

Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco

Quality water for irrigation and agricultural land in Tuxcacuesco, Jalisco

Edna Karen Medina Valdovinos¹, Oscar Raúl Mancilla Villa^{2*}, Mayra Michel Larios¹,
Rubén Darío Guevara Gutiérrez¹, José Luis Olguín López¹ y Oscar Arturo Barreto García¹

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar la calidad del agua para riego y suelos agrícolas del municipio de Tuxcacuesco. Se realizaron muestreos compuestos de ambos recursos durante junio de 2015, las colectas se analizaron en el laboratorio de suelos del CUCSUR, se estimaron pH, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na, K, CHO_3^{2+} , HCO_3 , SO_4^{2-} y Cl; los índices de salinidad, sodicidad, toxicidad, así como concentración iónica, contenido de boro y fertilidad del suelo. Los valores de pH en suelo y agua se presentaron en un rango de 7,1 a 8,5, respecto a la concentración iónica se clasificó a las aguas como magnésicas-bicarbonatadas y a las soluciones de suelo como sódicas-bicarbonatadas, en cuanto a RAS y CE ambos recursos fueron clasificados como S1 y C1 lo que significa que sus contenidos de sales y sodio son bajos, en el caso particular de fertilidad del suelo, los nutrientes principales (N, P, K y materia orgánica) se encuentran bajos respecto a los reportados en otras investigaciones. Los valores de CSR para las muestras tanto de agua como de suelo se encuentran entre -12 y -1.3. El contenido de boro no alcanza los niveles de toxicidad, por el contrario, representa un aporte como micronutriente para los cultivos. En conjunto ambos recursos son recomendables para las actividades agrícolas; sin embargo, en el caso puntual de fertilidad del suelo es necesario modificar algunas prácticas para elevar las concentraciones de N, P, K y materia orgánica, con el fin de incrementar la fertilidad y fomentar el manejo sostenible del recurso.

Palabras clave: índices de sodicidad y salinidad, toxicidad, fertilidad del suelo, pH y CE.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the quality of water for irrigation and agricultural soils in the municipality of Tuxcacuesco. Sampling compounds of both resources were made during June 2015, the collects were analyzed in the soil laboratory of CUCSUR were estimated pH; CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na, K, CHO_3^{2+} , HCO_3 , SO_4^{2-} and Cl, salinity levels, sodicity, toxicity and ionic strength, Boron content and soil fertility. The pH values in soil and water were presented in a range of 7.1 to 8.5, respect to the ionic concentration water was ranked as magnesium-bicarbonate and soil solutions as sodium-bicarbonate, regarding RAS and EC both resources were classified as C1 and S1 which means that their percentage of salts and sodium are low, in the case of soil fertility, the content of the primary nutrients (N, P, K and organic matter) are low compared to reported in other investigations. SRC values for samples of both water and soil are between -12 and -1.3. The Boron content does not reach toxic levels, by contrast, it represents a contribution of this micronutrient for crops. Together, both resources are recommended for agricultural activities, however, in the specific case of soil fertility, it is necessary to change some practices to increase the concentrations of N, P, K and organic matter, in order to increase fertility and promote sustainable resource management.

Key words: sodicity and salinity indexes, toxicity, soil fertility, pH and EC.

Introducción

Los suelos y agua son recursos estratégicos que contribuyen a la seguridad alimentaria y la generación de servicios ecosistémicos. Puntualmente en el caso de la agricultura de riego, su práctica

permite obtener dos o tres cosechas al año en la misma parcela, lo que hace a las áreas irrigadas de gran importancia para la seguridad alimentaria mundial. Las tierras irrigadas, que abarcan 16% de las tierras cultivadas en el mundo, producen 40% de los alimentos (Iturri *et al.*, 1999).

¹ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Departamento de Ecología y Recursos Naturales.

² Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Guadalajara; Av. Independencia Nacional 151 C.P. 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México. Av. 48900.

* Autor por correspondencia: oscar.mancilla@cucsur.udg.mx; nnamb25008@gmail.com

En cuanto a la irrigación, Mancilla-Villa *et al.* (2015) mencionan que la producción agrícola es la actividad que mayor cantidad de agua requiere a nivel mundial, debido a que se destina aproximadamente 69%, es decir, 483 m³ por persona al año. Otero *et al.* (2008) mencionan que el riego puede incrementar los niveles de salinidad en el suelo, cuando no se prevé adecuadamente la instalación de sistemas de drenaje.

En relación al suelo uno de los problemas clásicos de degradación ha sido el de controlar, prevenir o mejorar los suelos afectados por la salinidad. En las regiones áridas, semiáridas y estepas, donde la evaporación es mayor que las precipitaciones, se ubican las regiones más afectadas por sales (Otero *et al.*, 2008).

En conjunto la calidad del suelo y agua para la agricultura influyen de manera directa en el rendimiento y calidad de los cultivos (Mickelbart y Arpaia, 2002) existen condiciones puntuales que determinan el estado de ambos recursos, salinidad y sodicidad son dos de las principales (Richards, 1973), además de la presencia de ciertos elementos que pueden ser considerados como micronutrientes y a la vez iones tóxicos en cantidades excesivas como el boro (Mancilla-Villa *et al.*, 2014).

Cuando la sodicidad y la salinidad se encuentran presentes en el suelo se incrementa la presión osmótica del agua del suelo, lo que impide su aprovechamiento por parte de las raíces y se genera además un desbalance nutricional, provocando toxicidad y deficiencias en las plantas (Mau y Porporato, 2015) todo lo anterior se traduce en una disminución del rendimiento y la calidad del producto final vegetal y por supuesto en la fertilidad del suelo agrícola.

Al cultivar un grupo de especies o variedades vegetales en condiciones salinas, muchas veces se establecen con mayor tolerancia a aquellas que presentan un mayor rendimiento, aunque lo más adecuado es medir el rendimiento en condiciones de estrés (Mickelbart y Arpaia, 2002). Los índices de salinidad y sodicidad, tanto en agua de riego como en suelos agrícolas, permiten clasificar la calidad agronómica de estos recursos, además de dar la pauta para recomendar su uso en la agricultura extensiva, puesto que al conocer la cantidad de sales, de sodio y de iones considerados tóxicos se generará la toma de decisiones acertadas en el manejo sustentable del agua y del suelo en la agricultura (Can *et al.*, 2008).

Al referirse de manera particular a la fertilidad del suelo, el contenido de materia orgánica es un factor importante, porque no solo aporta nutrientes a la planta y contiene cerca de 5% del N total, de manera adicional amortigua la absorción de sustancias peligrosas contenidas en los plaguicidas, al mismo tiempo, su presencia mejora los rendimientos (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

Debido a la escasa información generada con algunos estudios realizados con respecto a la calidad agronómica del agua y del suelo en la región occidental de México y sobre todo en un sitio como Tuxcacuesco, en donde la principal actividad económica es la agricultura, es importante generar conocimiento acerca del estado actual de ambos recursos agrícolas, para estipular recomendaciones de manejo adecuado que garanticen un uso prolongado y responsable de los mismos. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar la calidad del agua de riego proveniente de norias, pozos profundos y del río Tuxcacuesco, además de considerar la repercusión de esta en la productividad de los suelos agrícolas y el rendimiento de los cultivos. De manera adicional se analizan algunos aspectos de fertilidad y salinidad en los suelos agrícolas del municipio mencionado, donde se establecen cultivos de importancia económica, como son el maíz, chile y tomate de cascara.

Materiales y Métodos

El área de estudio se ubica en el municipio de Tuxcacuesco en el estado de Jalisco, entre las provincias Sierra Madre del sur y Eje Neovolcánico Transversal, en las coordenadas 19°33' y 19°49' Norte y 103°51' y 104°10' Oeste, la altitud del municipio presenta un rango de 680 a 2.860 m. El clima en la mayor parte del territorio es cálido subhúmedo, la temperatura y precipitación media anual son de 22,5 °C y 813 mm, respectivamente (IIEG, 2015).

En la Figura 1 se presenta la ubicación de los sitios de muestreo de aguas y suelos agrícolas localizados en el municipio de Tuxcacuesco que tiene una superficie de 417 km², 25,2% del uso del suelo se destina a la agricultura, leptosoles y regosoles predominantes, 30 y 27%, respectivamente (IIEG, 2015).

En la Tabla 1 se presenta la ubicación de los sitios de muestreo en agua. El muestreo del agua se realizó en 11 norias, de profundidades oscilantes entre 6 y 15 metros, dos pozos profundos y dos sitios

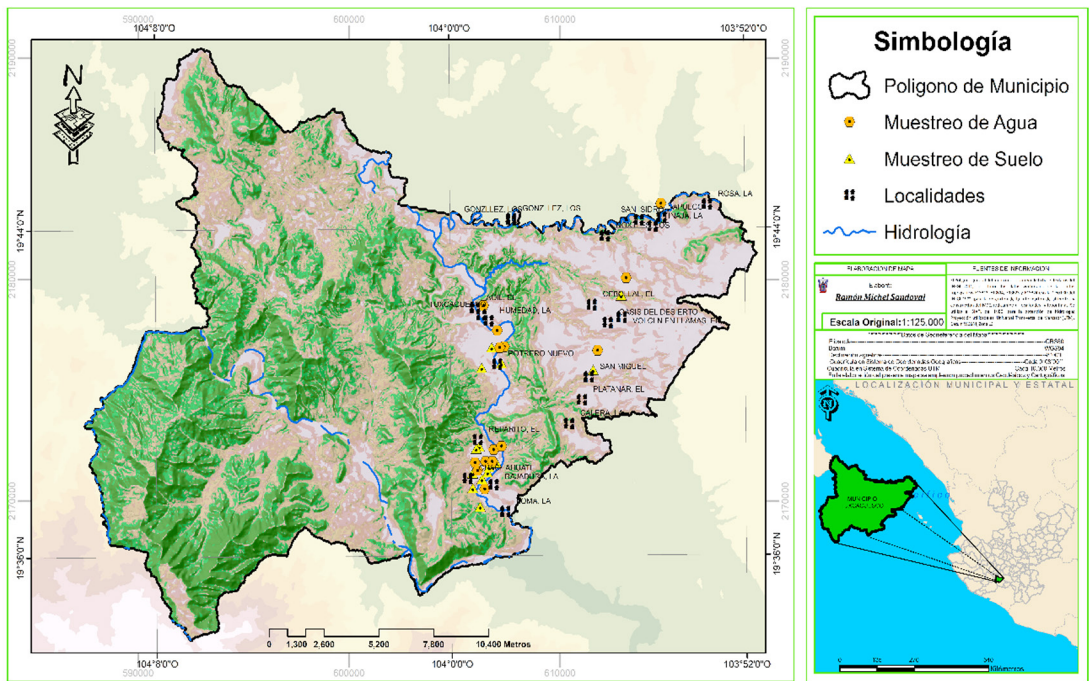


Figura 1. Mapa de localización de los sitios de muestreo de agua y suelo, en el municipio de Tuxcacuesco, Jalisco.

Tabla 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo (agua).

Nº	Lugar	Propietario	Fuente	Posición geográfica (°)		Altitud (m)
				Este	Norte	
1	Tuxcacuesco	Fco. Zamora	Noria	607318	2176358	703
2	Tuxcacuesco	Fco. Zamora	Noria	607319	2176337	703
3	Tuxcacuesco	NA	Río	606325	2178212	723
4	Chachahuatlán	Jesús	Noria	606429	2171179	702
5	Chachahuatlán	Juan Michel	Noria	606745	2171179	700
6	Chachahuatlán	Rogelio Espinoza	Noria	606812	2171712	695
7	Chachahuatlán	Sergio Rodríguez	Noria	607187	2171871	700
8	Apulco	NA	Río	614740	2182824	876
9	San Miguel	Norberto Montes de Oca	Pozo profundo	613089	2179466	927
10	San Miguel	Enrique Cortés	Pozo profundo	611742	2176190	932
11	Tuxcacuesco	Betón Mata	Noria	606977	2177092	712
12	Chachahuatlán	Alejandro Vargas	Noria	605925	2171126	713
13	Chachahuatlán	Gilberto Castillo	Noria	606392	2169938	693
14	Tuxcacuesco	Federico Araiza	Noria	606048	2170771	705

del río Tuxcacuesco. Para la colecta de muestras se utilizaron frascos de plástico esterilizados con capacidad de 0,5 L.

El muestreo en suelos se realizó en las parcelas respectivas a la ubicación de las norias y en dos parcelas que son irrigadas con agua del río y de pozos, las muestras se tomaron a una profundidad de 30 cm. Las parcelas tenían establecidos distintos

tipos de cultivos entre los que destacan el chile, maíz, cacahuate, asociación de los cultivos chile y maíz, así como tomate de cascara. Los sitios de muestreo de suelos se presentan en la Tabla 2. Las colectas de agua y suelo se realizaron en el mes de junio de 2015.

Ambos lotes de muestras se enviaron al laboratorio de suelos del Centro Universitario de

Tabla 2. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo (suelo).

No	Lugar	Cultivo	Propietario	Posición geográfica (°)		Altitud (m)
				Este	Norte	
1	Tuxcacuesco	Maíz	Francisco Zamora	607404	2176404	705
2	Chachahuatlán	Chile	Bugarín	606350	2172649	723
3	Chachahuatlán	Tomate de cascara	J. Trinidad Michel	606208	2172550	717
4	Chachahuatlán	Chile jalapeño/maíz	Pablo Michel	606036	2171436	715
5	Chachahuatlán	Chile jalapeño	Jesús Espinoza	606484	2171180	700
6	Chachahuatlán	Chile serrano	Juan Michel	606746	2171481	698
7	Chachahuatlán	Chile serrano	Rogelio Espinoza	606805	2171727	694
8	Chachahuatlán	Chile/maíz	Sergio Rodríguez	607163	2171911	699
9	San Miguel	Chile habanero	Norberto Montes de Oca	613086	2179470	928
10	San Miguel	Chile jalapeño/maíz	Enrique Cortés	611753	2176104	929
11	Tuxcacuesco	Tomate de cascara	Betón Mata	606940	2177118	714
12	Chachahuatlán	Chile serrano	Alejandro Vargas	606392	2169938	693
13	Chachahuatlán	Chile jalapeño	Gilberto Castillo	606048	2170772	709
14	Tuxcacuesco	Maíz	Federico Araiza	606465	2176201	707

la Costa Sur, para realizar las determinaciones que se muestran en la Tabla 3. Las marchas analíticas en laboratorio se apegaron a lo establecido en las diferentes fuentes que se citan en la tabla mencionada.

Resultados y Discusión

Con base en las determinaciones en el laboratorio se generaron los índices de salinidad y sodicidad, así como las concentraciones de algunos iones considerados tóxicos, además de la estimación de

fertilidad y contenido de materia orgánica en el suelo permitió generar las recomendaciones de manejo respectivas, los resultados y discusión se presentan a continuación.

Conductividad eléctrica y pH

Uno de los parámetros más importantes para evaluar la calidad del agua de riego es la concentración de sales que comúnmente se mide como conductividad eléctrica; Ayers y Westcot

Tabla 3. Determinaciones fisicoquímicas analíticas que se realizan a cada muestra de agua y extracto de suelo.

Determinación	Método	Referencia
1. pH	Potenciométrico, con potenciómetro marca Beckman, modelo Hoffman Pinther Boswork	APHA, 1995
2. Conductividad eléctrica	Conductimetría, mediante conductímetro con puente de Wheastone con celda de vidrio	Richards, 1990
3. Sodio y potasio	Flamometría, mediante Flamómetro IL AutocalFlamePhotometer 643, L=589 nm, calibrado con soluciones estándar de 145-1 mmol c L para Na y de 5 mmol c L para K	APHA, 1995 3500-Na y K, D
4. Calcio y magnesio	Volumétrico, mediante titulación con EDTA y eriocromo negro T como indicador, para Ca + Mg y Murexida para Ca	APHA, 1995 3500 Ca, D
5. Carbonatos	Volumétrico, mediante titulación con ácido sulfúrico y fenolftaleína como indicador	APHA, 1995 2320 B
6. Bicarbonatos	Volumétrico, mediante titulación con ácido sulfúrico y anaranjado de metilo como indicador	APHA, 1995 2320 B
7. Cloruros	Titulación con nitrato de plata y cromato de potasio al 5% como indicador	APHA, 1995 4500-C-IB
8. Sulfatos	Turbidimetría, mediante el espectrofotómetro modelo Perkin Elmer 35, L=420 nm	APHA, 1995 4500-SO 4 E
9. Boro	Azometina-H ¹	APHA, 1995
10. Textura	Bouyucos	APHA, 1995
11. Materia orgánica	Combustión húmeda	APHA, 1995
12. Nitratos	Colorimetría	APHA, 1995
13. Fosforo	Colorimetría	APHA, 1995

(1976) mencionan que una conductividad eléctrica mayor a $3.000 \mu\text{S}^{-1}$ puede afectar al crecimiento de varios cultivos.

En el caso del pH, si bien no es un factor principal para evaluar la calidad del agua, sirve para determinar las concentraciones relativas de las especies disueltas de carbonato (Buccaro *et al.*, 2006).

En conjunto la conductividad eléctrica y el pH, hacen referencia a la relación suelo-planta y a la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas (Romero *et al.*, 2009). En la Figura 2, se presentan los valores de pH y conductividad eléctrica de agua (a) y suelo (b).

Los valores de pH en las muestras de agua se encuentran en el rango de 6,9 a 8,4, la mayoría cercanos a 7, en el caso de las muestras de solución de suelo, la mayoría de los valores se encuentran por encima de 8, excepto por dos muestras con valores de 7, el pH óptimo para suelos agrícolas debe variar entre 6,5 y 7,5 para obtener mejores rendimientos y una mayor productividad (Romero *et al.*, 2009), según lo anterior la mayoría de los suelos muestreados en este estudio se encuentran por encima del valor óptimo de pH, esto significa que los organismos vegetales podrían presentar problemas con la asimilación de nutrientes, en casos como el del maíz provoca la disminución en el crecimiento de los individuos (Islam *et al.*, 1980). Existen prácticas sencillas que podrían llevarse a cabo para alcanzar el pH adecuado,

como la aplicación de azufre o compuestos del azufre (Arroyo *et al.*, 2004).

En la Figura 2 (a), se observa que las muestras de agua se encuentran en un rango de conductividad eléctrica que va de 220 a $1.750 \mu\text{S cm}^{-1}$, esto significa que son aguas con las que se pueden obtener rendimientos agrícolas adecuados, siempre y cuando se cuente con un drenaje eficiente; sin embargo, si el lavado y drenaje no ocurren correctamente se presentan condiciones de salinidad, esto se recomendaría principalmente para los suelos que corresponden a las muestras 2, 5, 6, 7, 8, 9, 13 y 14, es decir, que los cultivos sensibles pueden ser afectados de manera adversa, estas aguas pueden funcionar mejor para cultivos moderadamente tolerantes a las sales (Ayers y Westcot, 1987), específicamente en las muestras 1, 3, 4, 10, 11 y 12.

Ninguna de las muestras de solución del suelo excedió el valor máximo de conductividad eléctrica recomendado (CEM) antes mencionado, el valor más elevado corresponde a la muestra número 14 correspondiente a una noria con $1.030 \mu\text{S cm}^{-1}$, el resto se encuentra en un rango de 130 a $550 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Respecto a la relación conductividad eléctrica-germinación Vitoria *et al.* (2007), encontraron que a mayor conductividad eléctrica el porcentaje de germinación de semillas de maíz (*Zea mays L.*) disminuye, en el mismo estudio se encontró que a mayor pH la erosión del suelo se incrementa.

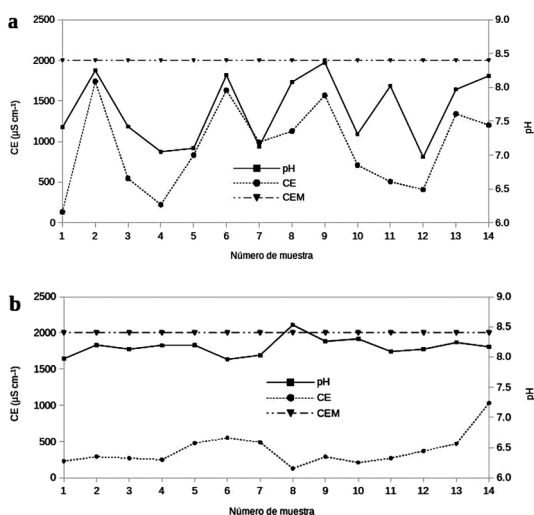


Figura 2. Valores de pH y conductividad eléctrica en las muestras de agua (a) y suelo (b). Donde Conductividad Eléctrica Máxima (CEM).

Concentraciones iónicas

La distribución de cationes y aniones de las muestras colectadas, se presenta en la Figura 3, para las muestras de agua (a) y para muestras de suelo (b).

Los aniones modifican las propiedades del suelo de forma directa incrementando la salinidad y de forma indirecta afectando las proporciones de sodio intercambiable, calcio y magnesio (Warrence *et al.*, 2002).

Las muestras de agua colectadas provienen de distintas fuentes, pozos profundos, norias y directamente del río. En cuanto a los cationes, predomina el magnesio y por el lado de los aniones los iones bicarbonato al igual que en las muestras de suelo. Lo anterior significa que las aguas muestreadas en su mayoría son magnésicas-bicarbonatadas (Durov, 1948). Algunas de las

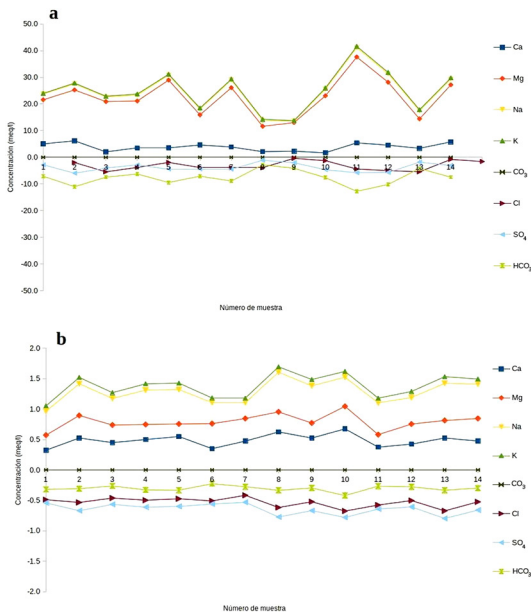


Figura 3. Concentraciones iónicas de las muestras de agua (a) y suelo (b).

concentraciones más altas en cationes y aniones corresponden a norias.

En la composición iónica de los suelos muestreados predominó el sodio por el lado de los cationes y en el caso de los aniones los iones de bicarbonato, por lo tanto la solución de los suelos en su mayoría es sódica-bicarbonatada (Durov, 1948). Esta clasificación presenta la familia de soluciones en el suelo de acuerdo a la concentración iónica; sin embargo, la concentración total de iones no representa riesgo para los cultivos.

Relación adsorción sodio

En la Figura 4, se presenta el diagrama de Richards (1973), para la clasificación de aguas de riego en conjunto con los resultados obtenidos de concentración relativa de Na⁺ con respecto a Ca²⁺ y Mg²⁺ (RAS) y CE en las muestras analizadas.

Al hacer uso de los criterios tradicionales de relación de adsorción de sodio y la conductividad eléctrica, se clasificaron las muestras como C1, C2 y C3 que, según las directrices del laboratorio de salinidad de EE.UU. (Can *et al.*, 2008), la clasificación C1 son suelos y aguas satisfactorias para riego con respecto a la concentración de sales; sin embargo, las aguas C2 podrían impactar de manera adversa a cultivos sensibles, en el caso de

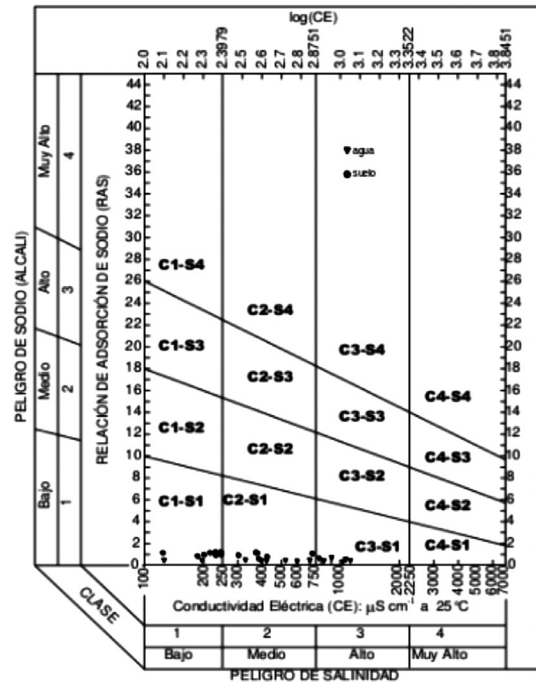


Figura 4. RAS y CE en aguas de riego y suelos agrícolas de Tuxcacuesco.

los C3 se puede obtener un rendimiento adecuado de los cultivos, siempre y cuando se haga un manejo adecuado de los suelos y el drenaje sea eficiente de lo contrario se podrían presentar condiciones de alta salinidad. En lo referente a sodicidad, todas las muestras fueron ubicadas dentro de la clasificación S1, que se refiere a soluciones con baja concentración de sodio, algunos cultivos sensibles como el aguacate o algunos frutales pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio. Can *et al.* (2008) obtuvieron resultados similares en un estudio, concluyendo que pueden ser empleadas en casi cualquier tipo de suelo sin riesgo elevado de alcanzar grados peligrosos de sodio intercambiable.

Carbonato de sodio residual

Se consideran aguas de buena calidad para uso agrícola a aquellas que presentan valores en Carbonato de Sodio Residual (CSR) menores a 1,25 mmol_cL⁻¹, aquellas que se encuentran entre 1,25 y 2,5 son aguas condicionadas y aquellas superiores a 2,5 son aguas no recomendables (Can *et al.*, 2008). En la Figura 5 se presentan los valores de CSR de suelos y aguas de riego de Tuxcacuesco.

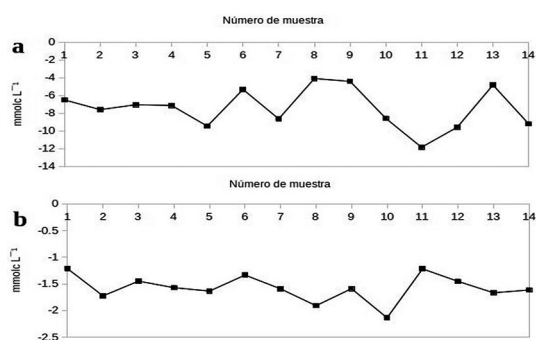


Figura 5. Carbonato de sodio residual en muestras de agua y suelo.

Cuando el valor del CSR es positivo significa que el Ca y el Mg precipitan como carbonatos, existiendo solo sales de sodio en la solución; sin embargo, cuando los valores son negativos como es el caso de este estudio, el agua y solución del suelo son convenientes para uso agrícola, por los rangos mencionados anteriormente. En agua el valor mínimo es de $-11,827$ y el máximo $-4,085$, para solución del suelo $-2,138$ y $-1,215$. En algunos estudios como el de Nishanthiny *et al.* (2010) se menciona que la principal fuente de carbonatos es la dilución de rocas carbonatadas y por ello los ríos contienen mayores concentraciones de Ca y Mg, lo que origina valores negativos en el CSR.

Fertilidad del suelo

En la Figura 6 se presentan los porcentajes de materia orgánica (MO) y las concentraciones de los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio.

Los resultados de laboratorio señalan que la mayoría de los sitios muestreados son arenosos, Julca-Otiniano *et al.* (2006) mencionan que el porcentaje de MO deseable en este tipo de suelos es de 2.5%, tomando como referencia lo anterior para los resultados de MO en las muestras de solución de suelo, 57% de los resultados no alcanzan 0,1% y el resto son inferiores a 1% de MO.

Schlegel *et al.* (2006) mencionan que el nitrógeno en suelos cultivados se encuentra presente en un rango que va de 0,01% hasta 0,5%, pero lo más frecuente es que ronde 0,1%. Ninguna de las muestras de solución de suelo extraídas, alcanzan tales porcentajes de N, la mayoría se encuentra cerca de 0,0003% por lo tanto existe una deficiencia de N en el suelo de la región, puede suceder que sin una fuente de

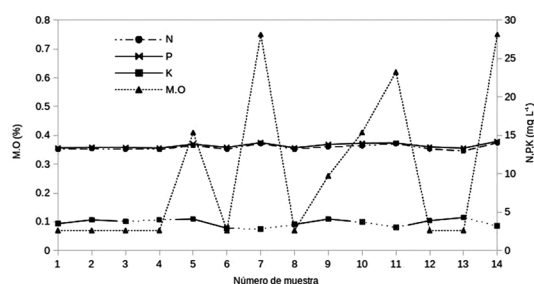


Figura 6. Materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio en suelos agrícolas.

Nitrógeno externa, las plantas establecidas en el sitio presenten un crecimiento lento, macollaje limitado y sean más pequeñas que aquellas que tengan un suministro de N adecuado.

Estudios como el de Sims y Pierzynski (2005), manejan un rango en concentración de P de 50 a 3.000 mg kg^{-1} , cantidad que varía dependiendo de las condiciones de cultivo y el tipo de suelo. Los niveles de P en las muestras de este trabajo son bajos respecto a los antes mencionados, todas se encuentran entre 2,9 y 3,1 mg kg^{-1} . Para suelos agrícolas el rango de este va de 10 y 20 g kg^{-1} (Zörb, Senbayram & Peiter, 2014), en este estudio se obtuvieron valores bajos entre 2,8 y 4,1 mg kg^{-1} . Los niveles de N, P, K y materia orgánica, son bajos en comparación con los reportados en otras investigaciones; por otra parte, no se debe dejar de lado que las condiciones climáticas y de manejo son distintas en cada caso, sin embargo se recomienda implementar prácticas de manejo como la incorporación de materia orgánica en el suelo, así como la posibilidad de asociación de cultivos que fijen N como aporte para los sistemas productivos demandantes de este nutriente.

Contenido de boro

El boro es un elemento que si bien es esencial para las plantas, su toxicidad se hace presente al rebasar ligeramente su nivel óptimo. Tanto la deficiencia como el exceso de este elemento, se traducen en la disminución del rendimiento y el deterioro de la calidad de los cultivos (Mancilla-Villa *et al.*, 2014). En la Figura 7 se presenta la concentración de boro en agua y suelo.

Para México el límite máximo establecido en los criterios ecológicos de la calidad del agua es

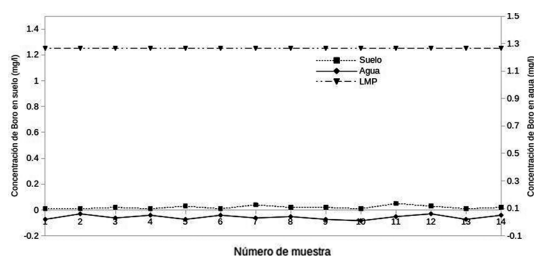


Figura 7. Concentración de Boro en muestras de agua y suelo.

de 1 mg L^{-1} dato que coincide con autores como Wilcox (1958) quien establece que para cultivos semitolerantes como es el caso de aquellos que se establecen en el municipio de Tuxcacuesco, el límite permisible de Boro en agua para riego es de $1.0\text{-}2.0 \text{ mg L}^{-1}$ por lo tanto el agua y el suelo de Tuxcacuesco son aptos para la agricultura; en cuanto al suelo se requiere incrementar su fertilidad; en el caso particular del agua, es recomendable para uso doméstico y recreación (Mancilla-Villa *et al.*, 2014). La cantidad de B encontrada en ambos recursos es relevante para la agricultura que se practica en el municipio, puesto que representa un aporte como nutriente para los cultivos establecidos en la región.

Conclusiones

Los recursos agua y suelo del municipio de Tuxcacuesco son aptos para la actividad agrícola. Aun cuando los resultados mostraron que la mayoría de los valores de pH se encuentran por encima del rango óptimo para cultivos agrícolas, esto no representa mayor riesgo de alcalinidad.

Los riesgos de sodicidad y salinidad son bajos de acuerdo a los datos obtenidos en RAS y conductividad eléctrica, los valores de CSR se encuentran dentro del rango establecido como aceptable, se consideran en este campo a ambos recursos de buena calidad.

El contenido de Boro se presentó por debajo de los valores de toxicidad, la concentración de este elemento en el agua y suelos agrícolas es un aporte como micronutriente para los cultivos.

En el caso particular de la fertilidad del suelo los niveles de materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo y Potasio, se encuentran bajos, esto puede afectar en el rendimiento y la calidad de los cultivos, para elevar las concentraciones de esos nutrientes y materia orgánica, se recomiendan generar prácticas alternativas como el uso de excretas de ganado, aprovechamiento de residuos vegetales o uso de compostas y abonos orgánicos.

Literatura Citada

APHA

1995. Standard methods for examination of water and wastewater. APHA (American Public Health Association), WMA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), Washington D.C., USA. 1035 pp.

Arroyo, M.; Quesada, J.; Quesada, R. & Geocisa, J.

2004. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *Geocisa. División de Protección Ambiental, Guadalajara-México*. 4 (5): 297-305.

Ayers, R.S. y Westcot

1987. La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO, Riego y Drenaje 29 Rev. 1. Trad. Al español por J.F. Alfaro de: Water Quality and use agriculture.

Buccaro, K.; Degorgue, M.; Lucca, M.; Picone, L.; Zamuner, E. & Andreoli, Y.

2006. Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. Argentina, INTA. 35 (3): 95-110.

Can, Á.C.; Ayala, C.R.; Escobar, M.O.; López, C.T. & Díaz, J.C.

2008. Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, estado de Hidalgo, México. *Terra Latinoamericana*. 26 (3): 243-252.

Durov, S.A.

1948. Natural waters and Graphic representation of their composition. Dokl. Akad. Nauk SSSR. 59: 87-90.

IIEG.

2015. Tuxcacuesco Diagnostico del Municipio. Instituto de Información Estadística y Geografía. Jalisco. 1-33.

Islam, A.K.M.S., Edwards, D.G., & Asher, C.J.

1980. pH optima for crop growth. *Plant and Soil*. 54 (3): 339-357.

Iturri, M.P., en Manejo, D., de Suelos, C., & Aguas, E.R.D.I.

1999. Los recursos de agua y suelo para la agricultura y el desarrollo rural. *Revista Comunitica*. 4 (11), 35-50.

Julca-Otiniano, A.; Meneses-Florián, L.; Blas-Sevillano, R. & Bello-Amez, S.

2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*. 24(1): 49-61.

Mancilla-Villa, O.R.; Fregoso Zamorano, B.; Hueso-Guerrero, J.;

Guevara-Gutierrez, R.D.; Palomera-García, C.; Olguin-Lopez, J.; Ortega-Escobar, H. & Fallad-Chavez, J.

2015. Metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería. *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico* 2(3): 235-242.

Mancilla-Villa, O.R.; Bautista-Olivas, A.L.; Ortega-Escobar, H.M.; Ramírez-Ayala, C.; Reyes-Ortigoza, A.L.; Flores-Magdaleno, H.; González-Eguiarte, D.R. & Guevara-Gutiérrez, R.D.

2014. Content of Boron in Surface Water in Puebla, Tlaxcala, and Veracruz. *Water Technology and Sciences* (in Spanish). 5 (5): 97-109.

- Mau, Y. & Porporato, A.
2015. A dynamical system approach to soil salinity and sodicity. *Advances in Water Resources*. 83: 68-76.
- Mickelbart, M. and M.L. Arpaia
2002. Rootstocks influence changes in ion concentrations, growth, and photosynthesis of Hass avocado trees in response to salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 127: 649-655.
- Nishanthiny, S.C.; Thushyanthy, M.; Barathithasan, T. & Saravanan, S.
2010. Irrigation water quality based on hydro chemical analysis, Jaffna, Sri Lanka. *Am Eurasian J Agric Environ Sci*. 7 (1): 100-102.
- Otero, L.; Francisco, A.; Gálvez, V.; Morales, R.; Sánchez, I.; Labaut, M. & Rivero, L.
2008. Caracterización y evaluación de la salinidad. 1-9.
- Richards, L.A. (Editor).
1973. Suelos Salinos y Sódicos. Personal del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América. *Manual de Agricultura*, 60. P. 172.
- Romero, M.P.; Santamaría, D.M. & Zafra, C.A.
2009. Bioengineering and soil: microbiological abundance, pH and electrical conductivity under three strates of erosion. *Umbral Científico* (15), 67-74.
- Schlegel, A.J. & Grant, C.A.
2006. Soil fertility. *Dryland agriculture*. 2: 141-194.
- Sims, J.T.; Pierzynski, G.M.
2005. Chemistry of phosphorous in soils. In: Tabatabai, M.A., Sparks, D.L. (Eds.), *Chemical Processes in Soils*. n 8 in the Soil Science Society of America Books Series. *Soil Science Society of America*. 151-192.
- Sharma, D.R. and Minhas, P.S.
1998. Effect of irrigation with sodic waters of varyng EC, RSC and SAR/adj. SAR on soil properties and yield of cotton-wheat. *J. Imdian Soc. Soil Sci*, 46 (1):116-119.
- Vitoria, H., & Natera, J.R.M.
2007. Relación de la calidad fisiológica de semillas de maíz con pH y conductividad eléctrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 39 (2): 91-100.
- Warrence, N.J.; Bauder, J.W. & Pearson, K.E.
2002. Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. Departement of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University-Bozeman, MT. 1-29.
- Wilcox, L.V.
1958. Water Quality from the Standpoint of Irrigation. *Journal (American Water Works Association)*. 50 (5): 650-654.
- Zörb, C.; Senbayram, M. & Peiter, E.
2014. Potassium in agricultura-status and perspectives. *Journal of plant physiology*. 171 (9): 656-669.

