

Evaluación de la relación de adsorción de sodio de las aguas de la red hidrográfica del Valle del Mezquital, Hidalgo*

Evaluation of sodium adsorption ratio of the waters of the hydrographic network from the Mezquital Valley, Hidalgo

Edwin Cuellar Carrasco^{1§}, Manuel Ortega Escobar¹, Carlos Ramírez Ayala¹ y Edgar Iván Sánchez Bernal¹

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, km 36.5 Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel: 01 595 9520200. Ext. 1167. (manueloe@colpos.mx; cara@colpos.mx; sanchez.edgar@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: cuellar.edwin@colpos.mx.

Resumen

El Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, México, se encuentra dentro de una zona de volcanismo reciente, caracterizada geológicamente por el predominio de rocas Cenozoicas que datan del Terciario y del Cuaternario. Dado que es una zona volcánica, cuyas rocas, en la mayoría de los casos insolubles, presentan aguas de baja concentración iónica, aumentando su concentración iónica debido a las descargas de las aguas urbano-industriales del valle de México y del Distrito Federal. Se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS) de cuatro diferentes formas, este parámetro nos muestra la peligrosidad de las aguas de riego con respecto al sodio, así como las dosificaciones de las enmiendas requeridas con respecto al sodio. Se determinó el problema de infiltración mediante la gráfica de infiltración que relaciona la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (RAS), teniendo como parámetro general una reducción ligera en la infiltración. 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 clave: aguas urbano-industriales, concentración iónica, infiltración, RAS.

Abstract

The Mezquital Valley in the state of Hidalgo, Mexico, is located within an area of recent volcanic activity, geologically characterized by the predominance of Cenozoic rocks dating from the Tertiary and Quaternary; since it is a volcanic area, whose rocks, in most cases insoluble, present waters with low ionic strength, increasing its ionic strength due to discharges from industrial-urban water systems from the valley of Mexico and the Distrito Federal. The sodium adsorption ratio (SAR) was calculated in four different ways, this parameter shows the danger of irrigation water in relation to sodium, thus dosages required for amendments regarding to sodium. The infiltration problem was determined by infiltration graph that relates electrical conductivity (EC) and sodium adsorption ratio (SAR), having as general parameter a slight reduction in infiltration. Ca^{2+} is important in the stability of soil physical properties and especially hydraulic conductivity; its availability is affected by solubilization and precipitation in the presence of bicarbonate.

Keywords: ionic strength, infiltration, SAR, urban-industrial water.

* Recibido: noviembre de 2014
Aceptado: abril de 2015

Introducción

Como consecuencia de un desarrollo acelerado de la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y mineras, debido a esto la competencia por los recursos hídricos es mayor. La mitigación a esto, se dan a expensas de la agricultura

En México desde 1989 en los distritos de riego de Tula (003), y Alfajayucan (100) son el resultado del uso de las aguas residuales sin tratar de Ciudad de México. Alrededor de 90 000 ha de tierras de regadío, anteriormente con suelos muy pobres, ahora dependen casi de 1 500 millones de $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$ de las aguas residuales sin tratar la Ciudad de México. Sus otras fuentes de agua son parte del caudal del río Tula, una pequeña cantidad de aguas subterráneas y la reutilización de los retornos del riego (el cual a su vez contiene aguas residuales sin tratar).

En efecto, la Ciudad de México ha venido utilizando estas áreas para el tratamiento natural y eliminación de sus aguas residuales. El grado de aportación iónica de estos suelos y rocas, a la composición de las aguas, depende de su origen geológico. Con estos antecedentes, se plantea, que la composición iónica de las aguas que circulan desde del valle de México por el gran canal hasta el Valle del Mezquital, varía, desde su origen y por los vertidos de aguas urbanas e industriales

La calidad de las aguas, se refiere a las características que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico, está determinada por sus propiedades físico-químicas y biológicas. La calidad del agua para riego está determinada por la cantidad y tipo de sales que la constituyen las cuales son formadas por iones específicos, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , y Na^+ como cationes CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- como aniones y otros de menor proporción, como B^{3-} , Si^{4-} , PO_4^{2-} y NO_3^- . Este trabajo tuvo como objetivo determinar las concentraciones iónicas del cauce en estudio en diferentes lugares.

Para evaluar el efecto del agua de baja concentración, al ser aplicada al suelo mediante el riego, se usó la gráfica de infiltración propuesta por Ayers y Westcot (1987). Esta gráfica relaciona la salinidad (CE) con la RAS y predice el efecto sobre la infiltración. En el presente trabajo se evaluó la determinación de las variaciones de la RAS bajo diferentes enfoques conceptuales: RAS (Gapon, citado por Richards, 1973, Ecuación 1), RAS corregido (Suárez, 1981, Ecuación

Introduction

As a result of rapid development of urbanization, industrial development, agricultural and mining activities, due to this, competition for water resources is greater. Mitigation of this comes at the expense of agriculture.

In Mexico since 1989 in the irrigation districts of Tula (003) and Alfajayucan (100) are the result of the use of untreated wastewater from Mexico City. About 90 000 ha of irrigated land, formerly with very poor soils, now depend almost 1 500 million $\text{m}^3 \text{year}^{-1}$ of the untreated wastewater Mexico City. Other water sources are part of the Tula River, a small amount of groundwater and the reuse of irrigation returns (which contains untreated wastewater).

Indeed, Mexico City has been using these areas for natural treatment and disposal of wastewater. The degree of ionic contribution of these soils and rocks, to the composition of the water depends on its geological origin. With this background, it is proposed that the ionic composition of the water flowing from the Valley of Mexico by the great canal to Mezquital Valley varies from its origin and by the discharges of urban and industrial wastewater.

Water quality refers to the characteristics that can affect their suitability for a specific use, is given by their physicochemical and biological properties. The quality of water for irrigation is determined by the amount and type of salts that constitute it, which are formed by specific ions, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Na^+ and as cations CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} and Cl^- as anions and others in less proportion, like B^{3-} , Si^{4-} , PO_4^{2-} and NO_3^- . This study aimed to determine ionic concentrations of the riverbed under study in different places.

To evaluate the effect of low water concentration, when applied to the soil through irrigation, the infiltration graph proposed by Ayers and Westcot (1987) was used. This graph relates salinity (EC) with SAR and predicts the effect on infiltration. In this paper the determination of changes in SAR under different conceptual approaches were evaluated: SAR (Gapon, cited by Richards, 1973, Equation 1), SAR corrected (Suarez, 1981, Equation 2) (SAR°), fitted SAR (Bower and Wilcox, 1965; Bower *et al.*, 1965, Equation 4.) (SAR_{aj}) and SAR modified (Villafañe, 2011; Equation 3) ($\text{SAR}_{\text{villa}}$).

2) (RAS°), RAS ajustado (Bower y Wilcox, 1965; Bower *et al.*, 1965, Ecuación 4) (RASaj) y RAS modificado (Roberto Villafañe, 2011 Ecuación 3) (RAS_{villa}).

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

$$\text{RAS}^\circ = \frac{\text{Na}}{\frac{\sqrt[2]{\text{Ca}^\circ + \text{Mg}}}{2}} \quad 2)$$

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\sqrt[2]{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}}{2}} [1 + (8.4 - \text{pHc})] \quad 3)$$

$$\text{RAS}_{\text{villa}} = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} - \langle \text{CaCO}_3 + (0.5 * \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) \rangle + [\text{Mg}^{2+} - \langle \text{MgCO}_3 + (0.25 * \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) \rangle]}{2}}}}{2}} \quad 4)$$

Donde: Na= contenido de sodio en el agua de riego; Ca= contenido de calcio en el agua de riego Mg= contenido de magnesio en el agua de riego; y Ca°= contenido corregido de calcio en el agua de riego. El 8.4 es el pH aproximadamente de un suelo no sódico en equilibrio con carbonato de calcio (CaCO₃). El pHc se define como sigue: pHc=(pK₂ - pKps) + p(Ca+Mg) + p(CO₃ + HCO₃), donde: p(Ca+Mg) corresponde al logaritmo negativo de la concentración molar de (Ca+Mg), p(CO₃ + HCO₃), corresponde al logaritmo negativo de la concentración equivalente de CO₃ y HCO₃ y pK₂ y pKps son los logaritmos negativos de la segunda constante de disociación de H₂CO₃ y el producto de la solubilidad del CaCO₃.

El valor de Ca° es el contenido de calcio en el agua de riego, corregido por la salinidad del agua (CEa), por el contenido de iones de bicarbonato con relación a su propio contenido de calcio $\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Ca}^{2+}}$ y por la presión parcial del dióxido de carbono (CO₂), ejercida en los primeros milímetros del suelo (presión igual a 0.0007 atm). Y por último las concentraciones de carbonato y bicarbonato de calcio y magnesio es calculada de acuerdo a la solubilidad de las sales hipotéticas. Todos los datos son expresados en meqL⁻¹.

Material y métodos

El Valle del Mezquital se ubica dentro del límite sudoeste del estado de Hidalgo (longitud norte 20° 02' y longitud oeste 99° 15'). Está situado en lo alto de la meseta mexicana, a

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

$$\text{RAS}^\circ = \frac{\text{Na}}{\frac{\sqrt[2]{\text{Ca}^\circ + \text{Mg}}}{2}} \quad 2)$$

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\sqrt[2]{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}}{2}} [1 + (8.4 - \text{pHc})] \quad 3)$$

$$\text{RAS}_{\text{villa}} = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} - \langle \text{CaCO}_3 + (0.5 * \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) \rangle + [\text{Mg}^{2+} - \langle \text{MgCO}_3 + (0.25 * \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) \rangle]}{2}}}}{2}} \quad 4)$$

Where: Na= sodium content in irrigation water; Ca= calcium content in irrigation water; Mg= magnesium content in irrigation water; and Ca°= corrected calcium content in irrigation water. 8.4 is the approximate pH of a non sodic soil in equilibrium with calcium carbonate (CaCO₃). The pHc is defined as follows: pHc = (pK₂ - pKps) + p(Ca + Mg) + p(CO₃ + HCO₃), where: p(Ca + Mg) is the negative logarithm of molar concentration of (Ca + Mg), p(CO₃ + HCO₃) corresponds to the negative logarithm of equivalent concentration of CO₃ and HCO₃ and pK₂ and pKps are the negative logarithms of the second constant of dissociation H₂CO₃ and the solubility product of CaCO₃.

The value of Ca° is the calcium content in irrigation water, corrected for salinity (ECa), for the content of bicarbonate ions in relation to its own calcium content $\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Ca}^{2+}}$ and by the partial pressure of carbon dioxide (CO₂), exerted on the first millimeters of soil (pressure equal to 0.0007 atm). Finally carbonate and calcium bicarbonate and magnesium concentrations are calculated according to the solubility of hypothetical salts. All data are expressed in meqL⁻¹.

Material and methods

The Mezquital Valley is located within the southwestern boundary of the state of Hidalgo (North longitude 20° 02' and west longitude 99° 15'). It is located on top of the Mexican plateau, 60 km from Mexico City with an altitude between 1 640 and 2 400 masl. It is formed by 27 municipalities of the 84 that make up the state of

60 km de la ciudad de México con una altitud entre 1.640 m y 2.400 msnm. Está conformado por 27 municipios de los 84 que conforman el estado de Hidalgo. Presenta condiciones de zona semiárida, clima de semiseco a seco, temperatura mayor de 20 °C y presencia de lluvias menor a 700 mm anuales. La agrupación vegetal más abundante es el matorral xerófilo. Los habitantes del Valle se dedican principalmente a actividades agrícolas, complementándose con la producción ganadera en los denominados Distritos del Riego (DR) 003 Tula y DR 100 Alfajayucán.

Se determinaron 125 puntos de muestreo, iniciando en el gran canal en el valle de México, posteriormente se siguió el cauce del mismo hasta llegar al valle del mezquital en el estado de Hidalgo, ahí se siguió el cauce del río Tula, se consideraron los afluentes que desembocan en el cauce principal, pozos, lagunas, nacimientos y presas que se encuentra dentro de la red hidrográfica del valle del Mezquital. Éstos son estratégicos para conocer el carácter químico dominante de las aguas de la zona en estudio. Para que la muestra sea representativa, se recolectaron dos muestras de cada estación de muestreo; los sitios se ubicaron con un GPS Garmin Etrex utilizando el datum WGS84.

Las determinaciones físicas y químicas de los sitios de muestreo para determinar la composición cuantitativa y cualitativa de las aguas de riego se muestran en el Cuadro 1.

Hidalgo. It presents semiarid conditions, semi-dry climate, temperature greater than 20 °C and annual rainfall is less than 700 mm. Xeric shrublands is the most abundant. Valley residents are mainly engaged in agricultural activities, complemented by livestock production in the so called Irrigation Districts (DR) 003 Tula and DR 100 Alfajayucán.

125 sampling points were determined, starting on the Grand Canal in the Valley of Mexico, then it followed the riverbed of the same till reaching the Mezquital valley in the state of Hidalgo, from continued to the Tula river; tributaries that flow into the main channel, wells, ponds and dams that are within the hydrographic network from the Mezquital Valley were considered. These are strategic to learn the dominant chemical character of the waters from the study area. For the sample to be representative two samples from each sampling station were collected; sites were located with GPS Garmin Etrex using the WGS84 datum.

The physical and chemical determinations of the sampling sites to determine the quantitative and qualitative composition of irrigation water are shown in Table 1.

To verify the accuracy of the analytical values using test methods recommended by Richard (1962) Eaton (1995), such as: anion-cation balance; measured total dissolved

Cuadro 1. Determinaciones físicas y químicas realizadas a las muestras de agua del Distritos de riego 003 y 100, estado de Hidalgo, México.

Table 1. Physical and chemical determinations performed on water samples from the Irrigation Districts 003 and 100, Hidalgo, Mexico.

Determinación	Método	Referencia
pH	Potenciómetro	Eaton (1995)
Conductividad eléctrica	Conductímetro	Richards (1973)
Residuo seco evaporado	Gravimetría	Eaton (1995)
Residuo seco calcinado	Gravimetría	Eaton (1973)
Sodio y Potasio	Flamometría	APHA (1995)
Calcio	Volumétrico	Richard (1975)
Calcio más magnesio	Volumétrico	Richard (1975)
Carbonatos	Volumétrico	Richard (1975)
Bicarbonatos	Volumétrico	Richard (1975)
Cloruros	Volumétrico	APHA (1995)
Sulfatos	Turbidimetría	APHA (1995)

Para la verificación la exactitud de los valores analíticos usando métodos de comprobación recomendados por Richard (1962) Eaton (1995), como: balance anión-cation;

solids, (TDS) measured= TDS calculated; measured EC and the sum of anions; TDS measured at an interval of EC; TDS calculated at an EC interval.

total de sólidos disueltos medidos, (TSD) medidos= TSD calculados; CE medida y la suma de aniones; TSD medidos a un intervalo de CE; TSD calculados a un intervalo de CE.

Resultados y discusión

La fuente principal de abastecimiento de agua para uso agrícola, en la zona de estudio del valle del Mezquital, son los vertidos urbano industriales del valle de México y el distrito federal, así como corrientes superficiales, presas dentro de la red hidrográfica, las lagunas, los nacimientos. La composición iónica de la zona de estudio debería ser de baja concentración debido a que es una zona volcánica y los suelos tiene bajo contenido mineral soluble, pero los resultados expone que la composición iónica se ve afectada con los vertidos urbano industriales del valle de México y noreste del DF.

Los intervalos de exactitud presentados por Richard (1962) y Eaton (1995), para verificar que los valores analíticos y correctos, para que la interpretación de la calidad del agua de riego sea correcto como refiere a continuación.

Comprobación, de los valores obtenidos, indica que los análisis se han realizado correctamente. Balance anión-cación cationes= 13.92 aniones= 13.58, de acuerdo a la neutralidad de las sales, los valores son similares teniendo un error promedio del muestreo de 1.36 y lo aceptado es de ± 2 ; total de sólidos disueltos medidos, (TSD) medidos = TSD calculados TSDmed=1013.04 TSDcal=986.85 siendo su relación aproximadamente 1.02, sus intervalos de aceptación son de 0.9-1.2; CE medida y la suma de aniones CE= 1.4 aniones= 13.58 siendo su rango $\Sigma A \approx 10 \times CE$.

De acuerdo a su clasificación debido a su CE. estas aguas en su mayoría no pueden usarse en suelos con deficiencia de drenaje y se deben hacer prácticas de control y usar cultivos tolerantes a la salinidad.

Clasificación de las aguas con base en la RAS

Los resultados de calcular el RAS en diferentes enfoques se muestra en la Cuadro 2.

Results and discussion

The main source of water supply for agricultural use in the study area from the Mezquital Valley, are industrial-urban discharges from the Valley of Mexico and the Distrito Federal, and surface streams, dams within the hydrographic network, lakes, wells. The ionic composition of the study area should be of low concentration due to it is a volcanic area and the soils have low soluble mineral content, but the results show that the ionic composition is affected with urban-industrial discharges from the Valley of Mexico and northeast of DF.

Accuracy ranges presented by Richard (1962) and Eaton (1995), to verify that the analytical and correct values, for the interpretation of the quality of irrigation water are correct as it follows.

Corroboration of the values obtained, indicate that analyzes have been made properly. Balance of anion-cation cations = 13.92 anions = 13.58, according to salt neutrality, the values are similar with an average sampling error of 1.36 and the accepted is ± 2 ; total dissolved solids, (TDS) measured= TDS calculated, TDSmed= 1013.04, TDScal=986.85 being their relationship approximately 1.02, its acceptance ranges are 0.9-1.2; EC measured and the sum of anions EC=1.4, anions= 13.58 being its range $\Sigma A \approx 10 \times EC$.

According to their classification due to its EC, most of these waters cannot be used in soils with deficient drainage and control practices should be made and use crops tolerant to salinity.

Water classification based on SAR

The results of calculating SAR under different approaches is shown on Table 2.

According to the data shown in Table 2 the classification of waters with SAR_{orig}, only 2 samples differed from the rest, one was classified as S3; this type of water can produce toxic levels of exchangeable sodium in most soils and therefore it needs a special management. The other was classified as S2 this type of water depends a lot on the type of soil texture, in fine textures sodium constitutes a major danger, and even more if these soils have a high cation exchange capacity. The

Cuadro 2. Valores de las formulaciones de la relación de adsorción de sodio (RAS) en las muestras de agua del DR003 y 100, en el Estado de México e Hidalgo. Muestreo realizado en julio de 2012.**Table 2. Values of the formulations of sodium adsorption ratio (SAR) in water samples from DR003 and 100, in the State of Mexico and Hidalgo. Sampling conducted in July 2012.**

Muestra Núm.	Nombre	Coordenadas UTM WGS 84		RAS _{orig}	RAS ^o	RAS _{aj}	RAS _{vil}
		Norte	Este				
1	Puente caseta desviación a Querétaro	2152587	499021	9.5	11.0	20.1	11.8
2	Puente PEMEX	2169839	495240	10.2	12.3	22.2	12.9
3	Canal Santa María Tonatitlan	2176538	495320	3.4	3.8	6.0	4.5
4	Puente salida Santa Ana	2178433	491291	4.1	5.0	8.9	5.2
5	Puente Santa Ana Nextlalpan	2182303	489500	8.6	10.1	17.9	10.8
6	Puente la Laminadora	2187706	490039	4.5	5.3	9.9	5.6
7	Laguna de Zumpango	2187676	487454	2.9	3.3	5.4	3.7
8	Canal Entrada Laguna de Zumpango	2187856	482701	5.6	6.4	10.8	7.1
9	Puente San Pedro de Zumpango	2186529	487622	7.8	9.2	16.8	9.8
10	Túnel Tequexquiac	2200854	484716	6.3	7.3	13.7	7.8
11	Túnel Ing. Marcelo Palafox	2200650	487139	5.5	6.5	12.4	6.9
12	Puente salida Tequexquiac (Puercos)	2201923	484936	5.9	6.8	12.6	7.3
13	Rio Salado-Apaxco	2207606	481647	6.3	7.3	13.5	7.9
14	Canal Cementera Apaxco	2208204	481360	6.2	7.2	13.5	7.7
15	La Atarjea-Canal	2205528	482404	5.8	7.0	13.8	7.3
16	Los Sauces	2205585	482300	6.1	7.6	15.1	7.7
17	La Atarjea Nacimiento	2205501	482395	4.7	6.2	12.2	6.1
18	Canal Revestido Atotonilco Tula	2214393	478583	6.2	7.2	13.7	7.7
19	Atotonilco-Río Tula	2213813	477705	7.8	9.5	17.5	9.9
20	Canal-Revestido Texas	2214726	478376	8.2	9.8	17.8	10.3
21	Canal Tierra Grande Atitalaquia	2217776	477041	3.6	4.0	6.5	4.6
22	Canal Atitalaquia Puente Piedra	2217978	476532	6.3	7.3	13.4	7.8
23	Canal de Tierra la Quina	2218021	476242	6.0	6.9	12.9	7.5
24	Cascada-Atitalaquia	2217106	476494	5.9	6.8	12.5	7.3
25	Canal Revestido-PEMEX	2217112	475995	3.6	3.9	6.4	4.5
26	Canal Refinería 1 Tula	2217933	471884	3.0	3.3	5.5	3.9
27	Canal Revestido 2 Tula	2217613	468156	3.4	3.8	6.1	4.3
28	Canal Tierra Tula	2217440	467274	3.1	3.3	5.4	3.9
29	Rio Tula-Tula	2217390	464838	3.6	3.8	6.2	4.5
30	Puente Verde Tula	2218855	465530	2.0	2.5	4.5	2.4
31	Canal Dendho-Salida Tula	2219736	466934	3.8	4.3	7.0	4.9
32	Canal Revestido Carretera	2225031	473570	4.1	4.6	7.8	5.3
33	Canal Revestido Canadiense	2220493	464861	2.5	2.8	4.8	3.2
34	Canal de Tierra cauce Autopista	2220709	464762	2.8	3.0	5.1	3.4
35	Canal de Tierra Adelante anterior	2222415	464244	2.7	3.0	5.0	3.4
36	Canal Colonia Benito Juárez	2223530	464561	2.8	3.0	5.2	3.5
37	Canal Santa Diva (Preciliano)	2225113	464142	3.0	3.3	5.7	3.8
38	Presa Endho	2227585	462392	4.3	4.5	6.9	5.3
39	Canal Salida de Endho	2229092	462721	4.0	4.2	6.6	4.8
40	Canal en Segunda presa Endho	2229660	461609	4.1	4.3	6.7	5.1

Cuadro 2. Valores de las formulaciones de la relación de adsorción de sodio (RAS) en las muestras de agua del DR003 y 100, en el Estado de México e Hidalgo. Muestreo realizado en julio de 2012 (Continuación).**Table 2. Values of the formulations of sodium adsorption ratio (SAR) in water samples from DR003 and 100, in the State of Mexico and Hidalgo. Sampling conducted in July 2012 (Continuation).**

Muestra Núm.	Nombre	Coordenadas UTM WGS 84		RAS _{orig}	RAS ^o	RAS _{aj}	RAS _{vil}
		Norte	Este				
41	Canal en las vías del Tren	2229926	461065	4.0	4.1	6.6	4.8
42	Canal Salida de Tepetitlan	2232472	460133	4.6	5.3	9.2	5.8
43	Canal Antes Chapatongo	2238965	455746	1.5	1.1	0.3	1.8
44	Manantial Escondido Chapatongo	2245952	458641	1.1	1.1	1.8	1.4
45	Canal revestido Presa Rojo Gómez	2252011	462159	4.6	4.9	8.4	5.6
46	Presa pequeña en Rojo Gómez	2249592	463636	0.6	0.6	1.0	0.7
47	Presa Rojo Gómez	2251143	466349	4.6	5.4	9.6	5.8
48	Canal lado presa Rojo Gómez	2251419	465854	4.3	5.0	9.0	5.5
49	Río En Alfayucan	2257309	463644	3.7	4.3	7.9	4.7
50	Presa Vicente Aguirre	2258931	462198	4.1	4.6	8.0	5.1
51	Primer Canal Alfa-Ixmiquilpan	2262325	464412	4.4	4.8	8.0	5.4
52	Segundo canal Calle 15 de Mayo	2262911	465127	4.5	5.0	8.7	5.6
53	Tercer Canal Revestido enfrente	2264389	466065	4.2	4.9	8.6	5.3
54	Canal Cont calle 2 de Octubre	2264892	466800	3.7	4.4	7.9	4.7
55	Canal de Piedra desp de Ixmiquilpan	2264723	473375	4.0	5.0	9.5	5.1
56	Canal en Ixmiquilpan	2264849	477539	7.0	8.6	17.3	8.7
57	Río Ixmiquilpan, Hidalgo	2264733	476992	3.6	4.4	8.6	4.6
58	Canal Cuadrado antes Tasquillo	2269587	466231	3.7	4.5	8.7	4.6
59	Río Tula a Zimapan	2275247	463915	4.5	5.9	11.3	6.2
60	Presa Zimapan	2284726	449115	4.4	5.5	10.4	6.1
61	Aguas saladas San Joaquín	2310775	427955	0.4	0.5	0.8	0.5
62	Río Moctezuma La Mora	2307225	453657	3.8	4.8	8.9	4.8
63	Río En Maconi, Querétaro	2303559	445080	1.2	1.4	2.3	1.5
64	Canal 1 López Rayón	2264962	471684	3.4	4.2	8.0	4.4
65	Canal 2 López Rayón	2265474	471548	3.4	4.1	7.8	4.2
66	Canal 3 López Rayón	2266485	471471	3.5	4.3	8.1	4.4
67	Río Tula Tzindajhe	2272399	469506	4.0	5.2	9.9	5.2
68	Balneario Tzindajhe	2272374	469583	2.7	2.9	4.6	3.5
69	Agua Canal Hacia Mandhu Corrales	2266425	463185	1.9	2.1	3.5	2.4
70	Agua Canal Hacia Mandhu Corrales	2266425	463185	4.1	4.8	8.4	5.2
71	Agua de Presa Madhu	2267136	459637	2.6	2.8	4.9	3.3
72	Presa Hacienda Mina Tezonte	2265231	461787	4.8	5.5	9.3	6.0
73	Basaltos Cascada Xigatza	2265116	459929	2.1	2.6	4.5	2.7
74	Canal Revestido entrando Alfayucan	2261971	461514	4.6	5.3	9.3	6.5
75	Agua Canal Ixmiquilpan	2265339	478017	7.9	10.0	19.0	10.1
76	Canal Escuela	2265749	479723	3.5	4.3	8.3	4.5
77	Canal Grande UTVM	2265968	480967	3.6	4.4	8.4	4.6
78	Parcela con Drenaje	2266080	481778	20.0	22.7	38.9	24.8
79	Canal la Estación	2264370	482307	3.4	4.2	8.1	4.3
80	Canal Chico San Pedro Capula	2266392	483651	3.5	4.3	8.3	4.4

Cuadro 2. Valores de las formulaciones de la relación de adsorción de sodio (RAS) en las muestras de agua del DR003 y 100, en el Estado de México e Hidalgo. Muestreo realizado en julio de 2012 (Continuación).**Table 2. Values of the formulations of sodium adsorption ratio (SAR) in water samples from DR003 and 100, in the State of Mexico and Hidalgo. Sampling conducted in July 2012 (Continuation).**

Muestra Núm.	Nombre	Coordenadas UTM WGS 84		RAS _{orig}	RAS ^o	RAS _{aj}	RAS _{vil}
		Norte	Este				
81	Canal Benito Juárez	2267137	484749	3.5	4.2	8.0	4.3
82	Nivel Freático (2)	2267241	484902	7.6	9.5	17.9	9.7
83	Canal Capula Escuela Técnica	2267572	485813	3.4	4.1	8.1	4.3
84	Canal Revestido Presa Debodhe	2265995	488018	3.5	4.3	8.2	4.4
85	Presa Debodhe	2265083	487290	8.2	10.3	19.1	10.4
86	Salida Presa Debodhe	2265453	488174	9.8	12.0	21.8	12.4
87	Canal Com. Vásquez Remedios	2270117	480357	4.3	5.4	10.1	5.5
88	Canal antes Ixmiquilpan San Nicolás	2266843	477550	6.7	8.8	16.8	8.6
89	Canal Daxtha Desp. Actopan	2243633	502525	6.2	7.5	13.9	7.9
90	Canal (Pozos) Pozo-Residual	2244730	501250	6.4	7.9	14.4	8.2
91	Canal Entrada Salvador	2244167	499722	7.2	9.1	17.4	9.2
92	Canal (2) El Salvador	2243314	498890	6.3	8.6	15.8	8.2
93	El Salvador Fren. al Pósito Balneario	2242504	499121	6.5	8.8	16.4	8.4
94	Pozo zona CAAMSSH	2242588	498765	7.9	9.8	18.3	10.0
95	Canal Demagu	2245503	496784	4.1	5.1	9.3	5.3
96	Salida Teofani	2247447	496765	7.0	9.6	17.2	9.1
97	Canal Francisco Villa	2246575	499040	6.4	8.0	14.3	8.1
98	Canal Santiago de Anaya	2249770	496881	6.5	8.4	16.2	8.3
99	Canal Lagunilla	2250800	496197	7.7	10.3	18.7	10.0
100	Canal Salida Patria Hueva	2253144	494438	7.0	9.3	17.1	9.0
101	Entrada Pueblo Nuevo	2254335	492904	7.3	9.3	17.4	9.3
102	Canal Xolatepec	2254912	491723	7.1	9.1	16.8	9.0
103	Microplanta Tratadora Villa Grande	2255632	489953	7.1	9.0	16.6	9.0
104	Canal entrada La Jungla	2259680	483663	4.0	4.9	9.3	5.1
105	Canal David Siqueiros Calle la Peña	2261237	481354	4.3	5.3	9.8	5.5
106	Canal entrada Pueblo Nuevo	2262527	481050	3.4	4.1	7.8	4.3
107	Canal grande Pueblo Nuevo	2262456	482027	3.6	4.4	8.3	4.6
108	Canal entrada Pueblo nuevo	2262115	480904	6.5	8.7	16.4	8.3
109	Canal Cordonal Av. Hidalgo	2267880	478032	3.5	4.2	8.3	4.4
110	Arroyo El Arenalito	2284064	494826	1.0	1.0	1.6	1.3
111	Xlac. Grutas de Tolantongo	2283246	499151	2.7	3.1	5.5	3.3
112	Arroyo desp. Moxthe	2290082	495570	0.7	0.9	1.6	1.0
113	Canal Maguey Blanco	2258332	482346	4.1	4.9	9.4	5.2
114	Canal entrada Ecoalberto	2255382	480036	4.0	4.9	8.6	5.2
115	Canal hacia Ecoalberto	2256765	478534	4.2	4.9	9.4	5.2
116	Río Tula en Ecoalberto	2258009	476977	4.3	5.1	9.7	5.4
117	Canal/Salida Actopan Mixquiahuala	2240687	504185	6.8	8.2	16.2	8.5
118	Canal Revestido Adelante anterior	2240300	503031	7.1	8.8	15.7	9.0
119	Canal Revestido Col. Morelos	2236899	485742	6.5	7.9	14.1	8.3
120	Canal de Tierra arriba Col. Morelos	2235993	485638	6.3	7.5	13.1	8.1

Cuadro 2. Valores de las formulaciones de la relación de adsorción de sodio (RAS) en las muestras de agua del DR003 y 100, en el Estado de México e Hidalgo. Muestreo realizado en julio de 2012 (Continuación).

Table 2. Values of the formulations of sodium adsorption ratio (SAR) in water samples from DR003 and 100, in the State of Mexico and Hidalgo. Sampling conducted in July 2012 (Continuation).

Muestra Núm.	Nombre	Coordenadas UTM WGS 84		RAS _{orig}	RAS ^o	RAS _{aj}	RAS _{vil}
		Norte	Este				
121	Nacimiento Tamazunchale	2350566	516954	1.1	1.1	1.8	1.4
122	Río Moctezuma La Vega	2350608	516473	5.1	6.0	10.9	6.4
123	Río Amayac Tamazunchale	2349494	523188	1.5	1.7	2.8	2.0
124	Río Claro Tamazunchale	2346705	525343	1.2	1.2	1.8	1.6
125	Laguna Azteca Molango	2300383	526758	1.2	0.8	0.0	1.5

De acuerdo a los datos mostrados en el Cuadro 2 la clasificación de las aguas con el RAS_{orig}, solo 2 muestras difirieron de las demás una fue clasificada como S3, este tipo de agua puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que necesitará un manejo especial. La otra fue clasificada como S2 este tipo de aguas depende mucho del tipo de la textura del suelo, en texturas finas el sodio representa un peligro considerable, más aun si dichos suelos poseen un alta capacidad de intercambio catiónico. Las otras aguas fueron clasificadas como S1, esta agua se pueden usar para riego en la mayoría de los suelos con pocos problemas de sodicidad, solo en algunos cultivos que sean sensibles a las acumulaciones de sodio, ya que se pueden acumular cantidades considerables para este tipo de cultivos.

El RAS^o, 93.6% de los puntos de muestreo son aguas de baja probabilidad que exista sodio intercambiable, 5.6% son aguas de media en sodio por lo cual solo presentarían problemas si no hay lavados y solo una muestra que representa 0.8% como agua alta en sodio, pero debido a que esta agua fue tomada de un dren de la zona no hay problema, ya que no se utilizará para riego.

La clasificación del RAS_{villa}. Como se mencionó anteriormente, esta clasificación se realizó de acuerdo a la solubilidad de las sales hipotéticas, de acuerdo a la Cuadro 2 solo 8 muestras son clasificadas como S3, estas solo representan 6.4% las cuales hay que tener cuidado en suelos con alto potencial de intercambio catiónico, en caso de ser así se recomiendan lavados frecuentes. 116 aguas fueron clasificadas como S1, lo cual son aptas para el riego, para casi todo tipo de suelos y solo hay que tener cuidado con los cultivos que sean sensibles al sodio como es el caso de algunos frutales.

rest of the water were classified as S1; this water can be used for irrigation in most soils with few problems of sodicity, only in some crops that are sensitive to the accumulation of sodium, since considerable amounts can accumulate for this type of crop.

SAR^o, 93.6% of sampling points is water with low probability of having exchangeable sodium, 5.6% is medium sodium water (S2) therefore it would only present problems if there are no washes and only a sample representing 0.8% as high sodium water, but due to this water was taken from a drain in the area there is no problem, since it will not be used for irrigation.

RAS_{villa} classification as mentioned above, this classification was performed according to the solubility of hypothetical salts, according to Table 2 only 8 samples are classified as S3, these represent only 6.4% of which must be careful in soils with high potential of cation exchange, if this was the case, it is recommended to wash it frequently. 116 waters were classified as S1, which are suitable for irrigation, for almost all soil types and just have to be careful with crops that are sensitive to sodium as is the case with some fruit.

Water classification based on the risk of infiltration

Infiltration is related to the total amount of salts and its relationship to sodium, calcium and magnesium concentration. Infiltration increases with salinity and decreases with sodium concentrations; i.e. infiltration is proportional to salt concentrations and inversely proportional to sodium concentrations. Whatever the value of SAR, water with low salinity (conductivity below 0.2 dS m⁻¹) according to McNeal *et al.* (1968) - Ayers and Westcot (1987), invariably cause infiltration problems. Suarez (1981).

Clasificación de las aguas con base en el peligro de infiltración

La infiltración está relacionada con la cantidad de sales totales y su relación con las concentraciones de sodio, calcio y magnesio. La infiltración aumenta con la salinidad y disminuye con las concentraciones sódicas; es decir, que la infiltración es proporcional a las concentraciones salinas e inversamente proporcional a las concentraciones de sodio. Independientemente del valor de la RAS, las aguas de muy baja salinidad (conductividad por debajo de 0.2 dS m^{-1} , según McNeal *et al.* (1968) y Ayers y Westcot (1987), invariablemente causan problemas de infiltración. Suárez (1981).

Estos efectos son similares a los provocados por las aguas de lluvia, que son de muy baja conductividad y pueden, por lo tanto, provocar excesos de escorrentía en las áreas regadas. El Cuadro 2 se muestra los resultados del RAS calculado por sus diferentes enfoques conceptuales.

La infiltración se refieren a la facilidad con que el agua atraviesa la superficie del suelo y ésta se mide en términos de velocidad; debido a esto vemos en la Figura 3 como los problemas de infiltración se ven afectados por el RAS_{adj} , ya que esta forma de calcular la relación de adsorción de sodio, sobre estima los problemas de sodicidad teniendo más problemas de infiltración con 120 puntos de muestreo del sitio de muestreo con un ligero problema de infiltración y 5 con problemas severos de infiltración.

En el Cuadro 2 y en la Figura 1 se muestra la clasificación de las aguas de la zona de estudio, con base en el peligro de disminución de la infiltración con el RAS_{orig} , donde expone en su mayoría sin ninguna reducción de infiltración con 58%, con una reducción de la infiltración moderada o ligera con 40% y con una reducción severa de la infiltración 2%, en estos dos últimos puntos de muestreos se puede observar cómo están íntimamente relacionados la infiltración con el contenido de sales. En la Figura 1 se exhiben los puntos de muestreo, clasificados de acuerdo al diagrama de problemas de infiltración, que se integraron en el diagrama de la reducción de la infiltración propuesto por Rhoades (1997); y Oster y Schroer (1979).

En la Figura 2 se presentan los problemas de infiltración que pueden ocasionar, en relación con su CE y el RAS° teniendo 54% existe un problema ligero de reducción de la infiltración, 44% de los puntos de no observa ninguna reducción de infiltración y el resto (2%) muestra un severo problema en la infiltración.

These effects are similar to those caused by rainwater, which are of very low conductivity and can, therefore, cause excess of runoff in irrigated areas. Table 2 shows the results of SAR calculated by different conceptual approaches.

Infiltration refer to the ease with which water penetrates ground surface and it is measured in terms of speed; because of this Figure 3 shows how infiltration problems are affected by SAR_{adj} , as this way of calculating sodium absorption ratio overestimates sodicity, having more problems of infiltration with 120 sampling points from the sampling site with a slight infiltration problem and 5 with severe infiltration problems.

Table 2 and Figure 1 show the classification of water under the study area, based on the risk of decreased infiltration with SAR_{orig} , exhibiting mostly no reduction in infiltration with 58%; with a reduction of moderate or slight infiltration with 40% and severe reduction in infiltration 2%; on this last two sampling points can be seen how infiltration is closely related to salt content. Figure 1 shows the sampling points, classified according to the diagram of infiltration problems, which were integrated into the diagram of infiltration reduction proposed by Rhoades (1997); Oster and Schroer (1979).

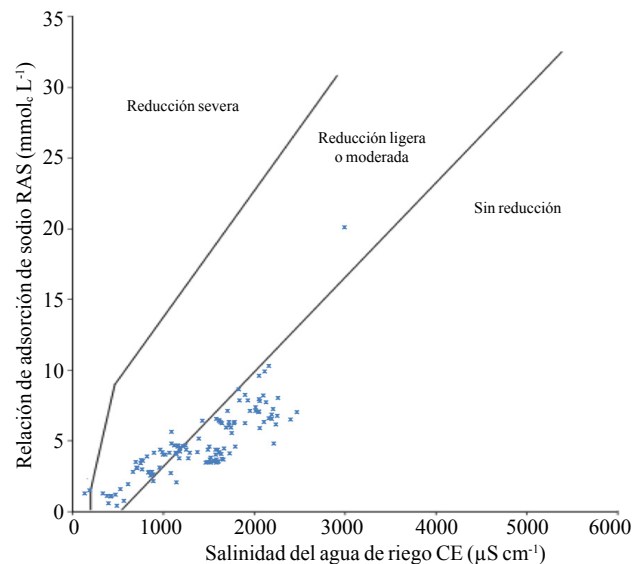


Figura 1. Reducción relativa de la infiltración provocada por la salinidad y la relación de adsorción de sodio (RAS_{orig}). Muestreo realizado en julio de 2012.

Figure 1. Relative reduction of infiltration caused by salinity and sodium adsorption ratio (SAR_{orig}). Sampling conducted in July 2012.

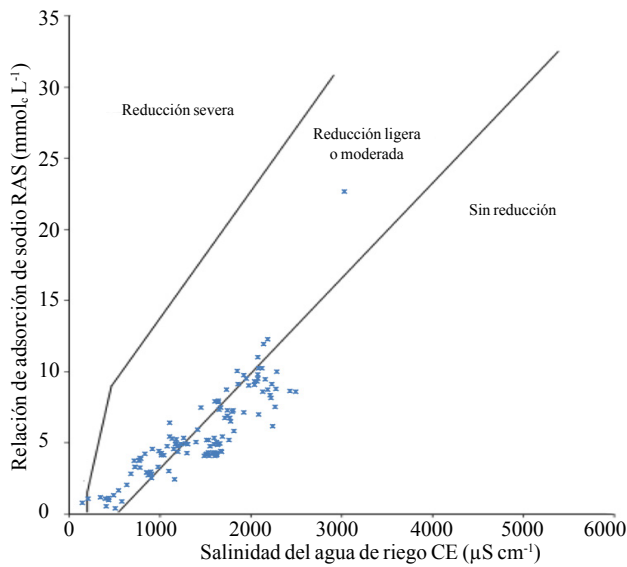


Figura 2. Reducción relativa de la infiltración provocada por la salinidad y la relación de adsorción de sodio (RAS°). Muestreo realizado en julio de 2012.

Figure 2. Relative reduction of infiltration caused by salinity and sodium adsorption ratio (SAR°). Sampling conducted in July 2012.

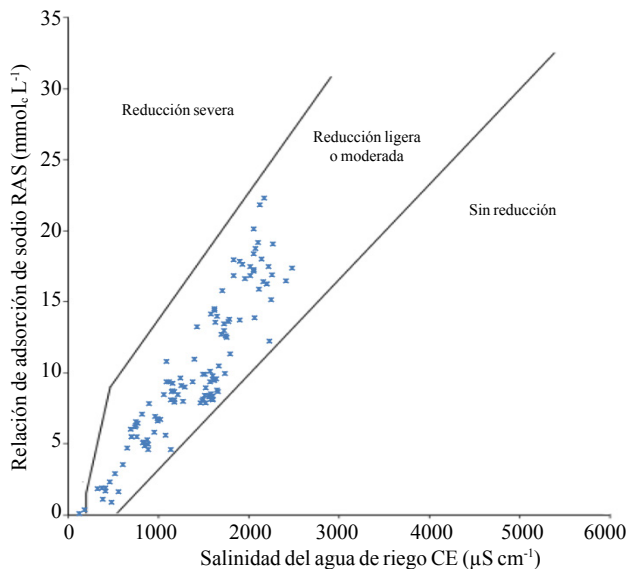


Figura 3. Reducción relativa de la infiltración provocada por la salinidad y la relación de adsorción de sodio (RAS_{aj}). Muestreo realizado en julio de 2012.

Figure 3. Relative reduction of infiltration caused by salinity and sodium adsorption ratio (SAR_{aj}). Sampling conducted in July 2012.

En la Figura 4, con el $RAS_{village}$ relacionándolo con la conductividad eléctrica se obtuvo los problemas de infiltración de la zona de estudio, demostrando que los problemas de infiltración son inversamente proporcionales a las conductividad eléctrica; esto quiere decir, que entre más

Figure 2 presents the infiltration problems that may cause, in relation to its EC and SAR° , having 54%, there is a slight problem of infiltration reduction, 44% of points show no reduction in infiltration and the rest (2%) shows severe infiltration problem.

In Figure 4, relating $RAS_{village}$ with electrical conductivity, the infiltration problems from study area were obtained, proving that infiltration problems are inversely proportional to electrical conductivity; This means, that as higher the conductivity the lower the infiltration problem. This relation can be observed clearly with the two samples that have severe infiltration problems, 65 samples have light infiltration problems and 58 don't show reduction in infiltration.

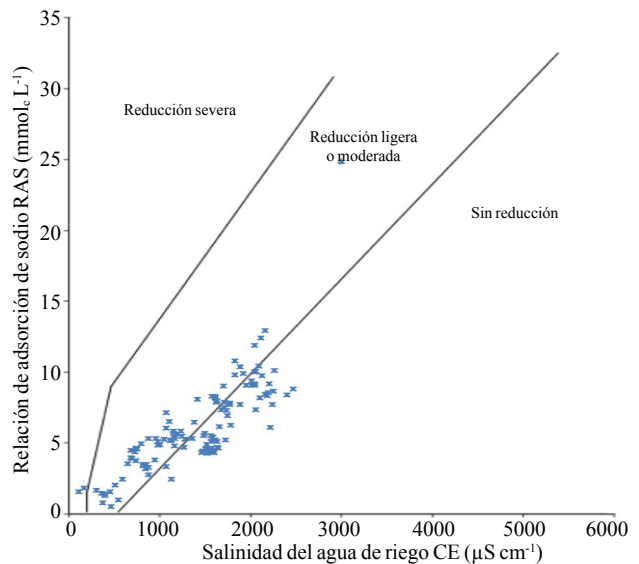


Figura 4. Reducción relativa de la infiltración provocada por la salinidad y la relación de adsorción de sodio ($RAS_{village}$). de sodio (RAS_{aj}). Muestreo realizado en julio de 2012.

Figure 4. Relative reduction of infiltration caused by salinity and sodium adsorption ratio ($SAR_{village}$) and (SAR_{aj}). Sampling conducted in July 2012.

Conclusions

Water used for irrigation in the irrigation districts 003 and 100 from Mezquital Valley, Hidalgo state, are affected by urban-industrial discharges from Mexico City and the Valley of Mexico.

The drainage of wastewater from Mexico City is taken to the Mezquital Valley, Hidalgo state and used for irrigation on different crops, so this paper classify this water with SAR

elevada sea la conductividad eléctrica menor será el problema de infiltración. Se puede observar bien esta relación con las 2 muestras que tienen problemas de infiltración severo, 65 muestras tienen problemas de infiltración ligero y 58 no muestran ninguna reducción de su infiltración.

Conclusiones

Las aguas que se utilizan para riego en los distritos de riego 003 y 100 del valle del Mezquital, estado de Hidalgo, se ven afectadas por los vertidos urbano-industriales de la ciudad de México y el Valle de México.

El sistema de drenaje de aguas residuales de la ciudad de México es llevada al valle del Mezquital, estado de Hidalgo y utilizada para el riego de diferentes cultivos, por lo que el presente trabajo clasifico esta agua con el RAS y los problemas de infiltración que pueden ocasionar, tomando en cuenta que la mayoría de esta agua son utilizada para el riego las clasificaciones aquí expuestas son dirigidas para ese fin. Se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS) de cuatro diferentes formas, este parámetro nos muestra la peligrosidad de las aguas de riego con respecto al sodio, así como las dosificaciones de las enmiendas requeridas con respecto al sodio. También se observó que las tres formas de calcular el RAS (RAS° , RAS_{orig} , y RAS_{villa}) los valores son muy similares.

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.

Literatura citada

- Aceves, E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Biblioteca Básica de Agricultura, 2ª Edición 2011.
- Aceves, N. E. y Palacios, O. V. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo.
- Alan, W. 1989. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Edición española. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Aguilera, C. M. y Martínez, E. R. 1996. Relaciones agua-suelo-planta atmósfera. Editorial Universidad Autónoma de Chapingo.
- Aguirre, G. A. 1993. Química de los suelos salinos sódicos. 1ª edición. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. México, D. F.

and infiltration problems that may cause, considering that most of this water are used for irrigation; the classifications herein exposed are intended for that purpose.

Sodium adsorption ratio (SAR) was calculated in four different ways, this parameter shows the danger of irrigation water regarding to sodium thus dosages of amendments required with respect to sodium. It was also noted that the three ways to calculate SAR (SAR° , SAR_{orig} , and SAR_{villa}) had very similar values.

Ca^{2+} is important in the stability of soil physical properties and especially hydraulic conductivity; its availability is affected by the solubilization and precipitation in the presence of bicarbonate.

End of the English version



- APHA- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992.
- Ayers, R. y D. Westcot. 1976. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper. 1. Rome.
- Ayers, R. S. and Westcott, D. W. 1985. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1, Roma, Italy. 174 p.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, 1996. M. fisiología y bioquímica vegetal. McGraw-Hill. Interamericana de España.
- Bauder, T. A.; Waskom, R. M. and Davis, J. G. 2007. Irrigation water quality criteria.
- Colorado State University Cooperative Extension (USA). 7-03. Núm. 0.506. www.ext.colostate.edu
- Besoain, E. Minealogía de arcillas de suelos. Ediciones Centro Iberoamericano de documentación e información agrícola CIDIAT. 1ª edición 1985.
- Besoain, E. Curso de Mineralogía de suelos” Ediciones Instituto interamericano de ciencias agrícolas. 1ª edición 1970.
- Canovas Cuenca J., 1978. Calidad Agronómica de las agua de riego. Publicaciones de extensión agraria. Madrid (España).
- Cornelius, K. y Cornelius, S. Manual de mineralogía. Editorial Reverté. 4ª Edición, 2007.
- Duque- Escobar, G. 2003. Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Del Valle, F. H. 1992. Prácticas de relaciones agua-suelo-atmósfera. Editorial Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- David Badia Villas, suelos afectados por sales. Unidad de Ecología (UAB), Ballaterra, Barcelona.
- E.A. Fitz Patrick 1984. Suelos su formación clasificación y distribución. Compañía editorial continental, S. A. de C. V., México.
- Organization of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 2008. AQUASTAT, FAO's information system on water and agriculture. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/globalmaps/index.stm>.
- Organization of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 2004. Economic valuation of water resources in agriculture: from the sectoral to a functional perspective of natural resource management. FAO Water Reports 27. FAO, Rome.

- Organization of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 2002. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, FAO, Rome FAO. 2008.
- García, J. Marco de referencia sobre el tratamiento de aguas residuales en México. En: Memorias de las conferencias sobre: Tratamiento anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, México, D.F. 8-9 de Noviembre. 1990.
- Hoffman, G. J.; Ayers, R. S.; Doering, E. J. and Mc Neal, B. L. 1990. Salinity in irrigated agriculture. *In*: agricultural irrigation. Chapter 5. Agronomy Monograph No. 30. Madison. 145-185 pp.
- Kovda, V. A.; Vanden Berg C. C. and Hogan, R. M. 1967. International source book on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity. FAO/UNESCO.
- Valverde, J. C. 2007. Riego y drenaje. Editorial Universidad Estatal a Distancia San José Costa Rica.
- Langelier, W. F. 1936. The analytical control of anti-corrosion water treatment. J. Am. Water Works Assn.
- Marín, G. M.; Aragón, R. P. y Gómez, B. C. 2002 Análisis químico de suelos y aguas. Manual de laboratorio. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Mass, E. V. 1990. Crop salt tolerance. Agricultural salinity assessment and management manual. Tanji, K. K. (Ed.). ASCE, New York USA.
- McNeal, B. L. 1968. Prediction of the effect of mixed-salt solutions on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am.
- Noyola, A. Los procesos anaerobios en el tratamiento de aguas residuales. *In*: I Seminario Internacional sobre biotecnología en la agroindustria cafetalera. Xalapa, Veracruz. México. 12-15 de abril. 1989.
- Núñez, J. 1981. Fundamentos de edafología. Editorial UNED, San José, Costa Rica.
- Okun, D. A. 2002. Water reuse introduces the need to integrate both water supply and wastewater management at local and regulatory level. Water Sci. Technol.
- Oron, G. 1987. Marginal-water application in arid zones. *GeoJournal*. 15(3):259-266.
- Ortega, M. Y. M. y Cíntora, G. Ma. J. S. 2005. Boro, fósforo e índices de salinidad en las aguas residuales para riego agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D. F.
- Ortega, E. M. 1993. Causas del ensalitramiento y su efecto sobre los suelos. Colegio de Postgraduados. Centro de Hidrociencias. Montecillo, Estado de México.
- Smith, D. G.; William, B. L.; Fox, E. G. 1985. Water quality standars. *In*: ocean outfall cand book. Water and Soil miscelaneous publications Núm.5 y 6 R.I.Z.
- Terrón, P. U. 2002. Fitotecnia: ingeniería de la producción vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Water at a glance: the relationship between water, agriculture, food security and poverty. Rome, FAO. (Disponible en <http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>, descargado 23 November 2008).