

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL OSMÓTICO MEDIANTE DIFERENTES FORMULACIONES, EN CUERPOS DE AGUA DE TLAXCALA, PUEBLA Y VERACRUZ, MÉXICO

Oscar Raúl Mancilla-Villa, Edna Karen Medina-Valdovinos, Héctor Manuel Ortega-Escobar, Rubén Darío Guevara-Gutiérrez, Eva Judith Hueso-Guerrero, José Luis Olguín-López, Jalil Fallad-Chávez y José De Jesús Huerta Holague.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar resultados de potencial osmótico obtenidos con distintas fórmulas, comparándolos con valores arrojados por el osmómetro como metodología de referencia. Se determinó también la calidad de las aguas muestreadas, basándose en los resultados de CE y pH. Se colectaron muestras en distintos cuerpos de agua en los estados mexicanos de Tlaxcala, Puebla y Veracruz. Se realizaron muestreos en otoño de 2009, 2010 y 2011, colectándose 548 muestras. A cada muestra se realizaron 13 determinaciones fisicoquímicas: pH, temperatura, presión osmótica; y las restantes corresponden a iones (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}). Para determinar la presión osmótica se utilizaron las ecuaciones de Richards, una

combinación de las leyes de Boyle, de Charles y de Avogadro, la propuesta por Castillo en 2003 y los valores obtenidos con el osmómetro. Referente a concentración iónica en las tres sesiones de muestreo se obtuvieron resultados similares: entre los cationes predominaron Mg^{2+} y Na^+ , y en aniones, Cl^- y HCO_3^- . En CE, el 84% de las muestras se encontraron por debajo de $2000\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, lo que significa que son aguas aptas para uso agrícola teniendo en cuenta la concentración de sales; el 14% restante alcanzaron valores hasta de $9000\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. El 69% de las muestras tuvieron $\text{pH} > 7$. La diferencia entre valores arrojados por los cuatro métodos de cálculo fue mínima y todos los valores fueron inferiores a 1,0Mpa, con un rango de 0,028 a 0,71Mpa.

Introducción

En 2011 se reportó que México recibe $\sim 1,489 \times 10^6 \text{m}^3$ de agua en forma de precipitación al año, tomando en cuenta evapotranspiración, escurrimiento en ríos y arroyos, y los flujos de salida y de entrada de agua con los países vecinos; el país anualmente cuenta con $471,5 \times 10^9 \text{m}^3$ de agua dulce renovable de

los cuales se destinan $\sim 80\%$ para riego agrícola en más de $6 \times 10^6 \text{ha}$ (CONAGUA, 2014). Existen problemas en las distintas zonas agrícolas de riego: la salinización o sodificación de los suelos, la contaminación y sobreexplotación de cuerpos de agua, tanto naturales como subterráneos y superficiales, que se reflejan en un déficit hídrico del suelo, y que son problemas que

limitan de forma directa la supervivencia, crecimiento y productividad de las plantas, y disminuyen los rendimientos de los cultivos agrícolas (Chen y Jiang, 2010).

Dentro del suelo, el agua está involucrada en muchos procesos diferentes. Algunos parecen ser puramente físicos, otros parecen ser de naturaleza predominantemente química, y otros parecen funcionar de

manera simultánea. El aprovechamiento de este recurso entre el suelo y la atmósfera se ve afectado por la presión osmótica de los solutos disueltos, ya que la actividad del agua depende del efecto osmótico, la presencia de solutos y del potencial matricial (Lira-Mendez, 2006). El potencial osmótico es igual en magnitud pero opuesto en signo a la presión osmótica (Day *et al.*, 1967).

PALABRAS CLAVE / Conductividad Eléctrica / Distribución Iónica / Potencial Osmótico /

Recibido: 23/06/2017. Modificado: 20/08/2018. Aceptado: 22/08/2018.

Oscar Raúl Mancilla Villa (Autor de correspondencia). Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios, Universidad de Guadalajara (UdG), México. MC y Doctor en Ciencias en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor Investigador, UdG, México. Dirección: Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR), UdG. Av. Independencia Nacional 151, C.P. 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México. e-mail: oscar.mancilla@academicos.udg.mx

Edna Karen Medina Valdovinos. Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios, UdG).

Héctor Manuel Ortega Escobar. Doctor en Ciencias, Instituto de Agroquímica y Pedología, Academia de Ciencias de la República Ex-Soviética de Uzbekistán. Profesor Investigador COLPOS, México. e-mail: manueloe@colpos.mx

Rubén Darío Guevara Gutiérrez. Ingeniero Agrónomo y MC en Edafología, Colegio de Postgraduados, México Campus Montecillo. Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, Uni-

versidad de Puebla, México. Profesor Investigador, UdG, México. e-mail: rguevara@cucsur.udg.mx

Eva Judith Hueso Guerrero. Licenciada en Biología, UdG, México. MC en Ciencias Animales y Doctora en Ciencias en Biotecnología y Control Biológico, Universidad de Colima, México. Profesora, UdG. e-mail: jhueso@cucsur.udg.mx

José Luis Olguín López. MC en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, México. Profesor Investigador, UdG, México. e-mail: olguin@cucsur.udg.mx

Jalil Fallad-Chávez. Licenciado en Biología, UdG, México. M.Sc. en Tecnología Instruccional, University of Houston, EEUU. Ph. D. en Aprendizaje Organizacional y Tecnología Instruccional, University of New México, EEUU.

José de Jesús Huerta Olague. Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios, UdG, México. Consultor particular. e-mail: jhuertaolague@hotmail.com

ESTIMATION OF THE OSMOTIC POTENTIAL THROUGH DIFFERENT FORMULATIONS, IN BODIES OF WATER FROM TLAXCALA, PUEBLA AND VERACRUZ, MEXICO

Oscar Raúl Mancilla-Villa, Edna Karen Medina-Valdovinos, Héctor Manuel Ortega-Escobar, Rubén Darío Guevara-Gutiérrez, Eva Judith Hueso-Guerrero, José Luis Olguín-López, Jalil Fallad-Chávez and José De Jesús Huerta Holague.

SUMMARY

The aim of this study was to compare osmotic potential results obtained with different formulas, comparing them with values shown by the osmometer as a reference methodology. The quality of the sampled waters was also assessed, based on the results of EC and pH. Samples were collected from different water bodies in the Mexican states of Tlaxcala, Puebla and Veracruz. Samples were taken in autumn 2009, 2010 and 2011, and a total of 548 samples were collected. In each sample, 13 physicochemical determinations were performed: pH, temperature, osmotic pressure; and the rest corresponded to ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}). To determine the osmotic pressure were used

the Richards equations, a combination of Boyle's, Charles's and Avogadro's Laws, Castillo's proposal in 2003, and the values obtained with the osmometer. Regarding ionic concentration in the three sampling sessions similar results were obtained; among cations Mg^{2+} , Na^+ predominated and among anions, Cl^- and HCO_3^- . In EC, 84% of the samples were below $2000\mu S\cdot cm^{-1}$, which means that they are suitable for agricultural use in terms of salt concentration, and the remaining 14% reached values up to $9000\mu S\cdot cm^{-1}$. Of the samples 69% had $pH > 7$. The difference between values thrown by the four calculation methods was minimal, as all values are less than 1.0MPa in a range of 0.028 to 0.71MPa.

ESTIMATIVA DO POTENCIAL OSMÓTICO MEDIANTE DIFERENTES FORMULAÇÕES, EM CORPOS DE ÁGUA DE TLAXCALA, PUEBLA E VERACRUZ, MÉXICO

Oscar Raúl Mancilla-Villa, Edna Karen Medina-Valdovinos, Héctor Manuel Ortega-Escobar, Rubén Darío Guevara-Gutiérrez, Eva Judith Hueso-Guerrero, José Luis Olguín-López, Jalil Fallad-Chávez e José De Jesús Huerta Holague.

RESUMO

O objetivo do estudo foi comparar resultados do potencial osmótico obtidos com diferentes fórmulas, com valores mostrados pelo osmômetro como metodologia de referência. Determinou-se também a qualidade das águas da amostragem, baseados nos resultados de CE e pH. Coletaram-se amostras em diferentes corpos de água nos estados mexicanos de Tlaxcala, Puebla e Veracruz. Realizaram-se amostragens em outono de 2009, 2010 e 2011, coletando-se 548 amostras. Para cada amostra se realizaram 13 determinações físicoquímicas: pH, temperatura, pressão osmótica; e as restantes correspondem a íons (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}). Para determinar a pressão osmótica se utilizaram as equações

de Richards, uma combinação das leis de Boyle, de Charles e de Avogadro, a proposta por Castillo em 2003 e os valores obtidos com o osmômetro. Em relação à concentração iônica nas três sessões de amostragem foram obtidos resultados similares: entre os cátions predominaram Mg^{2+} e Na^+ , e em ânions, Cl^- e HCO_3^- . Em CE, 84% das amostras ficaram abaixo de $2000\mu S\cdot cm^{-1}$, o qual significa que são águas aptas para uso agrícola levando em conta a concentração de sais; o 14% restante alcançou valores de até $9000\mu S\cdot cm^{-1}$. 69% das amostras tiveram $pH > 7$. A diferença entre valores medidos pelos quatro métodos de cálculo foi mínima e todos os valores foram inferiores a 1,0Mpa, dentro de um intervalo de 0,028 a 0,71Mpa.

El efecto osmótico de soluciones acuosas y extractos de suelo es proporcional a la concentración de solutos de estas soluciones. En una gran cantidad de casos, la presión osmótica es la que condiciona la salinidad de las diferentes aguas naturales y extractos de suelos. El efecto osmótico de las soluciones acuosas está relacionado con la concentración total de sales y no tanto con las concentraciones específicas de uno u otro componente; la presión osmótica es una propiedad coligativa de las soluciones salinas (Strogonov, 1964).

El objetivo del presente estudio fue comparar resultados de potencial osmótico obtenidos

con distintas fórmulas a la par de los valores arrojados por el osmómetro como metodología de referencia, y por otro lado se determinó la calidad de las aguas muestreadas basándose en los resultados de conductividad eléctrica y pH.

Metodología

El área de estudio se halla ubicada en los estados de Tlaxcala, de Puebla y la parte centro-norte del estado de Veracruz, México (Figura 1), entre $22^{\circ}15'$ y $18^{\circ}00'N$ y entre $96^{\circ}45'$ y $99^{\circ}00'O$. Una parte considerable de las aguas de los ríos y manantiales muestreados son utilizadas para riego y uso

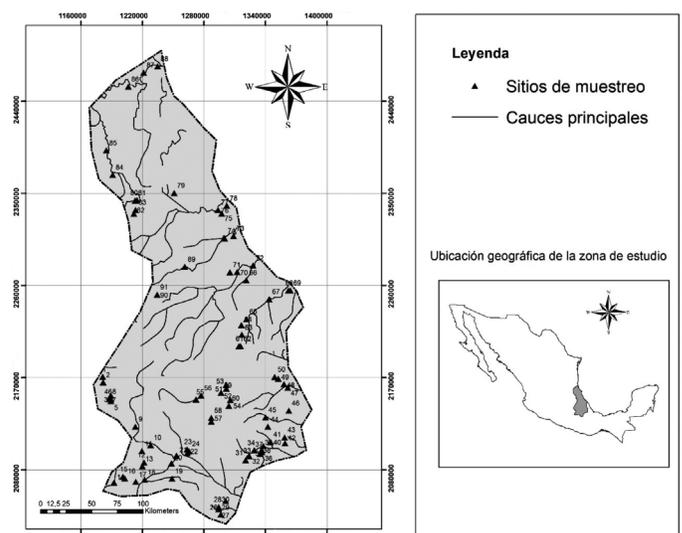


Figura 1. Recorridos y muestreos realizados en 2009, 2010 y 2011.

doméstico. Estos ríos y manantiales fueron, en Tlaxcala: manantial El Carmen y ríos Antoyac y Zapoapan; en Puebla: ríos Atoyac, Izúcar, Salado y Chiahutla; en Veracruz: ríos Blanco, San Miguel, Chocama, Coscomatepec, Pescados, Consolapa, Alseseca, Tlapacoyan, Filobobos, Nautla, Tacolutla, Cazonas, Tuxpan, Tempoal, Pánuco y Tampico, y manantiales Nogales, Ojo de agua, Puente de Dios y Pancho Pozas. Los ríos y manantiales que se muestrearon se encuentran en altitudes de 1 a 3000m. En el mapa de la Figura 1 se muestran los estados en lo que se realizaron los muestreos.

Para conocer las características fisicoquímicas de estas aguas, se llevó a cabo una investigación de tipo observacional, prospectiva, transversal y descriptiva.

Se realizaron tres muestreos en los otoños de 2009, 2010 y 2011, y se colectaron un total de 548 muestras. La toma de muestras se realizó a lo largo del recorrido de los ríos principales de Tlaxcala, Puebla y la parte centro-norte de Veracruz. Las muestras se tomaron en canales de riego, pozos, presas, lagos, ríos, arroyos, manantiales y drenes. El recorrido de las expediciones en campo, inició en Tlaxcala, pasando por Puebla y Veracruz, para concluir en Puebla nuevamente. Se utilizaron recipientes de plástico de 0,5 litros, tomándose dos muestras de cada sitio o estación de muestreo, para realizar las determinaciones en el laboratorio de ciencias ambientales del Colegio de Postgraduados, Montecillo. En cada muestra se realizaron 13 determinaciones fisicoquímicas: pH, temperatura, presión osmótica y las nueve restantes corresponden a iones (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}). En la Tabla I, se presentan dichas determinaciones con la indicación de los métodos empleados para cada una.

Para determinar el potencial osmótico de las soluciones acuosas se utilizaron las ecuaciones de Richards (1990), una combinación de las Leyes de Boyle, de Charles y de Avoga-

Determinación	Método	Referencia
pH	Potenciométrico, con potenciómetro marca Beckman, modelo Hoffman Pinther Boswork	Eaton <i>et al.</i> , 1995
Conductividad eléctrica	Conductimetría, mediante conductímetro con puente de Wheatstone con celda de vidrio	Richards, 1990
Sodio y potasio	Flamometría, mediante flamómetro IL Autocal Flame Photometer 643, $L=589\text{nm}$, calibrado con soluciones estándar de $145\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para Na y de $5\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para K	APHA, 1995 3500-Na y K, D
Calcio y Magnesio	Volumétrico, mediante titulación con EDTA y Eriocromo Negro T como indicador, para $\text{Ca} + \text{Mg}$ y Murexida para Ca	APHA, 1995 3500-Ca, D
Carbonatos	Volumétrico, mediante titulación con ácido sulfúrico y fenolftaleína como indicador	APHA, 1995 2320 B
Bicarbonatos	Volumétrico, mediante titulación con ácido sulfúrico y Anaranjado de Metilo como indicador	APHA, 1995 2320 B
Cloruros	Titulación con nitrato de plata y cromato de potasio al 5% como indicador	APHA, 1995 4500-C-IB
Sulfatos	Turbidimetría, mediante espectrofotómetro modelo Perkin Elmer 35, $L=420\text{nm}$	APHA, 1995 4500-SO 4 E
Presión osmótica	Osmómetro modelo VAPRO 5520, calibrado con optimol ($100, 290$ y $1000\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Wescor, 1985

dro (Chang, 2007) y la propuesta por Castillo (2003), así como los valores obtenidos con el osmómetro funcionando como referencia.

Resultados y Discusión

Concentración iónica

En los esquemas longitudinales de las composiciones iónicas de los tres muestreos de campo, no se colocaron las muestras de agua de los lagos-cráter de Alchichica, Atexcac, San Miguel Tecuitlapa, Zapotitlán de Salinas y las que corresponden a las aguas marinas debido a que poseen una alta concentración salina.

Los resultados referentes a la composición iónica y alta concentración total electrolítica de las diferentes aguas se describen desde la perspectiva de la calidad del agua y los efectos de estas aguas en los suelos. En la Figura 2 se muestran las concentraciones iónicas obtenidas en los muestreos de agua. Esta forma de presentar los iones permite observar con mayor claridad la predominancia de los iones en las muestras de agua en cada sitio de muestreo a lo largo de los recorridos de las tres expedicio-

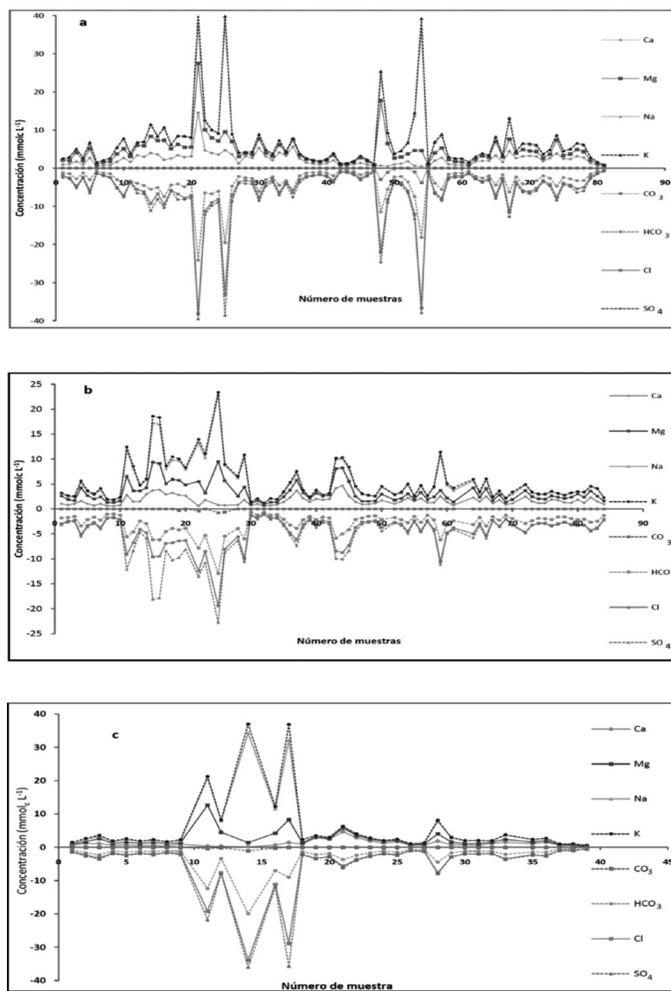


Figura 2. Distribución catiónica y aniónica de las aguas superficiales de Tlaxcala, Puebla y Veracruz muestreos de 2009 (a), 2010 (b) y 2011 (c).

nes por los estados de Tlaxcala, Puebla y Veracruz.

En las tres sesiones de muestreo se obtuvieron resultados similares en cuanto a la concentración iónica. Entre los cationes predominaron el Mg^{2+} y el Na^+ y por parte de los aniones, Cl^- HCO_3^- . Información similar reportaron Can-Chulim *et al.* (2008) en Tulancingo, Hidalgo. Por otra parte Can-Chulim *et al.* (2014) encontraron predominancia de Mg^{2+} y HCO_3^- en la Sierra Norte de Puebla, México.

Referente al Cl, algunas muestras alcanzan concentraciones de hasta $20\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, lo que significa que estas aguas no son recomendables para uso agrícola, ya que el Cl puede acumularse en cantidades perjudiciales en las hojas (Pizarro, 1985; Ayers y Westcot, 1987). Además, las altas concentraciones de Cl producen quemaduras en las hojas de cultivos como el tomate, pimiento, papa y vid (Mass, 1984) y también disminuyen la fotosíntesis e inhiben la absorción de nitratos (Zekri y Parsons, 1992). Valores de Cl y Na por encima de $3.9\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ resultan tóxicos para diversos cultivos (Bonet *et al.*, 2011).

Alrededor de 35 de las muestras analizadas tienen valores de Na $>4\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Altos niveles de Na, interrumpen distintas reacciones enzimáticas en el citoplasma (Blaha *et al.*, 2000). La toxicidad metabólica del sodio está asociada a perturbaciones en la membrana celular y a la competencia por los sitios de enlace de K, esencial para el metabolismo (Bhandal y Malik, 1988; Cerdá *et al.*, 1995; Castorena *et al.*, 2006). Una alta concentración de Na desplaza los iones Ca de los sitios de enlace de la membrana celular en la raíz y altera su permeabilidad, lo que causa una salida de K de las células y favorece la entrada de Na (Alam, 1994; Cramer *et al.*, 1994; Castorena *et al.*, 2006).

En el caso de los bicarbonatos, a pesar de ser HCO_3^- , el ion predominante, salvo por ocho muestras, sus concentraciones no rebasan los $10\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, valor en el que influye en el aumento del

pH, lo que puede provocar salinización de los suelos en suelos regados con esas aguas (Balmaseda y García, 2013; Can-Chulim *et al.*, 2014).

CE y pH

Ambos parámetros hacen referencia a las condiciones que afectan la relación suelo-planta, y a la calidad y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y los microorganismos (Romero *et al.*, 2009). En la Figura 3 se representaron los valores promedios de conductividad eléctrica y pH. De las muestras analizadas, el 84% se encuentran por debajo de $2000\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, lo que significa que son aguas aptas para uso agrícola en lo referente a la concentración de sales, aunque algunos cultivos sensibles pueden verse afectados negativamente, por lo cual es importante tener drenaje y lavado eficientes. Algunas muestras en 16% restante alcanzan valores $>9000\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; el empleo de esta agua es una excepción y en pocas ocasiones se tienen buenas cosechas, únicamente los cultivos más tolerantes a las sales se pueden desarrollar adecuadamente. Cuando la conductividad eléctrica se encuentra por encima de $2250\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ se obtienen cosechas insatisfactorias en rendimiento y calidad (Richards, 1973).

En total, 63 de 91 muestras tienen un pH >7 , valor del parámetro en que la mayoría de los cultivos presentan problemas en rendimiento y calidad, sobre todos aquellos que son sensibles y, en el caso del maíz (*Zea mays*), el crecimiento de los individuos se ve negativamente afectado (Islam *et al.*, 1980).

Potencial osmótico

La diferencia entre valores obtenidos con las tres distintas fórmulas propuestas para la estimación de presión osmótica y los valores obtenidos con el osmómetro para la estimación de la presión osmótica, no es significativa; todos los valores se encuentran por debajo de 1,0Mpa (Figura 4) en un rango de 0,028 a 0,71MPa (0,28-

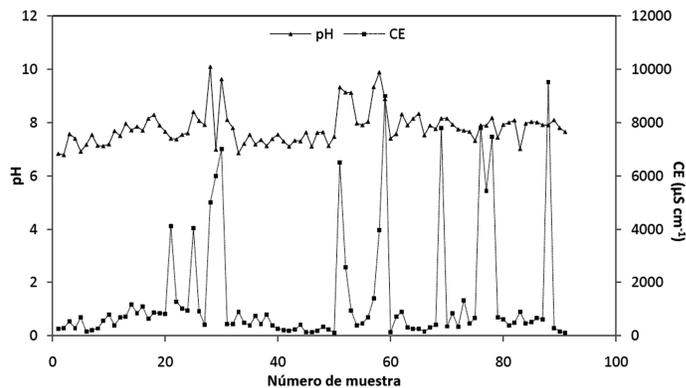


Figura 3. Conductividad eléctrica y pH medidos en las aguas superficiales de los estados de Tlaxcala, Puebla y Veracruz (promedio de muestreos 2009, 2010, 2011).

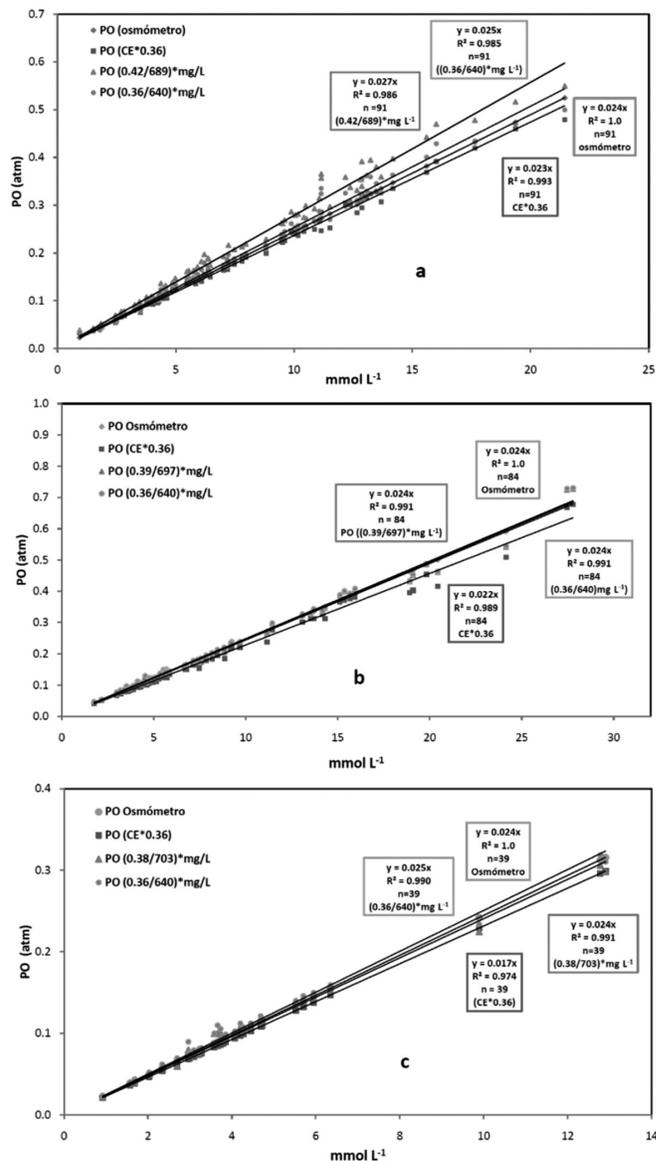


Figura 4. Relación de la presión osmótica experimental (atm) determinada con diferentes métodos y la concentración de las soluciones acuosas ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) de Tlaxcala, Puebla y Veracruz en los muestreos de 2009 (a), 2010 (b) y 2011 (c).

0,71atm). En ambientes como éstos, de bajo estrés osmótico con valores desde cero a cerca de -1,0 MPa, donde el ambiente del suelo empieza a descender por debajo del 99% de humedad relativa (Papendick y Campbell, 1981), la tasa de germinación es cercana a lo máximo esperado en diversas especies de cultivos agrícolas (Rogers y Dubetz, 1980). Los valores bajos de potencial osmótico también significan que las plantas invierten una menor cantidad de energía en ajuste osmótico (Munns y Gilliam, 2015).

El crecimiento de algunos cultivos como *Triticum aestivum* L. tienen mayor porcentaje de germinación, en un periodo de 3 a 4 días, cuando el potencial osmótico ronda -1.1 Mpa y si éste aumenta a -1.6 MPa el tiempo de germinación se retrasa un día más (Wuest y Lutchter, 2013). También respecto al porcentaje de germinación, hay estudios que sugieren que un determinado tamaño de la semilla de garbanzo puede estar relacionado con la tolerancia a condiciones de salinidad (Soltani *et al.*, 2002) mientras que otros autores como Dodd y Donovan (1999) han corroborado que un incremento de la salinidad generalmente reduce la germinación y, también, la supervivencia de las plantas se dificulta (Daubermire, 1990).

Conclusiones

En cuanto a la concentración iónica, los valores más elevados de los iones predominantes rebasan los límites reportados por distintos autores, lo que pone en peligro el desarrollo correcto de los cultivos que se establezcan en los sitios de muestreo donde se obtuvieron dichos valores, en cuanto a salinidad y toxicidad, esto solo para dichos sitios de muestreo. Los puntos de colecta restantes presentan valores inferiores a los límites permisibles reportados en la literatura.

De acuerdo con los valores obtenidos para el potencial osmótico el nivel de estrés provocado por la presencia de

sales en general, no representaría peligro para la mayoría de los cultivos. El bajo estrés osmótico representa también un ahorro de energía por parte de las plantas en dirección al aprovechamiento de agua relacionado con el ajuste osmótico. Lo anterior se traduce en un mayor rendimiento y calidad de los cultivos.

Las tres metodologías utilizadas son viables para su empleo en la estimación del potencial osmótico, puesto que la diferencia en comparación con los valores obtenidos con el osmómetro fue mínima. Cada fórmula trabaja con distintos parámetros, lo que representa una ventaja en caso de no disponer de los valores de uno u otro factor.

REFERENCIAS

Aceves-N E, Stolzy LH, Mehuys GR (1975) Effects of soil osmotic potential produced with two salt species on plant water potential, growth, and grain yield of wheat. *Plant Soil* 42: 619-627.

Alam SM (1994) Nutrient uptake by plants under stress condition. En Pessaraki M (Ed.) *Handbook of Plant and Crop Stress*. Dekker. Nueva York, EEUU. pp. 227-243.

Ayers RS, Westcot DW (1987) *La Calidad del Agua y sus Usos en la Agricultura*. Trad. por JF Alfaro de *Water Quality and Use in Agriculture*. Estudio FAO, Riego y Drenaje 29, rev. 1.

Balmaseda EC, García HY (2013) Calidad de las aguas de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas para el riego. *Cult. Trop.* 34(4): 68-73.

Bhanda IS, Malik CP (1988) Potassium estimation, uptake and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. *Int. Rev. Cytol.* 110: 205-254.

Blaha G, Stelzl U, Spahn CM, Agrawal RK, Frank J, Nierhaus KH (2000) Preparation of functional ribosomal complexes and effect of buffer conditions on tRNA positions observed by cryoelectron microscopy. *Meth. Enzymol.* 317: 292-309.

Bonet Pérez C, Calzadilla, R, Martha P (2011) Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas. *Rev. Cs. Técn. Agropec.* 20(3): 19-23.

Can-Chulim Á, Ramírez-Ayala C, Ortega-Escobar M, Trejo-López C, Cruz-Díaz J (2008) Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, estado de Hidalgo, México. *Terra Latinoam.* 263: 243-252.

Can-Chulim Á, Ortega-Escobar M, Sánchez BE, Cruz-Crespo E (2014) Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla. *Tecnos. Agua* 5(5): 77-96.

Castillo LF (2003) *El Fenómeno Mágico de la Osmosis*. 3ª ed. La Ciencia para Todos N° 16. Fondo de Cultura Económica. México. pp. 32-38.

Castorena MV, Valencia EAC, Ibarra, MAI, Ulery AL (2006) Absorción y traslocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Fitotecn. Mex.* 29: 79-88.

Cerdá AJ, Pardines M, Botella MA, Martínez V (1995) Effect of potassium on growth, water relations, and the inorganic and organic solute contents for two maize cultivars grown under saline conditions. *J. Plant Nutr.* 18: 839-851.

Chang R (2007) *Química*. 9ª ed. McGraw Hill. México. 1063 pp.

Chen H, Jiang JG (2010) Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environ. Rev.* 18: 309-319.

Cramer GR, Alberico GJ, Schmidt C (1994) Salt tolerance is not associated with sodium accumulation of two maize hybrids. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 675-692.

CONAGUA (2014) *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2014. Comisión Nacional del Agua. México. 239 pp.

Daubermire R (1990) *Ecología Vegetal*. Limusa. México. 66 pp.

Dodd G, Donovan L (1999) Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *Am. J. Bot.* 86: 1146-1153.

Eaton AD, Clesceri LS, Greenberg (1995) Standard methods for the examination of water and wastewater. 19ª ed. APHA, AWWA, WEF. Washington, DC, EEUU. 1325 pp.

Islam AKMS, Edwards DG, Asher CJ (1980) pH optima for crop growth. *Plant Soil* 54: 339-357.

Lira-Méndez K, Mayek-Pérez N (2006) Potencial osmótico variable en el crecimiento in vitro y la patogenicidad en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de *Fusarium* spp. *Rev. Mex. Fitopatol.* 24: 88-96.

Mass EV (1984) Salt tolerance of plants. En Christie BR (Ed.) *The Handbook of Plant Science in Agriculture*. CRC. Boca Raton, FL, EEUU.

Munns R, Gilliam M (2015) Salinity tolerance of crops - what is the cost? *New Phytol.* 208: 668-673.

Papendick RI, Camprell GS (1981) Theory and measurement of water potential. En Parr JF, Gardner WR, Elliot LF (Eds.) *Water Potential Relations in Soil Microbiology*. Soil Science Society of America. pp. 1-22.

Pizarro F (1985) *Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos*. 2ª ed.. Agrícola Española. Madrid, España. 524 pp.

Richards LA (1973) Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. 6ª reimpr. Manual de Agricultura N° 60. Laboratorio de Salinidad. Departamento de Agricultura de los EEUU. Limusa. México. 172 pp.

Richards LA (1990) Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. 6ª reimpr. Manual de Agricultura N° 60. Laboratorio de Salinidad. Departamento de Agricultura de los EEUU. Limusa. México. 172 pp.

Romero MP, Santamaría DM, Zafra CA (2009) Bioingeniería y suelo: abundancia microbiológica, pH y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral Científico* (15): 67-74.

Soltani A, Galeshi S, Zeinali E, Latifi N (2002) Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Technol.* 30: 51-60.

Strogonov BP (1964) Physiological basis of salt tolerance of plants (as affected by various types of salinity). Trad. de la edición rusa (1962) por Poljakoff-Mayber A y Mayer AM. Davey. Nueva York, EEUU. 285 pp.

Rogers RB, Dubetz S (1980) Effect of soil-seed contact on seed imbibition. *Can. Agric. Eng.* 22: 89-92.

Wescor (1985) *Vapor pressure Osmometer. Wescor model 5500. User's Manual*. Loga, UT, EEUU. 16 pp.

Wuest SB, Lutchter LK (2013) Soil water potential requirement for germination of winter wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77: 279-283.

Zekri M, Parsons LR (1992) Salinity tolerance of citrus rootstocks. Effects of salt on root and leaf mineral concentrations. *Plant Soil* 147: 171-181.