

Relación de adsorción de sodio de los lagos cráter en Puebla, México

Héctor Manuel Ortega Escobar²; Fabiel Vazquez Cruz ^{*2}; Jessica Chávez Trujano²

¹Colegio de Posgraduados, Hidrociencias. Km 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo.
C.P. 56264, Texcoco, Estado de México.
vazquez.fabiel@outlook.com - 2311087157(*Autor de correspondencia)

Resumen

Uno de los métodos más utilizados para determinar el riesgo de salinización y sodificación del suelo a partir de la composición del agua de riego es la clasificación del U.S. Salinity Laboratory (USLS), que utiliza la conductividad eléctrica y el RAS del agua de riego.

Se realizaron muestreos y determinaciones fisicoquímicas de iones del agua. El sodio (Na^+) y el magnesio (Mg^{2+}) son los iones más dominantes. Las clasificaciones de la RAS resultantes muestran que estas aguas no son recomendables por la concentración alta del ion sodio, a excepción de los maars Quechulac y Aljojuca que son condicionadas.

La ecuación usada para la evaluación de la relación de adsorción de sodio (RAS) fue la RAS corregida. Esta ecuación toma en cuenta las variaciones del ion calcio en la solución del suelo. El valor mínimo calculado de la RAS corregida fue de 1.75 y el máximo de 23.79. El valor mínimo de la CE medida fue de 1.02 dS m^{-1} y el valor máximo de 15.6 dS m^{-1} , en su mayoría las aguas de los lagos cráter se clasifican en S4-C4 y S1-C3. El Ca^{2+} es importante en la estabilidad de las propiedades físicas del suelo y especialmente de la conductividad hidráulica; su disponibilidad es afectada por la solubilización y la precipitación en presencia de los bicarbonatos.

Palabras claves: maar, salinidad, concentración iónica, adsorción.

Introducción

La mayor parte de México se sitúa en una zona de gran actividad tectónica. El eje Neovolcánico, un cinturón montañoso transversal que atraviesa el paralelo 19, es el límite geográfico y tectónico entre América del Norte y América Central (Tamayo 1962, Morán 1986).

En la Cuenca Oriental se presenta un rasgo peculiar: seis conos volcánicos cuyo origen es una explosión freatomagmática que ocasionó fallas y rupturas en los espesores saturados de alumbramientos de aguas subterráneas. El fondo está ocupado por cuerpos de agua, que reciben el nombre local de axalapascos y que son los lagos-cráter (maars) Alchichica, Quechulac, Atexcac, La Preciosa, Aljojuca y Tecuitlapa. El nivel superficial del agua de estos lagos cráter se encuentra generalmente por debajo del nivel general del suelo y su profundidad es considerable, en muchos casos hasta de más de 75.0 – 80.0 m. Su borde circundante está construido del material eyectado del cráter mismo y en algunos se encuentra una vegetación constituida por ciperáceas. Son alimentados por aguas de los mantos freáticos derivados de las sierras de Perote y del Pico de Orizaba, así como por la precipitación pluvial directa. Ambas contribuyen a conservar constante su nivel durante todo el año (CONABIO, 2021).

Los lagos cráter no presentan incidencia de aguas residuales. Por lo tanto, la composición y concentración iónica de las aguas subterráneas en la Cuenca Oriental es definida por los materiales de origen volcánico con los que tiene contacto (Can *et al.*, 2011).

Alchichica y Atexcac son lagos de cráter sin afluentes de aguas superficiales y sin salidas a la superficie. Su balance hídrico está determinado por las precipitaciones y la evaporación. Además, reciben algunas cantidades de aguas subterráneas que se filtran por la tefra porosa de sus respectivos edificios volcánicos y pueden perder agua lacustre en la masa de agua subterránea más profunda; por lo tanto, son esencialmente afloramientos de aguas subterráneas. Sus niveles de agua se ven alterados por las variaciones climáticas y (potencialmente) por la extracción de aguas subterráneas. En el caso de Alchichica, una terraza rodea el lago actual, lo que indica que el nivel de las aguas subterráneas solía ser más alto. Este nivel más alto se correlaciona con la masa de agua responsable de la precipitación de los estromatolitos que rodean el lago actual.

El agua puede causar una reducción severa en la permeabilidad de los suelos cuando su concentración de sales es muy baja ($< 0.5 \text{ ds m}^{-1}$) y, especialmente cuando es menor de 0.2 dS m^{-1}) porque es corrosiva y tiende a lavar la superficie dejándola libre de minerales solubles y sales, especialmente de Ca reduciendo su influencia fuertemente estabilizadora sobre los agregados y sobre la estructura del suelo, facilitando su dispersión y la oclusión de los poros más finos (Ayers y Westcot, 1985).

Cuando en el agua de riego hay una alta concentración de sodio este elemento aumenta el contenido de este en la solución del suelo, y, por ende, la saturación de Na intercambiable (PSI) en los espesores sedimentarios. Algunos factores de los cationes involucrados pueden influenciar el equilibrio mencionado y hacer variar la relación sodio/calcio. Generalmente, la

acumulación de Na intercambiable en los suelos a niveles superiores al 10% o 20% de la CIC trae como consecuencia el deterioro de la estructura del suelo.

El sodio tiene muchas fuentes en el agua, como las aplicaciones de sal para carreteras, las aguas residuales, los residuos de ablandamiento del agua y las aguas con un pH natural alto dominadas por el bicarbonato de sodio. Los niveles altos de sodio pueden dañar los medios de cultivo y causar diversos problemas de crecimiento de las plantas.

El sodio en exceso de 50 mg L^{-1} puede causar toxicidad en plantas sensibles, particularmente en sistemas de riego recirculante. El sodio puede evaluarse además en función de la tasa de adsorción de sodio (RAS), que se describe a continuación. El sodio es difícil de eliminar del agua ya que requiere ósmosis inversa, destilación o dilución.

De entre los sistemas desarrollados para alertar del peligro de salinización o sodificación del suelo a partir de algunos parámetros medidos en el agua de riego, uno de los más utilizados es el propuesto por Richards (1954) para el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Riverside, California). Este sistema se basa en la medida de la conductividad eléctrica del agua para determinar el riesgo de salinización del suelo y en el cálculo de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS ó, en inglés, SAR) para determinar el riesgo de sodificación o alcalinización.

Para la predicción de un problema potencial ocasionado por el sodio, se han usado una serie de criterios en el pasado, tales como el carbonato de sodio residual (CSR) y el porcentaje de sodio posible (PSP) (Ayers y Westcot, 1985) propusieron el uso de la relación de adsorción de sodio (RAS).

Según Velázquez *et al.* (2002), la RAS original no contempla las diferencias físico-químicas esenciales de los iones polivalentes de Ca^{2+} y Mg^{2+} por lo que derivado de estas circunstancias los procesos de hidrólisis se manifiestan con diferente intensidad, por otra parte se debe señalar que como los iones calcio y magnesio son divalentes entonces como consecuencia de esto, su comportamiento es similar, en los procesos de intercambio catiónico además se debe indicar que no se consideran las variaciones de concentraciones de Ca^{2+} debido a su precipitación en condiciones de $\text{pH} > 8.2$, mientras que la RAS ajustada incluye la disposición de calcio en condiciones de un pH de un suelo no sódico en equilibrio con CaCO_3 .

Ayers y Westcot (1985) recomiendan la utilización del llamado RAS ajustado calculado según el procedimiento de Suarez (1981), aunque también se puede seguir utilizando el RAS calculado mediante la fórmula clásica expuesta anteriormente. El RAS ajustado pretende tener en cuenta la variación de la concentración de Ca en el agua del suelo debido a la disolución ó precipitación de minerales carbonatados. Para el cálculo del RAS corregido según este procedimiento es necesario conocer la relación $\text{HCO}^-/\text{Ca}^{2+}$ y la conductividad eléctrica del agua de riego (Ayers y Westcot, 1985).

Materiales y Métodos

Zona de estudio

Los muestreos se llevaron a cabo en los lagos cráter de Alchichica, Quechulac, Atexcac, La Preciosa, Aljojuca y Tecuitlapa en el estado de Puebla, México. (Figura 1).

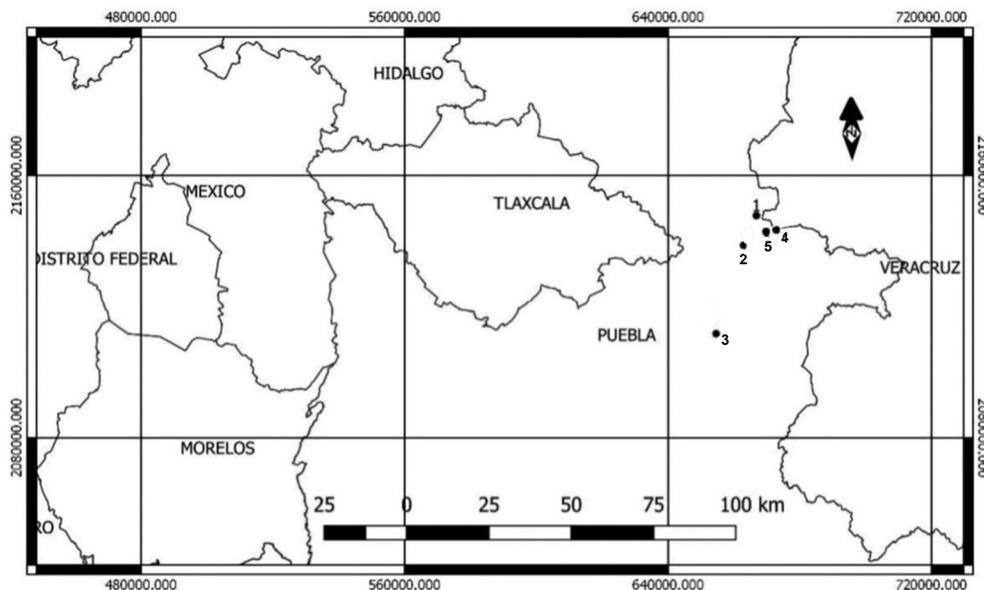


Figura 1. Localización geográfica de los lagos cráter: 1.- Alchichica, 2.- Atexcac, 3.- Aljojuca 5.- La Preciosa y 6.- Quechulac. Santoyo de la Cruz *et al.*, (2022).

Muestreo

El muestreo de aguas se realizó según lo indicado en la Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015 (Norma Mexicana, 2015), que entre otros aspectos importantes menciona que la cantidad mínima de agua que se necesita es de 0,5 L., la cual se debe almacenar en recipientes de plástico, por su resistencia y menor reacción con los iones del agua.

Análisis de laboratorio

Los análisis de aguas fueron realizados en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del área de Hidrociencias en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo; se determinó: conductividad eléctrica (CE) por conductimetría; sodio y potasio por flamometría; calcio, magnesio, carbonato, bicarbonato, cloruro por volumetría; sulfato por turbidimetría (Clesceri *et al.*, 1998);

Con los datos de laboratorio se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS) usada como medida de peligro de sodicidad de agua.

Se calcularon tres tipos de RAS: RAS original, RAS ajustado y RAS corregido.

Conclusiones

Los lagos son alcalinos, del tipo sódico y bicarbonato-carbonatado. El magnesio se encuentra en cantidades relativamente grandes. El calcio se encuentra en concentraciones muy bajas y esto se debe a las condiciones de la alcalinidad que tienen estas aguas ya que estos lagos están afectados por la actividad volcánica residual de diferente naturaleza.

El magnesio y los sulfatos precipitan en los lagos más eutróficos y alcalinos debido al aumento del pH por la fotosíntesis y por procesos impulsados por la evaporación.

Las clasificaciones de la RAS y CE son S4-C4 y S4-C3 (CE y RAS elevados) en la mayoría de los casos analizados, debido a que los lagos cráter presentan alta concentración del ion sodio, mientras que las muestras de Quechulac y Aljojuca son de calidad condicionada.

En el lago de Alchichica, el agua debe tener una elevada sobresaturación de minerales carbonatados asociada a condiciones alcalinas.

Referencias Bibliográficas

- Arredondo, F. José & Borrego, & El, & DMR, Castillo & LMA, Valladolid. (1983). Batimetría y morfometría de los lagos “Maars” de la Cuenca Oriental, Puebla, México. BIOTICA. 8. 37-47.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 p.
- Can, C.A.; Ortega, E.H.M.; García, C.N.E.; Reyes, O.A.L.; González, H.V.A. y Flores, R.D. (2011). Origen y calidad del agua subterránea en la cuenca Oriental de México. Terra Latinoamericana. (29): 2. pp. 189-200.
- Clesceri, L.S.; A.E., Greenberg & A.D., Eaton. (1998). Standard methods for examination of water and wastewater. 20 ed. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association. Water Pollution Control Federation. Washington, D.C. U.S.A. 1325 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2024, september). http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_070.html
- Eaton, F.M. (1954). Formulas for estimating leaching and gypsum requirements of irrigation waters. Texas Agr. Exp. Sta. Misc. Publ. 111.
- Kaźmierczak, J., Kempe, S., Kremer, B. (2011). Hydrochemistry and microbialites of the alkaline crater lake Alchichica, Mexico. Facies 57, 543–570. <https://doi.org/10.1007/s10347-010-0255-8>
- Millero, F.J. (1975). Seawater as multicomponent electrolyte solution. The sea Vol.5 Ch.1, En: E.D. Golberg, Jhon Wiley and Sons, New York. USA.380 p.

