29: 91-92.
- Can-Chulim, Á, H. M. Ortega-Escobar, E. I. Sánchez-Bernal y E. Cruz-Crespo. 2014. Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México. *Tecnol. Cienc. Agua* 5: 77-96.
- Chimwanza, B., P. P. Mumba, B. H. Z. Moyo, and W. Kadewa. 2006. The impact of farming on river banks on water quality of the rivers. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 2: 353-358. doi: 10.1007/BF03325896.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Matatipac (1804), Estado de Nayarit. *Diario Oficial de la Federación.* México, D. F.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Estadísticas del agua en México, Edición 2016. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf (Consulta: marzo 17, 2018).
- Costa, J. L. 1999. Irrigation on soil chemical and physical properties in the Southern Humid Pampas of Argentina. *J. Crop Product.* 2: 85-99. doi: 10.1300/J144v02n02_04.
- Doneen, L. D. 1954. Salination of soil by salts in the irrigation water. *Trans. Am. Geophys. Union* 35: 943-1950.
- Doneen, L. D. 1958. Quality of water for irrigation. pp: 208. *In: L. D. Doneen (ed). Proc. Conf. on Quality of Water for Irrigation No. 14.* Water Resources Center. Davis, CA, USA.
- Eaton, F. M. 1950. Significance of carbonates in irrigation water. *Soil Sci.* 69: 123-134.
- Faulkner, S. P. 2000. The modified Steiner solution. A complete system. Chapter 2: The basic elements of the hydroponics. pp. 52-55. *In: A. Knutson (ed.). The best of the growing edge 2: popular hydroponics and gardening for small-commercial growers and hobbyists.* New Moon Publishing. Corvallis, OR, USA.
- Goykovic-Cortés, V. y G. Saavedra-del Real. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA* 25: 47-58.
- Hussain, G. and A. J. Al-Saati. 1999. Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia. *Desalination* 123: 241-251. doi: 10.1016/S0011-9164(99)00076-4.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2018. Edafología. Información geoespacial que muestra la distribución de los principales tipos de suelo en el territorio nacional, así como los atributos físicos, químicos y limitantes físicas y químicas presentes, de acuerdo con la base referencial mundial del recurso suelo de la FAO (WRB por sus siglas en inglés). <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia/> (Consulta: agosto 5, 2018).

- Islam, M. S. and S. Z. K. M. Shamsad. 2009. Assessment of irrigation water quality of Bogra District in Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.* 34: 597-608.
- Jáuregui-Medina, C., S. Ramírez-Hernández, M. A. Espinosa-Rodríguez, R. Tovar-Rodarte, B. Quintero-Hernández e I. Rodríguez-Castañeda. 2007. Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. *Rev. Latinoam. Rec. Nat.* 3: 65-73.
- Juárez-Hernández, M., G. Baca-Castillo, L. Aceves-Navarro, P. Sánchez-García, J. Tirado-Torres, J. Sahagún-Castellanos y M. Colinas-De León. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31: 246-253.
- Kebede, H. E., B. Abate, and T. Hordofa. 2016. Effect of blended irrigation water quality on soil physico-chemical properties and cotton yield in Middle Awash Basin Ethiopia. *Int. J. Water Resour. Environ. Engin.* 8: 1-10. doi: 10.5897/IJWREE2015.0613.
- Korzeniowska, J. 2008. Response of ten winter wheat cultivars to boron foliar application in a temperate climate (south-west poland). *Agron. Res.* 6: 471-476.
- Langelier, W. F. 1936. The analytical control of anti-corrosion water treatment. *J. Am. Water Works Assoc.* 28: 1500-1521.
- Levy, G. J., P. Fine, D. Goldstein, A. Azenkot, A. Zilberman, A. Chazan, and T. Grinhut. 2014. Long term irrigation with treated wastewater (TTW) and soil sodification. *Biosyst. Engin.* 128: 4-10. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2014.05.004.
- López-García, A. D., H. M. Ortega-Escobar, C. Ramírez-Ayala, E. I. Sánchez-Bernal, Á. Can-Chulim, D. J. Gómez-Meléndez y R. E. Vázquez-Alvarado. 2016. Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnol. Cienc. Agua* 7: 139-157.
- Nishanthiny, S. C., M. Thushyanthy, T. Barathithasan, and S. Saravanan. 2010. Irrigation water quality based on hydro chemical analysis, Jaffna, Sri Lanka. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 7: 100-102.
- NMX-AA-008-SCFI-2000 (Norma Mexicana). 2000. Análisis de agua - determinación del pH -método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D. F.
- NMX-AA-034-SCFI-2015 (Norma Mexicana). 2015. Análisis de agua - medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D. F.
- NMX-AA-073-SCFI-2001 (Norma Mexicana). 2001. Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba (cancela a la NMX-AA-073-1981). Secretaría de Economía. México, D. F.
- NMX-AA-093-SCFI-2000 (Norma Mexicana). 2000. Análisis de agua – determinación de la conductividad electrolítica -método de prueba (cancela a la NMX-AA-093-1984). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D. F.
- Ouyang, T., Z. Zhu, and Y. Kuang. 2006. Assessing impact of urbanization on river water quality in the Pearl River Delta Economic Zone, China. *Environ. Monit. Assess.* 120: 313-325.
- Pesce, S. F. and D. A. Wunderlin. 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquia River. *Water Res.* 34: 2915-2926.
- Rashidi, M. and M. Seilsepour. 2011. Prediction of soil sodium adsorption ratio based on soil electrical conductivity. *Middle-East J. Scient. Res.* 8: 379-383.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: Manual No. 60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America. Limusa. México, D. F.
- Rodríguez-Ortiz, J. C., J. L. García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, J. L. Lara-Mireles, H. Rodríguez-Fuentes y C. Loredo-Osti. 2009. Calidad agronómica de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 10: 355-367.
- Rodríguez-Pérez, L. 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agron. Colomb.* 24: 28-37.
- Sánchez-Bernal, E., H. M. Ortega-Escobar, V. A. Gonzáles-Hernández, G. Ruelas-Ángeles, J. Kohashi-Shibata y N. García-Calderón. 2002. Tolerancia de tubérculos de papa cv. Alpha en etapa de brotación a condiciones de salinidad. *Terra* 21: 481-491.
- SAS Institute. 1999. Statistical Analysis System, Versión 9 User's Guide. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Silva, E. I. L. 2004. Quality of irrigation water in Sri Lanka status and trends. *As. J. Water Environ. Pollut.* 1: 5-12.
- Singh, A. K., G. C. Mondal, P. K. Singh, S. Singh, T. B. Singh, and B. K. Tewary. 2005. Hydrochemistry of reservoirs of Damodar River basin, India: weathering processes and water quality assessment. *Environ. Geol.* 48: 1014-1028. doi: 10.1007/s00254-005-1302-6.
- Steiner, A. A. 1968. Soilless culture. pp. 324-341. *In: Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute.* Florence, Italy.
- Suarez, D. L., J. D. Wood, and S. M. Lesch. 2008. Infiltration into cropped soils: effect of rain and sodium adsorption ratio-impacted irrigation water. *J. Environ. Qual.* 37: S-169-S-179. doi: 10.2134/jeq2007.0468.
- Vivanco, J. C., J. I. Bojórquez, R. M. Murray, O. Nájera, A. Hernández y F. Flores. 2010. Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa, Tepic, Nayarit, México. *Cult. Trop.* 31: 32-40.