



RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DEL VALLE DEL MEZQUITAL REGADOS CON AGUAS RESIDUALES

Mendoza-Saldivar, I.^a, Ortega-Escobar, H. M.^b, Romero-López, M. R.^a

^aInstituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. Programa de Ingeniería Civil. Apan, Hidalgo, C.P. 43900. imendoza@itesa.edu.mx

^bColegio de Postgraduados. Programa de Hidrociencias. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230.

Recibido 1 de noviembre 2016; aceptado 13 de diciembre 2016

Palabras clave:

Relación de adsorción de sodio, agua residual, cultivos agrícolas

RESUMEN: La reutilización de las aguas negras en la agricultura tanto de procedencia doméstica, como urbano-industriales; se considera benéfica en el manejo de los cultivos agrícolas debido a que ayuda a reducir los requerimientos de fertilizantes químicos. Sin embargo, el riego de aguas residuales en cultivos agrícolas, conlleva a tres tipos de problemas en los suelos: 1. acumulación de diferentes fracciones de metales pesados, 2. acumulación de sales solubles y 3. desarrollo de procesos de sodicidad que propician la dispersión de las arcillas y afectan la infiltración del agua en los suelos. Derivado de lo anterior, la presente investigación tiene por objetivo, determinar la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en los suelos agrícolas del Valle del Mezquital, regados con aguas residuales, utilizando las formulaciones de RASor, RASaj y RASo, con el fin de predecir el peligro de infiltración del agua en los suelos. Para cumplir con los objetivos, se evaluó el efecto del agua de baja concentración, al ser aplicada al suelo mediante el riego, utilizando la gráfica de infiltración propuesta por Ayers y Westcot, la cual relaciona la salinidad con la RAS y predice el efecto sobre la infiltración. Los resultados mostraron que el 46% y 54% de acuerdo con el RASor son clasificadas sin problemas de reducción, sin embargo, cuando se calculan de acuerdo al RASaj su valor incrementa entre el 5-17%. Se concluye que los peligros debidos a la sodicidad de las aguas de riego en el Valle del Mezquital; se deben a los altos contenidos de sodio en estas aguas, y por lo tanto, estas concentraciones elevadas pueden afectar de manera negativa la productividad de los diferentes cultivos.

Key words:

Sodium adsorption ratio, wastewater, agricultural crops

ABSTRACT: Re-use of wastewater in agriculture from domestic as well as urban-industrial sources, is considered beneficial in the management of agricultural crops because it helps in reducing chemical fertilizer requirements. However, wastewater irrigation in agricultural crops, leads to three types of problems in soils: 1. accumulation of different fractions of heavy metals, 2. accumulation of soluble salts and 3. Development of sodicity processes that favor the dispersion of clays and affect the water infiltration in soils. Due to the above, the aim of this research was to determine the ratio Sodium Adsorption (RAS) in agricultural soils in the Valle del Mezquital, irrigated with wastewater, using the formulations RASor, RASaj and RASo, for predicting the risk of water infiltration into the soil. The effect of low water concentration was evaluated, when it applied to the soil through irrigation, using the graph of infiltration given by Ayers and Westcot, which relates salinity with RAS and predicts the effect on infiltration. The results showed that 46% y 54% according to the RASor are classified without reduction problems, however, when it was calculated according to RASaj its value increases between 5-17%. It is concluded that the risks due to sodicity of water irrigation in the Valle del Mezquital are the results of the high sodium content in waters, and therefore, these high concentrations may negatively affect the productivity of different crops.





INTRODUCCIÓN

La agricultura bajo riego se ha desarrollado muy rápidamente, lo que ha propiciado que las fuentes de agua de fácil acceso como las aguas fluviales, de manantiales y subterráneas, se estén utilizando hasta el límite de sus cantidades disponibles, y como consecuencia en la actualidad se presenta un problema de escasez de fuentes de agua de buena calidad para satisfacer las necesidades de sostener altos rendimientos de los cultivos agrícolas ¹. Para atender éste problema se ha planteado la utilización de fuentes de agua no convencionales como el empleo de aguas residuales urbano-industriales y aguas de drenaje agrícola de diferentes distritos de riego. El agua de drenaje agrícola se utiliza actualmente mezclada en diferentes proporciones con agua de riego de buena calidad, tal es el caso de las poblaciones del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo ².

El riego con aguas residuales es benéfica por los altos contenidos de nitrógeno y fósforo porque ayuda a reducir el uso de fertilizantes químicos en los cultivos. Sin embargo, aunado a los problemas de salinización, sodificación en los suelos y acumulación de metales pesados ³, se han encontrado otros inconvenientes por el uso de aguas residuales, como la presencia de bacterias coliformes, que provienen de las heces de humanos y animales; y la existencia de helmintos, ocasionando alto riesgo para la salud, por su estadio de huevo que perdura en el ambiente. Los huevos de *Ascaris lumbricoides* y *Toxocara canis* conservan su poder infectante en el suelo entre siete y doce años ⁴. Si bien, el uso de aguas residuales impulsa la producción de los campos agrícolas, también origina riesgos para la salud de los productores, sus familias y a la población que consuma los cultivos irrigados con esta agua ⁵.

Durante la caracterización físico-química de las aguas residuales, es prominente determinar la concentración total de sales solubles y sus composiciones iónicas. Un parámetro fundamental en la evaluación del agua de riego, es la relación de adsorción de sodio RAS ^{6,7}.

Derivado de lo anterior, la presente investigación tuvo por objetivo, determinar la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en los suelos agrícolas del Valle del Mezquital, regados con aguas residuales, aplicando tres formulaciones diferentes, con el fin de predecir el peligro de infiltración del agua en los suelos.

METODOLOGÍA

Para conocer las dimensiones de las diferentes zonas del Valle del Mezquital, Hidalgo, se hicieron recorridos preliminares para delimitar la zona de muestreo de las aguas residuales que circulan por la red hidrográfica de Zumpango-Ixmiquilpan-Zimapan.

Se establecieron 100 estaciones de muestreo que proceden de la zona urbana del Valle de México, geográficamente se encuentran en diferentes espacios territoriales de los siguientes municipios: Actopan, Ajacuba, Alfajayucan, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Cardonal, Chapantongo, Chilcuautla, Francisco I Madero, Ixmiquilpan, Mixquiahuala, Progreso, San Salvador, Santiago Anaya, Tasquillo, Tepeji de Ocampo, Villa de Tezontepec, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Tula de Allende y Zimapan.

La superficie del Valle del Mezquital se estima en 4610 km². En cada estación se tomó una muestra de agua de 0.5 L por duplicado.

Para comprender como se modifican las propiedades fisicoquímicas de los suelos debido a la aplicación de aguas residuales a los suelos con diferentes valores de RAS y concentración total electrolítica, se determinaron los iones analíticamente empleándose los métodos de APHA ⁸: pH 4500-H⁺B, CE 25108, Ca⁺Mg 3500CaD, Na y K 3500-NaKD, CO₃ 2320B, HCO₃ 2320B, Cl 4500-CIB, SO₄ 4500-SO₄E, pH, CE.

Las formulaciones de RAS que se utilizaron en este trabajo fueron las siguientes:





$$\text{RAS original: } \text{RAS} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}} ;$$

$$\text{RAS ajustado: } \text{RAS}_{\text{aj}} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}} [1 + (8.4 - \text{pH}_c)]$$

$$\text{RAS corregido: } \text{RAS}^{\circ} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de la relación de adsorción de sodio, de las aguas residuales de la red hidrográfica de Zumpango-Ixmiquilpan-Zimapán, en sus diferentes formulaciones RAS_{or}, RAS_{aj} y RAS^o para los muestreos 1 y 2, se presentan en la Tabla 1. La comparación de las diferentes formulaciones en relación con la adsorción de sodio ajustado en los muestreos de agua se observa que se desplazan a otros grupos de clasificación: RAS original y RAS ajustado. Tal es el caso de las aguas del canal La Laminadora, en ambos muestreos se observa este comportamiento; mientras que, en las aguas de La Presa Debohdé, en el Muestreo 2.

En el Valle del Mezquital se tienen altas concentraciones de bicarbonatos de sodio y cloruros de sodio, por lo que el uso con fines de diagnóstico del RAS_{aj} en el cultivo de alfalfa ⁹ ha determinado que en condiciones de salinidad se reduce la producción de las semillas de alfalfa y es aún más acentuado en condiciones de alcalinidad.

En otro estudio realizado se calcularon el RAS, bajo las diferentes formulaciones mediante el diagrama de clasificación propuesto por Richards ¹⁰ en 45 puntos de muestreo en la cuenca de Tulancingo; donde grafica los valores de la RAS con respecto a los valores de la conductividad eléctrica (CE), resultado así que las diferentes formulaciones de RAS, se desplazan a otros grupos de clasificación; por consiguiente, concluyen que no existe mayor problema para el uso de estas aguas debido a su baja conductividad eléctrica ¹¹. Estas aguas pueden usarse para el riego de la mayor parte de los cultivos y algunas fuentes pueden usarse con un grado moderado de lavado; por lo tanto, se recomienda su uso en la mayoría de los suelos con pocas probabilidades de alcanzar grados peligrosos de sodio intercambiable.

Tabla 1. Clasificación de las aguas residuales de la red hidrográfica de Zumpango- IxmiquilpanZimapán, de acuerdo con las diferentes formulaciones de la relación de adsorción de sodio de los muestreos 1 y 2.

FORMULACIONES DE RAS	MUESTREO	C1S1	C2S1	C3S1	C3S2	C3S3	C3S4	C4S2	C4S3	C4S4
$\text{RAS} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{\frac{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}{2}}}$	1	-	6	46	40	5	-	2	1	-
	2	1	8	37	54	-	-	2	3	1
$\text{RAS}^{\circ} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{\frac{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}{2}}}$	1	-	6	38	40	13	-	2	1	-
	2	1	8	26	57	8	-	1	3	2
$\text{RAS}_{\text{aj}} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{\frac{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}{2}}} [1 + (8.4 - \text{pH}_c)]$	1	-	6	1	45	17	28	-	-	3
	2	1	8	3	31	33	24	-	-	6

Las concentraciones de sodio C_{Na⁺}, calcio C_{Ca²⁺} y magnesio C_{Mg²⁺}; están expresados en mmol. L⁻¹





En el diagrama de Richards ¹⁰ las aguas se dividen en cuatro clases con respecto a su conductividad eléctrica, siendo los puntos de división entre las clases mencionadas, los valores de <250, 750 y 2250-5000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Con respecto al contenido de sodio en las aguas de riego las aguas se clasifican utilizando la relación de adsorción de sodio o RAS (Figura 1). Esta clasificación de las aguas de riego se basa principalmente en el efecto que tiene el ion sodio adsorbido sobre las condiciones físicas de los suelos. Después de que se calcularon los diferentes valores de la relación de adsorción de sodio (RAS), en sus diferentes formulaciones RAS_{or}, RAS_{aj} y RAS^o; se obtuvo que los valores del RAS original al ajustarse se desplazan a otros grupos de clasificación, existiendo mayor problema para el uso de esta agua en el riego agrícola debido a sus altas concentraciones de sales y contenido de sodio intercambiable. No obstante que, aunque los valores del RAS_{aj} son superiores

a los valores de RAS_{or} y RAS^o, es de gran utilidad, para efectos de predicción, conocer los valores máximos de la relación de adsorción de sodio o RAS que puede obtener el agua en determinadas condiciones físico-químicas específicas, es decir, con altos o bajos contenidos de bióxido de carbono CO₂.

CONCLUSIONES

La utilidad de contar con un gran espectro de valores de la relación de adsorción de sodio, mediante formulaciones diferentes (RAS_{or}, RAS_{aj} y RAS_{corr}), que toman en cuenta los altos contenidos de bicarbonatos y la precipitación o solubilización de la calcita, CaCO₃, permite contar con valores de la relación de adsorción de sodio RAS de gran confiabilidad para el diseño y la elaboración de medidas de mejoramiento de estas aguas residuales urbano-industriales que riegan el Valle del Mezquital.

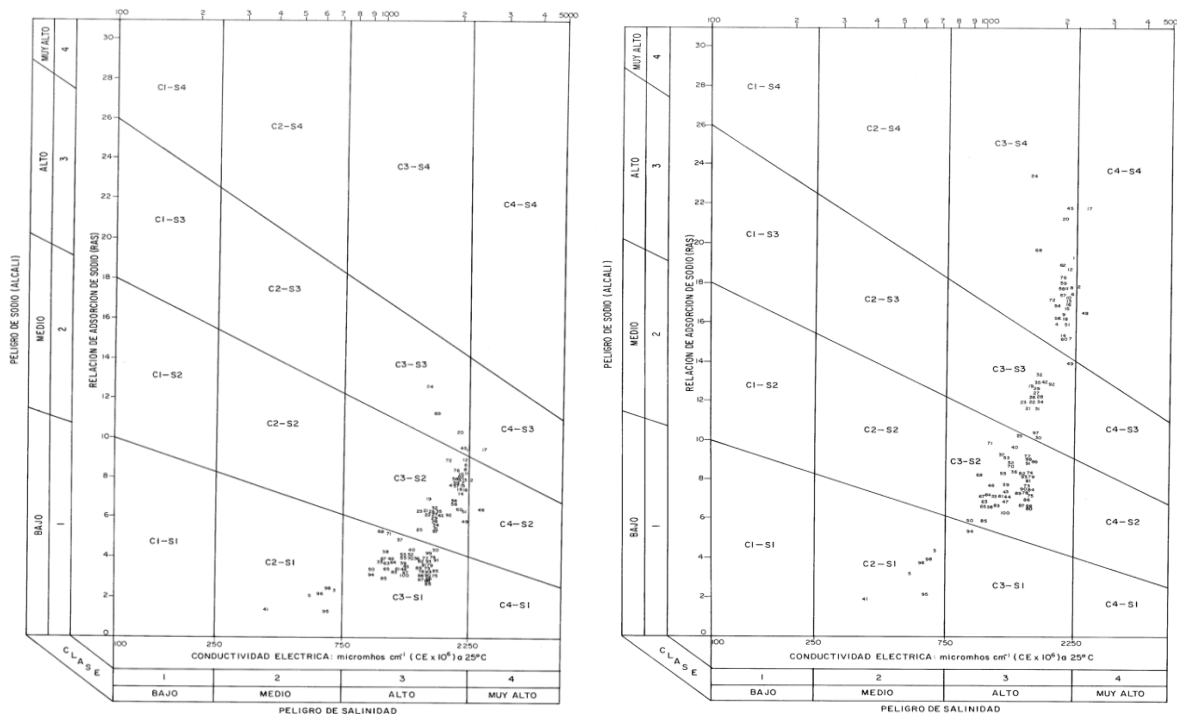


Figura 1. Diagrama de clasificación de las aguas residuales de la red hidrográfica de Zumpango- Ixmiquilpan-Zimapán. RAS original-CE y RAS ajustado-CE





REFERENCIAS

1. Rhoades, J. D., Chaundi, F. and Lesch, S. (1999). Soil Salinity Assessment. Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements. *Irrig. and Drain.* Paper 57. FAO. Rome.
2. Velásquez M., M. A., Ortega Escobar, H. M., Martínez Garza, A., Kohashi Shibata, J. y García Calderon, N. (2002). Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Terra.* 20(4),459-464.
3. Abbas, S. T., Sarfraz, M., Mehdi, S. M., Hassan, G. and Obaid-Ur-Rehman. (2007). Trace Elements Accumulation in Soil and Rice Plants Irrigated with Contaminated Water. *Soil & Tillage Research,* 94,503-509.
4. Córdoba A., Ciarmela, Ma. L., Pezzani, B., Gamboa, M. I., De Luca, M. M., Minvielle, M., & Basualdo, J. A. (2002). Presencia de parásitos intestinales en paseos públicos urbanos en La Plata Argentina. *Parasitología Latinoamericana,* 57, 25-29.
5. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2007). Programa de saneamiento de aguas en Hidalgo. México: SEMARNAT publicaciones.
6. Suárez, D. L. (1981). Relation Between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an Alternative Method of Estimating SAR of Soil or Drainage Waters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45,469-475.
7. Suárez, D. L., Wood, J. D. and Lesch, S. M. (2006). Effect of SAR on Water Infiltration under a Sequential Reain-Irrigation Management System. *Agric. Water Manage,* 8,150-164.
8. American Public Health Association. (1989). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th edition. APHA, AWWA, WEF. Edition Port City Press, Baltimore, Maryland.
9. López García, A. D., Ortega Escobar, H. M., Sánchez Bernal, E. I., Can Chulim A., Gomez Melendez, D. J., y Vazquez Alvarado, R. E. (2016). Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnología y Ciencias del Agua,* 7(6), 139-157.
10. Richards, L. A. (1973). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos. Manual No. 60.* USA:LIMUSA.
11. Can Chulim, A., 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 Latinoamericana,* 26(3,) 243-252.

