

Calidad del agua para uso agrícola del río San Pedro, Nayarit

Oscar Germán Martínez-Rodríguez¹
Álvaro Can-Chulim^{2§}
Héctor Manuel Ortega-Escobar³
Elia Cruz-Crespo²
José Irán Bojórquez-Serrano²
Juan Diego García-Paredes²

¹Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias-Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, México. CP. 63155. (ogmartinez.r@gmail.com). ²Unidad Académica de Agricultura-Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias-Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, México. CP. 63155. (ccruz2006@yahoo.com.mx; iranbojorquez@hotmail.com; digapar@gmail.com). ³Departamento de Hidrociencias-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (manueloe@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: canchulim@yahoo.com.mx.

Resumen

El área de estudio es de formación fluvio deltaica, con predominio de suelos cambisoles y fluvisoles. Los principales cultivos en la zona son frijol, maíz, sorgo, tabaco y tomatillo. Estos son regados con agua del río San Pedro. El agua superficial, cuando contiene altas concentraciones de sodio o bicarbonato, puede ocasionar efectos adversos en la agricultura. Con el objetivo de evaluar estos efectos, se establecieron nueve sitios de muestreo en el cauce y se realizaron cuatro muestreos en un periodo de dos años, en temporal de lluvia y sequía de cada año. Se determinó el pH, CE, aniones y cationes mayores, se estableció el tipo hidrogeoquímico y se calculó la RAS, RAS°, RASaj, PSI, CSR y el índice de saturación. En el tramo del río desde El Rosarito a El Mezcal, el agua es de tipo sódico-cálcico-magnésico bicarbonatada y de Mexcaltitán a Boca de Camichín, ésta fue clorurada-sódica. La RAS en sus diferentes conceptualizaciones para el primer tramo fueron de 0.38 a 1.58, la CE osciló entre 131-367 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y el PSI < 3%; mientras que, para el último tramo, la RAS varió entre 9.06-161.16, la CE entre 2 350-4 3130 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y el PSI entre 6.16-73.14%. Las aguas del río San Pedro de El Rosario a El Mezcal resultaron ser de excelente a buena calidad. Las aguas cloruradas-sódicas no son aptas para uso agrícola.

Palabras clave: hidrogeoquímica, índice de saturación, RAS ajustado.

Recibido: diciembre de 2019

Aceptado: enero de 2020

Introducción

La cuenca del río San Pedro, se ubica en los Estados de Durango, Zacatecas y Nayarit, abarca las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental y la Llanura Costera del Pacífico. La primera, es una de las grandes provincias ígneas silíceas del Cretácico-Cenozoico, donde los principales tipos de rocas son andesíticas, dacítico-riolíticas, ignimbritas y basaltos alcalinos, que yacen sobre un basamento del Precámbrico, Paleozoico y Mesozoico; en su zona centro, todas las rocas son calcialcalinas y su composición varía de diorita a granítica, siendo la grandiorítica la dominante (Ferrari *et al.*, 2005).

La Llanura Costera del Pacífico es un sistema fluvio deltaico formada por sedimentos de los ríos San Pedro, Santiago y Acaponeta y se relaciona con transgresiones marinas durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno (Curry *et al.*, 1969). Las rocas que conforman esta llanura son ígneas extrusivas del Terciario, depósitos aluviales y palustres, constituidos por arenas, gravas, limos y arcillas del Cuaternario (Ferrari *et al.*, 2005). Los principales suelos son cambisoles y fluvisoles (Bojórquez *et al.*, 2006).

La Llanura Costera es de gran importancia debido a que tiene una alta actividad agrícola, en el área de estudio 125 856 ha son cultivadas y de las cuales el 85% son de riego, y es donde el agua del río San Pedro se utiliza para el riego de frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horn.). Cuando esta agua se utiliza para tal fin, es importante considerar la calidad, ya que de acuerdo con esta es el manejo que se debe dar para prevenir los problemas que pudieran ocasionar.

Los elementos contenidos en las aguas naturales provienen de la disolución o meteorización de las rocas y suelos, y son transportados por las corrientes superficiales y depositados en los suelos de las partes más bajas, ya sea de manera natural o mediante el riego (Can-Chulim *et al.*, 2008). A partir de la composición iónica del agua, se utilizan diversos criterios, índices o asociaciones, que permiten clasificarlas, evaluar riesgos y determinar su calidad para la agricultura.

Entre estos se encuentra el peligro de salinización y el de sodificación por medio de la relación de adsorción de sodio (RAS) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), el carbonato de sodio residual (CSR) y otros (Mandal *et al.*, 2019). La mayoría se centra en el contenido de Na^+ , en la concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} y en el CO_3^{2-} y HCO_3^- . Si la concentración de Na^+ es alto, el peligro de alcalinización es elevado, esto se magnifica cuando existen altos contenidos de CO_3^{2-} y HCO_3^- , por la tendencia que tienen estos iones a formar precipitados con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , además de quedar en suspensión las sustancias más solubles, entre ellas el Na_2CO_3 .

Yaron y Tomas (1968) demostraron que altos contenidos de Na^+ en el agua de riego elevan considerablemente el PSI y cuando esto sucede declinan las propiedades físicas, químicas y nutricionales del suelo. En este estudio se realizó una clasificación hidrogeoquímica, se evaluó la calidad del agua para riego mediante los índices RAS, PSI, CSR, y el proceso de precipitación de los carbonatos mediante el Índice de saturación del agua del río San Pedro en Nayarit; con el objetivo de evaluar los efectos adversos que puede causar el uso de esta agua en la agricultura.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El río San Pedro nace en la sierra de Michis, en Durango, a 3 000 msnm y desemboca en el Océano Pacífico, su cauce cruza las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental y Llanura Costera del Pacífico. Su cuenca tiene un área de 29 366.53 km² (INEGI, 2010). La zona de estudio se localiza en la Llanura Costera del Pacífico, subcuenca San Pedro-Tuxpan; la cual abarca parte de los municipios de Rosamorada y Santiago Ixcuintla, completamente Ruíz y Tuxpan, en Nayarit; tiene un área de 3018.71 km²; predomina el clima cálido subhúmedo (Aw) con temperatura media anual de 23.8 °C, máxima de 26 °C y mínima de 20 °C, con las más altas temperaturas de mayo a octubre y con precipitaciones de junio a octubre con media anual de 1 555.8 mm (DOF, 2015).

Diseño de muestreo

Se establecieron nueve sitios de muestreo sobre el cauce del río San Pedro, ubicados en función de la fisiografía, las vías de comunicación y a la zona agrícola de la cuenca. Los sitios fueron El Rosarito (ER), San Pedro Ixcatán (SPI), El Venado (EV), Ruíz (RZ), El Tamarindo (ET), Tuxpan (TUX), El Mezcal (EM), Mexcaltitán (MEX) y Boca de Camichín (BC) (Figura 1).

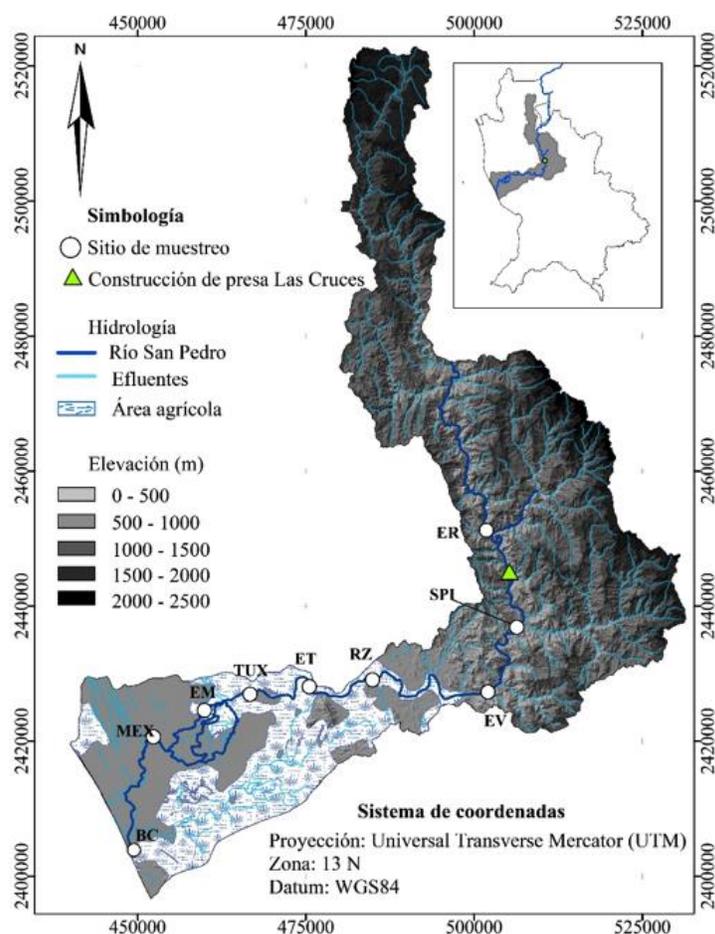


Figura 1. Sitios de muestreo en el cauce del río San Pedro en Nayarit.

Se realizaron cuatro muestreos en los meses de octubre 2016, abril 2017, diciembre 2017 y mayo 2018. Cada sitio fue georreferenciado usando un GPS con sistema de coordenadas UTM. Debido a los procesos de formación que afectan a la cuenca, a partir del Rosarito hasta el Mezcal se consideran el primer tramo y son aguas procedentes del cauce natural del río San Pedro. Los sitios Mexcaltitán y Boca de Camichín, por ser una zona de transición entre aguas continentales y aguas de intrusión marina, se consideraron segundo tramo. Se tomaron dos muestras en cada sitio, con recipientes de polietileno de 1 L.

Análisis químicos

Se determinaron por triplicado, basados en los métodos de APHA (2012): pH con un potenciómetro Thermo Scientific Orion Star A211; CE mediante un conductímetro Oakton CON 700; Ca^{2+} y Mg por titulación con EDTA; Na^+ y K^+ por el método fotométrico de emisión de flama con un Fotómetro Cole-Parmer; CO_3^{2-} y HCO_3^- por titulación con ácido sulfúrico; SO_4^{2-} por turbidimetría; y Cl^- por valoración con nitrato de plata de acuerdo a la norma NMX-AA-073-SCFI-2001.

Análisis de datos

Análisis hidrogeoquímico. Para establecer las facies hidrogeoquímicas, su evolución y las causas que influyen en la composición iónica de las aguas a lo largo de la cuenca del río San Pedro, se utilizó el diagrama de Piper (Güler *et al.*, 2002).

Parámetros de calidad

Régimen físico-químico o pH. Para uso agrícola el pH deseable se encuentra entre 5.5 y 6.5 (Steiner, 1968). Aunque de acuerdo a directrices de calidad del agua un intervalo de pH entre 6.5 y 8.5 es normal (Krishna *et al.*, 2017).

Conductividad eléctrica. Se clasificaron las aguas con base en la conductividad eléctrica (CE) de acuerdo a Richards (1990), quien establece que para prevenir la salinización de los suelos por la aplicación de riegos el agua se clasifica en: agua de salinidad baja ($\text{C1}: < 250 \mu\text{S cm}^{-1}$), agua de salinidad media ($\text{C2}: 250\text{-}750 \mu\text{S cm}^{-1}$), agua de salinidad alta ($\text{C3}: 750\text{-}2250 \mu\text{S cm}^{-1}$), agua de salinidad muy alta ($\text{C4}: 2\ 250\text{-}5\ 000 \mu\text{S cm}^{-1}$) y agua de salinidad excepcionalmente alta ($\text{C5}: > 5\ 000 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Contenido de sodio. Esta evaluación se realizó mediante la relación de adsorción de sodio (RAS). Este índice prevé el riesgo de sodificación y, en consecuencia, los posibles efectos que pueden tener las aguas sobre las propiedades físicas de los suelos por efectos del Na^+ al precipitar la calcita (CaCO_3). Se determinaron los valores de la RAS en sus diferentes conceptualizaciones: RAS original (RAS_{or}), RAS corregido (RAS°) y RAS ajustado (RAS_{aj}). Mediante las ecuaciones:

$$(\text{RAS}_{\text{or}}) = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}}; (\text{RAS}^\circ) = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}_x^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}}; (\text{RAS}_{\text{aj}}) = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}} [1 + (8.4 - \text{pH}_c)]$$

Donde: Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} se expresan en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Ca_x^{2+} representa el contenido de Ca en el agua de riego en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, corregido por la salinidad del agua (CE), por el contenido de iones

bicarbonato en relación con su propio contenido de calcio ($\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$) y por la presión parcial del dióxido de carbono (CO_2) ejercida en los primeros milímetros del suelo ($p= 0.0007 \text{ atm}$) (Suárez, 1981).

pH_c es el pH teórico en equilibrio con la calcita, y 8.4 es aproximadamente el pH de un suelo no sódico en equilibrio con la calcita. $\text{pH}_c = (\text{pK}'_2 - \text{pK}'_c) + \text{pCa} + \text{pAlk}$. pCa que es el logaritmo negativo de la concentración molar de $[\text{Ca}^{2+}]$; pAlk es logaritmo negativo de la concentración equivalente de $[\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-]$; pK'_2 y pK'_c son el logaritmo negativo de la segunda constante de disociación del H_2CO_3 $K'_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = 4.7 \times 10^{-11}$ y el producto de solubilidad de CaCO_3 $K'_c = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 5.0 \times 10^{-9}$, ambos corregidos por la fuerza iónica que ejercen los componentes del agua (Bower *et al.*, 1965).

Para determinar la fuerza iónica de las aguas del río San Pedro se utilizó la ecuación $I = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2$, donde C_i es la concentración molar de cada ion en solución y Z_i es su valencia. Para realizar el cálculo de $(\text{pK}'_2 - \text{pK}'_c)$ se utilizó la ecuación de Debye y Hückel con una determinada fuerza iónica (I) tal como sigue: $\text{pK}'_2 - \text{pK}'_c = \left\{ 2.0269 + \left[0.5092 \left(\frac{4(I)^{\frac{1}{2}}}{1+2(I)^{\frac{1}{2}}} + \frac{(I)^{\frac{1}{2}}}{1+1.45(I)^{\frac{1}{2}}} \right) \right] \right\}$. El número 2.0269 es la diferencia entre $\text{pK}'_2 - \text{pK}'_c$, el último término expresa la corrección de Debye y Hückel para una fuerza iónica específica de un tipo de agua determinado (Bower *et al.*, 1965).

La RAS en sus diferentes conceptualizaciones se clasifican en cuatro clases: agua baja en sodio (S1), agua media en sodio (S2), agua alta en sodio (S3) y agua muy alta en sodio (S4).

Porcentaje de sodio intercambiable (PSI). De acuerdo a Sposito y Mattigod (1977), si se asume que el Ca^{2+} y Mg^{2+} son químicamente iguales, en lo que se refiere al intercambio de cationes, y que los cationes intercambiables en el suelo son únicamente Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , la ecuación se plantea como:

$$\text{PSI} = \frac{K_G \text{RAS}_{100}}{1 + K_G \text{RAS}}$$

Se tomaron los valores de RAS_{or} , RAS° y RAS_{aj} del agua del río San Pedro y se calculó el PSI en los suelos, esto, bajo condiciones de equilibrio entre el agua de riego y el suelo. Para obtener los valores de PSI_{min} y PSI_{max} , las constantes de selectividad iónica K_G fueron las utilizadas por Velázquez-Machuca *et al.* (2002) $K_{G\text{min}} = 0.0072444$ y $K_{G\text{max}} = 0.0168999$ que corresponden a los suelos con textura areno-arcilloso-limoso y arcilloso, respectivamente.

Carbonato de sodio residual (CSR). Cuando el agua de riego tiene altas concentraciones de HCO_3^- y que además, es mayor que la concentración de Ca^{2+} más Mg^{2+} , existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio (Na_2CO_3). Debido a su alta solubilidad, el Na_2CO_3 puede permanecer en solución, aún después de que han precipitado los carbonatos de Ca^{2+} y Mg^{2+} a medida que la solución del suelo se vuelve más concentrada (Castellón-Gómez *et al.*, 2015). El índice CSR se calculó mediante la ecuación: $\text{CSR} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$.

Donde Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} y HCO_3^- se expresan en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Valores <1.25 se clasifican como de buena calidad, entre 1.25 y 2.5 como condicionada y >2.5 es no recomendable (Nishanthiny *et al.*, 2010). Valores negativos indican que no existe problema y positivos indican que el Ca^{2+} y Mg^{2+} precipitan, y entre mayor resulte el índice, mayor es la magnitud de la precipitación.

Índice de saturación. Cuando las aguas de riego tienen concentraciones apreciables de bicarbonatos, una fracción de este constituyente precipita en el suelo como CaCO_3 , de acuerdo con la ecuación: $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$. La precipitación reduce la salinidad del suelo, pero incrementa la proporción de Na^+ en la solución, y, en consecuencia, influye en el complejo de intercambio. Se utilizó el índice de saturación (IS) para conocer la tendencia de los iones HCO_3^- de las aguas de riego a precipitar en el suelo. El IS se define como el pH actual del agua (pH_a) menos el pH teórico que el agua tendría si estuviera en equilibrio con la calcita (pH_c) (Langelier, 1936). Índice de saturación (IS) = $\text{pH}_a - \text{pH}_c$. Valores positivos indican que el bicarbonato proveniente de las aguas de riego precipitará en CaCO_3 al entrar en contacto con el suelo y valores negativos indican que el agua de riego disociará calcita del suelo.

Resultados y discusión

Clasificación hidrogeoquímica. Mediante el diagrama de Piper (Figura 2), MEX y BC se clasifican como cloruradas-sódicas (Cl-Na) y se caracterizan por la intrusión de agua de mar, ya que se encuentran en una zona de transición entre aguas continentales y oceánicas. En los sitios ER al EM, el tipo hidrogeoquímico fue sódico-cálcico-magnésico-bicarbonatadas (Na-Ca-Mg-HCO_3). Según Madrigal-Solís *et al.* (2017), las aguas bicarbonatadas corresponden a agua reciente, que ha tenido poco tiempo de permanencia e interacción con las rocas, esta ausencia de cambios se relacionó con el gradiente altitudinal que no permite largos periodos de contacto con el material geológico.

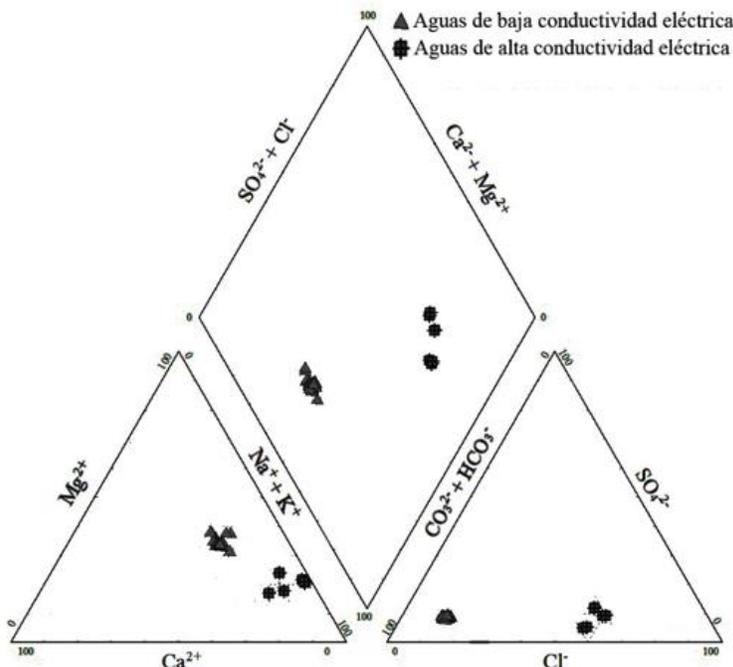


Figura 2. Clasificación hidrogeoquímica del agua de río San Pedro en Nayarit.

La composición iónica obedece el siguiente orden: $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$; para aniones fue $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, mientras que en MEX y BC fue $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$ (Cuadro 1). Las bajas concentraciones iónicas se deben al material silicatado que es insoluble. El comportamiento alcalino es ocasionado por las rocas ignimbritas y basaltos alcalinos de la Sierra Madre Occidental. Con base en Vidal-Solano *et al.* (2005), durante el magmatismo postsubducción las ignimbritas en su composición tienen altos contenidos de fierro y álcalis hasta de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8\text{-}10\%$, lo cual explica el comportamiento sódico del agua; además, de acuerdo con Aranda-Gómez *et al.* (2005), las rocas basálticas de la SMO son ricas en MgO y SiO_2 . Por eso, el Mg^{2+} es de los cationes con mayor contenido.

Régimen físico-químico (pH). Para el tramo ER-EM, en el temporal de lluvias, se obtuvieron aguas de pH neutro a medianamente alcalinos, con valores de 7.3 a 8. En periodo de estiaje el pH fue de medianamente alcalino a fuertemente alcalino, con valores de 7.7 a 8.9. Donde: los resultados más altos se obtuvieron en el cuarto muestreo. Para los sitios de muestreo de MEX y BC, el pH resultó ser de neutro a medianamente alcalino, en MEX el pH_{min} y pH_{max} fue de 7.3 y 7.8, y en BC de 7.3 y 7.7 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición iónica del agua del río San Pedro en Nayarit.

ID	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Clase											Error (%)
				Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Σ	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Σ	
(mmol _e L ⁻¹)														
Muestreo 1 de octubre 2016, temporada de lluvia														
ER	8	157	C1	0.32	0.5	0.65	0.06	1.53	0	1.18	0.19	0.12	1.49	1.32
SPI	7.7	141	C1	0.29	0.45	0.59	0.05	1.38	0	1.07	0.17	0.11	1.35	1.09
EV	7.8	131	C1	0.27	0.42	0.55	0.04	1.28	0	0.97	0.18	0.1	1.25	1.19
RZ	7.8	139	C1	0.29	0.45	0.58	0.04	1.36	0	1.02	0.19	0.11	1.32	1.49
ET	7.6	147	C1	0.3	0.47	0.62	0.05	1.44	0	1.1	0.18	0.12	1.4	1.41
TUX	7.4	158	C1	0.33	0.51	0.66	0.05	1.55	0	1.15	0.22	0.13	1.5	1.64
EM	7.4	184	C1	0.38	0.59	0.77	0.06	1.8	0	1.34	0.26	0.15	1.75	1.41
MEX	7.4	2530	C4	2.45	4.4	16.77	1.12	24.74	0	7.73	13.53	2.84	24.1	1.31
BC	7.3	23605	C5	5.57	49.8	172.6	2.88	230.8	0	87.36	126.2	11.26	224.8	1.31
Muestreo 2 de abril 2017, temporada de sequía														
ER	8.4	297	C2	0.6	0.95	1.24	0.11	2.9	0.12	2.12	0.36	0.23	2.83	1.22
SPI	8.5	276	C2	0.58	0.96	1.06	0.1	2.7	0.15	1.93	0.31	0.23	2.62	1.5
EV	8.5	266	C2	0.56	0.88	1.06	0.1	2.6	0.14	1.85	0.34	0.21	2.54	1.17
RZ	8.5	237	C2	0.52	0.8	0.91	0.09	2.32	0.12	1.65	0.28	0.2	2.25	1.53
ET	8.4	254	C2	0.56	0.82	1.01	0.09	2.48	0.14	1.74	0.32	0.2	2.4	1.64
TUX	8	314	C2	0.66	1.16	1.13	0.12	3.07	0	2.32	0.4	0.26	2.98	1.49
EM	8	367	C2	0.78	1.35	1.32	0.14	3.59	0	2.69	0.5	0.3	3.49	1.41
MEX	7.6	4010	C4	3.87	6.95	26.62	1.77	39.21	0	12.3	21.38	4.49	38.17	1.34
BC	7.4	35367	C5	7.36	70.7	263.5	4.32	345.8	0	131	188.9	16.89	336.9	1.31

ID	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Clase	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ	Error (%)	
				(mmol _c L ⁻¹)											
Muestreo 3 de diciembre 2017, temporada de lluvia															
ER	7.5	210	C1	0.44	0.68	0.84	0.09	2.05	0	1.55	0.27	0.18	2	1.23	
SPI	7.7	190	C1	0.39	0.61	0.78	0.08	1.86	0	1.41	0.24	0.16	1.81	1.36	
EV	7.6	180	C1	0.39	0.59	0.71	0.07	1.76	0	1.34	0.22	0.14	1.7	1.73	
RZ	7.8	190	C1	0.36	0.58	0.85	0.07	1.86	0	1.42	0.23	0.15	1.8	1.64	
ET	7.5	200	C1	0.41	0.64	0.83	0.08	1.96	0	1.5	0.24	0.15	1.89	1.82	
TUX	7.4	210	C1	0.44	0.69	0.82	0.1	2.05	0	1.58	0.25	0.16	1.99	1.49	
EM	7.3	210	C1	0.42	0.7	0.83	0.11	2.06	0	1.58	0.28	0.15	2.01	1.47	
MEX	7.3	3440	C4	4.98	5.67	21.43	1.56	33.64	0	10.18	19.62	2.92	32.72	1.39	
BC	7.5	43130	C5	8.9	86.25	321.3	5.28	421.7	0	159.6	230.5	20.6	410.8	1.32	
Muestreo 4 de mayo 2018, temporada de sequía															
ER	8.5	290	C2	0.56	0.98	1.17	0.13	2.84	0.12	2.03	0.37	0.25	2.77	1.25	
SPI	8.6	270	C2	0.42	0.98	1.11	0.13	2.64	0.12	1.87	0.35	0.23	2.57	1.34	
EV	8.7	260	C2	0.55	0.84	1.04	0.11	2.54	0.18	1.73	0.33	0.22	2.46	1.6	
RZ	8.6	230	C1	0.46	0.75	0.94	0.1	2.25	0.16	1.53	0.3	0.2	2.19	1.35	
ET	8.9	250	C2	0.42	0.91	1	0.11	2.44	0.18	1.7	0.29	0.2	2.37	1.46	
TUX	7.7	290	C2	0.61	0.94	1.17	0.12	2.84	0	2.15	0.37	0.25	2.77	1.25	
EM	7.8	290	C2	0.59	0.95	1.18	0.12	2.84	0	2.14	0.37	0.25	2.76	1.43	
MEX	7.8	16330	C5	12.98	37.61	98.69	9.41	158.7	0	46.45	93.2	13.87	153.5	1.66	
BC	7.7	43820	C5	9.08	87.98	321.9	5.39	424.4	0	157.1	235.2	21.01	413.3	1.32	

ID= identificación (sitio de muestreo); ER= El Rosarito; SPI= San Pedro Ixcatán; EV= El Venado; RZ= Ruiz; ET= El Tamarindo; TUX= Tuxpan; EM= El Mezcal; MEX= Mexcaltitán; BC= Boca de Camichín.

La mayoría de las sales derivan de una base fuerte como Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ y un ácido débil como CO₃²⁻ y HCO₃⁻, de acuerdo a Raviolo y Farré (2017) la hidrólisis de estas producen disoluciones acuosas básicas, mientras que el NaCl y MgSO₄ derivadas de una base fuerte con un ácido fuerte producen disoluciones neutras. La presencia de Na₂CO₃ proporciona al agua alcalinidad elevada (Sen, 2015), por esta razón el pH del río San Pedro se encuentran por encima de la neutralidad (pH > 7). Los valores normales de pH en el agua de riego van de 6.5 a 8.5, las aguas del río San Pedro en periodo de sequía alcanzaron valores hasta de 8.9, de acuerdo con Hong *et al.* (2013) estas tendrán implicaciones sobre la disponibilidad y el manejo de nutrientes. Si se utilizan para el fertirriego será necesario disminuir el pH entre 5.5 y 6.5.

Conductividad eléctrica. La CE_{min} y CE_{max} en el tramo ER-EM fueron de 131 y 367 $\mu\text{S cm}^{-1}$, en MEX fue de 2 530 y 16 330 $\mu\text{S cm}^{-1}$, y en BC de 23 605 y 43 820 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Al concluir el temporal de lluvias, las aguas del tramo ER-EM se clasificaron como C1; sin embargo, en periodo de sequía, solo RZ siguió clasificada como C1, los demás sitios se clasificaron como C2. MEX se clasificó en los muestreos 1, 2 y 3 como C4, en el muestreo 4 al igual que todas las muestras de BC se

clasificaron como C5 (Cuadro 1). Las aguas clasificadas como C1, pueden usarse para la mayoría de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad que se desarrolle salinidad. Las aguas denominadas C2 pueden usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado, en casi todos los casos no se necesitan prácticas especiales de control de la salinidad. El agua del río San Pedro en función de su CE puede utilizarse para el riego desde ER hasta EM. Para $CE > 3\ 000\ \mu\text{S cm}^{-1}$ el grado de restricción es severo (Castellón-Gómez *et al.*, 2015), esta situación se presenta para MEX y BC, por eso no se recomienda para el riego.

Contenido de sodio. Los valores de RAS_{or} , RAS° y RAS_{aj} fueron menores a 1.6 en las muestras del tramo ER-EM, y se clasificaron como S1, tanto en el temporal de lluvias como en el de sequía. Pueden usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Con la RAS_{or} MEX se clasificó como S3 en los muestreos 1, 2 y 3, mientras que en el muestreo 4, así como en todas las muestras de BC se clasificaron como S4. Con la RAS_{aj} , MEX y BC fueron S4 en los cuatro muestreos (Cuadro 2). Las aguas S3 y S4, son inadecuadas para uso agrícola, de acuerdo con Richards (1990); Mandal *et al.* (2019) pueden producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en los suelos y provocar problemas de infiltración, dispersión de las partículas y pérdida de la estructura.

Cuadro 2. RAS_{or} , RAS° , RAS_{aj} , PSI, CSR e IS del agua del río San Pedro en Nayarit.

ID	RAS	Clase	PSI	RAS°	Clase	PSI	RAS_{aj}	Clase	PSI	CSR	Clasificación	IS	Clasificación
Muestreo 1, temporada de lluvia													
ER	1.02	S1	1.21	0.82	S1	0.98	0.55	S1	0.67	0.36	B	-0.83	Diluye
SPI	0.97	S1	1.16	0.76	S1	0.91	0.46	S1	0.56	0.33	B	-1.21	Diluye
EV	0.94	S1	1.12	0.71	S1	0.85	0.38	S1	0.46	0.28	B	-1.15	Diluye
RZ	0.95	S1	1.14	0.74	S1	0.88	0.44	S1	0.53	0.28	B	-1.17	Diluye
ET	1	S1	1.19	0.79	S1	0.94	0.49	S1	0.59	0.33	B	-1.36	Diluye
TUX	1.02	S1	1.21	0.82	S1	0.98	0.57	S1	0.68	0.31	B	-1.4	Diluye
EM	1.11	S1	1.31	0.92	S1	1.11	0.74	S1	0.88	0.37	B	-1.33	Diluye
MEX	9.06	S3	9.72	10.14	S3	10.73	18.32	S4	17.68	0.88	B	-0.01	Diluye
BC	32.8	S4	27.43	-	-	-	101.54	S4	52.78	31.99	NR	0.96	Precipita
Muestreo 2, temporada de sequía													
ER	1.41	S1	1.67	1.32	S1	1.57	1.49	S1	1.77	0.69	B	0.05	Precipita
SPI	1.21	S1	1.44	1.12	S1	1.33	1.23	S1	1.46	0.54	B	0.08	Precipita
EV	1.25	S1	1.49	1.14	S1	1.36	1.23	S1	1.46	0.55	B	0.08	Precipita
RZ	1.12	S1	1.33	1	S1	1.19	1.02	S1	1.21	0.45	B	-0.02	Diluye
ET	1.22	S1	1.44	1.1	S1	1.31	1.17	S1	1.39	0.5	B	-0.08	Diluye
TUX	1.18	S1	1.41	1.14	S1	1.35	1.32	S1	1.57	0.5	B	-0.25	Diluye
EM	1.28	S1	1.52	1.26	S1	1.5	1.58	S1	1.87	0.56	B	-0.14	Diluye
MEX	11.44	S3	11.93	13.24	S3	13.52	27.02	S4	23.86	1.48	C	0.56	Precipita
BC	42.17	S4	32.5	-	-	-	140.2	S4	60.35	52.98	NR	1.33	Precipita

ID	RAS	Clase	PSI	RAS°	Clase	PSI	RASaj	Clase	PSI	CSR	Clasificación	IS	Clasificación
Muestreo 3, temporada de lluvia													
ER	1.12	S1	1.34	0.98	S1	1.16	0.88	S1	1.06	0.43	B	-1.11	Diluye
SPI	1.1	S1	1.31	0.94	S1	1.12	0.78	S1	0.93	0.41	B	-0.96	Diluye
EV	1.01	S1	1.21	0.85	S1	1.02	0.7	S1	0.84	0.36	B	-1.11	Diluye
RZ	1.24	S1	1.47	1.05	S1	1.25	0.83	S1	0.99	0.48	B	-0.93	Diluye
ET	1.15	S1	1.36	0.99	S1	1.18	0.86	S1	1.03	0.45	B	-1.11	Diluye
TUX	1.09	S1	1.3	0.95	S1	1.14	0.87	S1	1.03	0.45	B	-1.2	Diluye
EM	1.11	S1	1.32	0.97	S1	1.16	0.86	S1	1.03	0.46	B	-1.37	Diluye
MEX	9.29	S3	9.93	11.75	S3	12.2	22.36	S4	20.68	-0.47	B	0.35	Precipita
BC	46.59	S4	34.64	-	-	-	161.16	S4	63.5	64.5	NR	1.56	Precipita
Muestreo 4, temporada de sequía													
ER	1.33	S1	1.58	1.24	S1	1.47	1.35	S1	1.6	0.61	B	0.11	Precipita
SPI	1.33	S1	1.57	1.22	S1	1.44	1.14	S1	1.36	0.59	B	0.02	Precipita
EV	1.25	S1	1.48	1.12	S1	1.34	1.21	S1	1.44	0.52	B	0.22	Precipita
RZ	1.21	S1	1.44	1.05	S1	1.26	1.01	S1	1.21	0.48	B	0.05	Precipita
ET	1.23	S1	1.46	1.1	S1	1.31	1.03	S1	1.23	0.55	B	0.33	Precipita
TUX	1.33	S1	1.58	1.25	S1	1.48	1.41	S1	1.67	0.6	B	-0.65	Diluye
EM	1.34	S1	1.59	1.26	S1	1.49	1.4	S1	1.66	0.6	B	-0.56	Diluye
MEX	19.62	S4	18.67	-	-	-	63.65	S4	41.69	-4.14	B	1.68	Precipita
BC	46.21	S4	34.46	-	-	-	159.87	S4	63.32	60.08	NR	1.8	Precipita

ID= identificación (sitio de muestreo); ER= El Rosarito; SPI= San Pedro Ixcatán; EV= El Venado; RZ= Ruiz; ET= El Tamarindo; TUX= Tuxpan; EM= El Mezcal; MEX= Mexcaltitán; BC= Boca de Camichín. B= buena, C= condicionada; NR= no recomendable.

Se calculó la fuerza iónica para determinar el pHc implícito en la RASaj. La fórmula para determinar el coeficiente de actividad de cualquier ion en una solución es la de Debye-Hückel: $-\log\gamma_i = 0.51Z_i^2I^{1/2}$, siendo la fuerza iónica (I) la única variable $I = \frac{1}{2}\sum C_iZ_i^2$. De acuerdo con la correlación entre la CE y la I, esta última puede ser determinada a partir de la CE de cualquier solución en su relación funcional $I = \alpha f(CE)$, donde α es una constante que depende de la composición iónica de las soluciones salinas, y CE es la conductividad eléctrica experimental.

En la Figura 3 se muestra la relación experimental $I = \alpha f(CE)$ de las aguas del río San Pedro (a) para el tramo ER-EM con baja conductividad eléctrica y, (b) para el tramo MEX-BC, aguas con alta conductividad eléctrica. El valor de α para las aguas con baja CE fue $\alpha = 0.0129$ y para las de alta CE fue $\alpha = 0.011$. Estas constantes pueden ser utilizadas para aguas con baja y alta CE, no obstante, la I es única para una composición determinada, el valor de esta depende de la concentración de cada componente iónico y de su respectiva valencia.

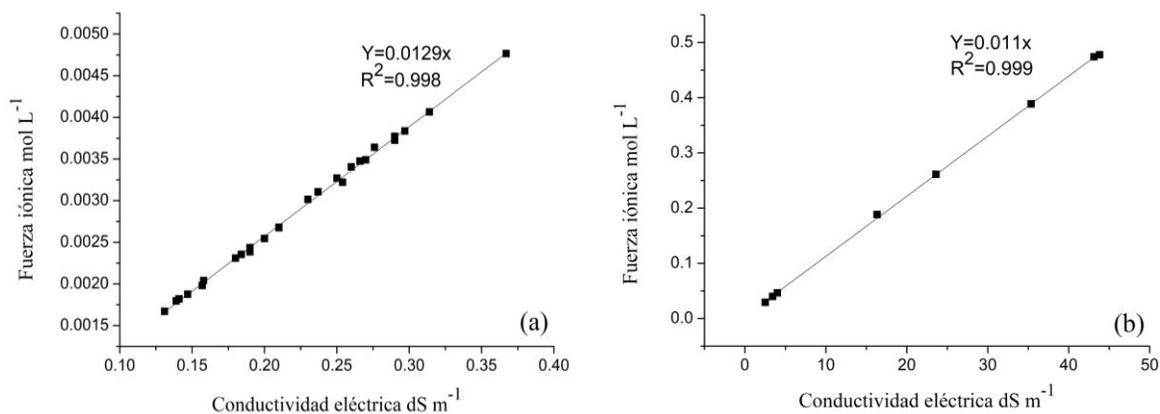


Figura 3. Relación funcional de la fuerza iónica con la conductividad eléctrica del agua del río San Pedro, Nayarit (a) ER-EM; y (b) MEX-BC.

Leffelaar *et al.* (1983) en 50 extractos a saturación de varios perfiles de suelos, obtuvieron un coeficiente de $\alpha=0.0144$ y López-García *et al.* (2016) en aguas residuales obtuvieron un $\alpha=0.0116$. Estos coeficientes de actividad resultaron similares a los determinados en el agua del río San Pedro, por lo tanto, con la CE es suficiente para obtener una fuerza iónica con alto grado de aproximación.

Porcentaje de sodio intercambiable. De acuerdo con las constantes de selectividad de Gapon utilizadas y las diferentes conceptualizaciones de RAS, se obtuvo el PSI_{\min} y PSI_{\max} de las aguas del río San Pedro. Para el tramo ER-EM con baja CE los valores máximos de PSI, que pueden alcanzar las aguas del río al ser aplicadas en los suelos, resultaron por debajo de 3%. Mexcaltitán con las diferentes RAS su PSI fue de 13.3 a 51.8% y BC de 35.7 a 73.1%. En el Cuadro 2 se presentan las medias del PSI para cada sitio de muestreo. Las sales predominantes del agua del río San Pedro son los bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio, seguidos del NaCl, y cuando existen los procesos de evaporación aparece el carbonato de sodio.

De acuerdo a López-García *et al.* (2016), debido a la alta solubilidad de las sales de sodio, estas se encuentran disueltas aún en condiciones de evaporación, y el sistema $CO_3^{2-}-HCO_3^-$ podría convertirse en $CaMg(CO_3)_2$, lo que aumenta la concentración del sodio en las soluciones y a su vez el PSI. Elbashier *et al.* (2016) mencionaron que el PSI del suelo y la RAS son aproximadamente iguales. En la Figura 4 se muestra la relación PSI-RAS para las distintas formulaciones de RAS de las aguas del río San Pedro. Se observa que las variaciones del PSI en los suelos dependen de los valores de K_G , si se analiza la relación $K_G = \frac{RSI}{RAS}$, la relación de sodio intercambiable $RSI = \frac{SI}{(CIC-SI)}$, esta en función del sodio intercambiable (SI) y de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y esta última, a su vez depende del contenido de arcillas, o bien, de la textura del suelo.

Por lo tanto, al incrementar la RAS, la magnitud del aumento del PSI estará en función de la textura, tal como se muestra en la Figura 4, donde el PSI_{\max} corresponde a un suelo arcilloso, mientras que el PSI_{\min} a un suelo areno-arcillo-limoso.

Los valores de PSI que pueden alcanzar las aguas del río San Pedro del tramo ER-EM no presentan riesgo para la aplicación en los suelos; sin embargo, Castellanos *et al.* (2000), mencionan que algunos suelos pueden presentar problemas de permeabilidad desde 5% de sodio intercambiable,

en especial si son arcillosos. La zona agrícola de la cuenca del río San Pedro se caracteriza por tener suelos cambisol y fluvisol de textura gruesa a media (Bojórquez *et al.*, 2006) por lo tanto, el PSI será menor al PSI_{max} calculado. En la práctica, los valores de PSI reales en suelo comúnmente resultan ser mayores a los calculados por medio de fórmulas, esto se debe a que la solución del suelo casi siempre posee mayor concentración de sodio que el agua de riego.

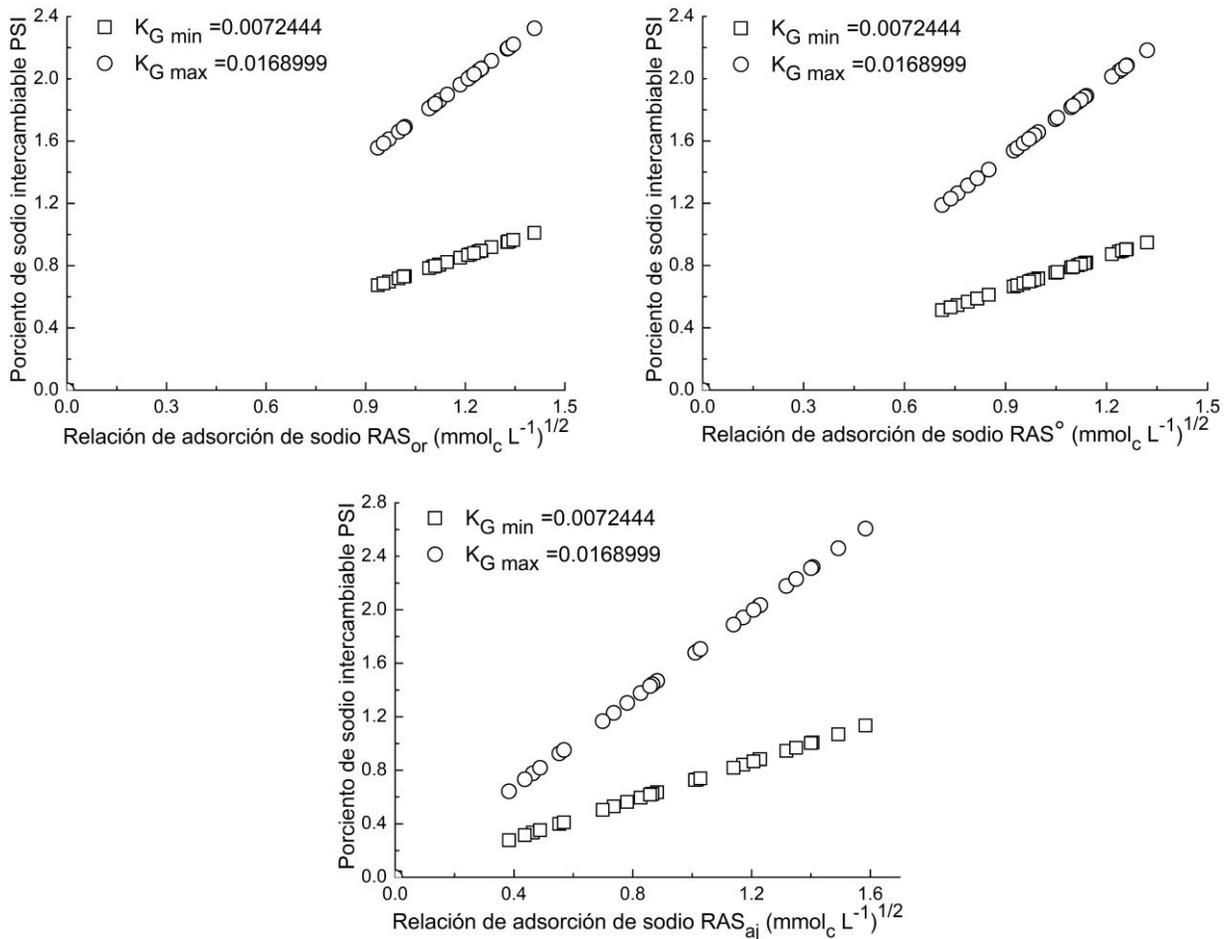


Figura 4. Relación PSI-RAS del agua del río San Pedro en Nayarit.

Carbonato de sodio residual. El CSR indica que los sitios ER al EM y MEX en los muestreos 1, 3 y 4 se clasificaron como agua de buena calidad (<1.25). En el muestreo 2, MEX se clasifica como condicionada; BC en los cuatro muestreos se clasificó como no recomendable (Cuadro 2). Los valores positivos indican que existe mayor contenido de CO_3^{2-} y HCO_3^- que Ca^{2+} y Mg^{2+} ; sin embargo, esta diferencia no fue significativa para restringir el uso de estas aguas para el riego. En periodo de sequía se obtuvieron valores más elevados que en el de lluvias, esto es porque los caudales se reducen y las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} por tener menor solubilidad que las sales de Na^+ , precipitan en forma de carbonatos. Dhembare (2012) menciona que cuando se obtienen valores negativos se deben a que el Ca^{2+} y Mg^{2+} no precipitan y permanecen en solución. Castellón-Gómez *et al.* (2015) mencionan que las aguas con altos valores de CSR no son riesgosas si se utilizan en fertirriego, ya que los CO_3^{2-} y HCO_3^- pueden ser destruidos mediante la adición de ácidos.

Índice de saturación (IS). En el temporal de lluvias para los sitios ER al EM se obtuvieron valores negativos, lo que indica que las aguas del río San Pedro al ser aplicadas en el riego disolverán CaCO_3 del suelo. En periodo de sequía, en el segundo muestreo, en los sitios ER, SPI y EV el agua mostró una tendencia a precipitar CaCO_3 en el suelo, esto sucedió también en el muestreo 4 desde ER hasta ET, los demás sitios obtuvieron valores negativos. En las aguas de MEX y BC, se obtuvieron valores positivos, a excepción de MEX en el muestreo 1 (Cuadro 2).

La predominancia de bicarbonatos en las aguas del río San Pedro sugiere cierto peligro para ser utilizadas para el riego. De acuerdo con Hannam *et al.* (2019), las aguas con elevadas concentraciones de HCO_3^- , tienden a precipitar el calcio en forma de carbonatos, a medida que se concentra la solución del suelo. Con base a la solubilidad de las sales de CO_3^{2-} y HCO_3^- , que pueden formarse con los cationes mayoritarios en el agua, el CaCO_3 será el primero en precipitar, seguido del MgCO_3 , procesos que ocurren de manera general a $\text{pH} > 8.2$, por lo que al aplicar el riego con aguas con este pH habrá precipitados. El IS indica que en el temporal de lluvias las aguas del río San Pedro disolverán calcita del suelo, no obstante, en el proceso de evaporación, los CO_3^{2-} y HCO_3^- tenderán a precipitar, tal como en el periodo de sequía. López-García *et al.* (2016), mencionan que la precipitación de la calcita ocasiona que el Ca^{2+} deje de participar en el complejo de intercambio, y tome mayor participación el Na^+ . La presencia del Na^+ en el complejo de intercambio catiónico influye de manera determinante en las propiedades fisicoquímicas del suelo, ya que alto contenido de este ion en el agua eleva considerablemente el PSI y este a su vez el pH.

Conclusiones

El agua del río San Pedro en Nayarit del tramo El Rosarito (ER) hasta El Mezcal (EM) fue de tipo sódico-cálcico-magnésico-bicarbonatada y presentan mayor alcalinidad ($\text{pH} > 7$); son de baja conductividad eléctrica por el poco tiempo de permanencia, la insolubilidad de los minerales silicatados de la Sierra Madre Occidental y la ausencia de fuentes de contaminación significativas; son de buena calidad para el riego de cultivos. En el tramo MEX-BC fue clorurada-sódica por la mezcla con el agua de intrusión marina y no son aptas para su uso agrícola.

El CSR y el índice de saturación indican que estas aguas tienden a precipitar CaCO_3 cuando ocurre el proceso de evaporación y en la temporada de sequía. Los suelos agrícolas del área están formados por sedimentos aluviales del río San Pedro, por lo tanto, en longitud de tiempo geológico-histórico los perfiles pedogeocímicos de los suelos se enriquecen de manera constante con calcita microscópica.

Literatura citada

- American Public Health Association (APHA). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC, EEUU.
- Aranda-Gómez, J. J.; Luhr, J. F.; Housh, T. B.; Valdez-Moreno, G. y Chávez-Cabello, G. 2005. El volcanismo tipo intraplaca del Cenozoico tardío en el centro y norte de México: una revisión. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 57(3):187-225.
- Bojórquez, I.; Nájera, O.; Hernández, A.; Flores, F.; González, A.; García, D. y Madueño, A. 2006. Particularidades de formación y principales suelos de la Llanura Costera Norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*. 27(4):19-26.

- Bower, C. A.; Wilcox, L. V.; Akin, G. W. and Keyes, M G. 1965. An index of the tendency of CaCO_3 to precipitate from irrigation waters. *Soil Sci. Soc. Proceed.* 29(1):91-92.
- Can-Chulim, A.; Ramírez-Ayala, C.; Ortega-Escobar, M.; Trejo-López, C. y 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.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Segunda edición. 24-25 pp.
- Castellón-Gómez, J. J.; Bernal-Muñoz, R. y Hernández-Rodríguez, M. L. 2015. Calidad de agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería.* 19(3):39-50.
- Curry, J. R.; Emmel, F. and Crampton, P. 1969. Holoceno history of strand plain, lagoonal coast, Nayarit, Mexico. *Memorias del Simposio Internacional de Lagunas Costeras.* Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). México, DF. 63-100 pp.
- Dhembare, A. J. 2012. Assessment of water quality indices for irrigation of Dynaneshwar Dam water, Ahmednagar, Maharashtra, India. *Arch. Appl. Sci. Res.* 4(1):348-352.
- DOF. 2015. Diario Oficial de la Federación (Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero San Pedro-Tuxpan (1802), estado de Nayarit. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Agua Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos.
- Elbasher, M. A.; Xiaohou, S.; Ali, A. A. and Osman, B. 2016. Modeling of soil exchangeable sodium percentage function to soil adsorption ratio on sandy clay loam soil, Khartoum-Sudan. *Inter. J. Plant Soil Sci.* 10(5):1-6.
- Ferrari, L.; Valencia-Moreno, M. y Scott, B. 2005. Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.* 52(3):343-478.
- Güler, C.; Thyne, G. D.; McCray, J. E. and Turner, K. A. 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeol. J.* 10(4):455-474.
- Hannam, K. D.; Midwood, A. J.; Neilsen, D.; Forge, T. A. and Jones, M. D. 2019. Bicarbonates dissolved in irrigation water contribute to soil CO_2 efflux. *Geoderma.* 337:1097-1104.
- Hong, J.; Chen, G.; Huang, X.; Zhang, L.; Ge, M.; Wang, S.; Du, L.; Ye, L. and Lian, Z. 2013. The effect of pH value of irrigation water on the available nutrients in soil. *WIT Transactions on Ecol. Environ.* 189:471-479.
- INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica escala 1:50,000 INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. RH11.
- Krishna, K. S.; Babu, S. H.; Rao, P. E.; Selvakumar, S.; Thivya, C.; Muralidharan, S. and Jeyabal, G. 2017. Evaluation of water quality and hydrogeochemistry of Surface and groundwater, Tiruvallur District, Tamil Nadu, India. *Appl. Water Sci.* 7(5):2533-2544.
- Langelier, W. F. 1936. The analytical control of anti-corrosion water treatment. *J. Amer. Water Works Assn.* 28(10):1500-1521.
- Leffelaar, P. A.; Kamphorst, A. y Pal, R. 1983. Nomographic estimation of activity coefficients from the electrical conductivity data of soil extracts. *Indian Soc. Soil Sci.* 31(20):20-27.
- López-García, A. D.; Ortega-Escobar, H. M.; Ramírez-Ayala, C.; Sánchez-Bernal, E. I.; Can-Chulim, A.; Gómez-Meléndez, D. J. y Vázquez-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.

- Madrigal-Solís, H.; Fonseca-Sánchez, A. y Reynolds-Vargas, J. 2017. Caracterización hidrogeoquímica de los acuíferos volcánicos Barva y Colima en el Valle Central de Costa Rica. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 8(1):115-132.
- Mandal, S. K.; Dutta, S. K.; Pramanik, S. and Kole, R. K. 2019. Assessment of river water quality for agricultural irrigation. *Inter. J. Environ. Sci. Technol.* 16(1):451-462.
- Nishanthiny, C.; Thushyanthy, S.; Barathithasan, T. and Saravanan, S. 2010. Irrigation water quality based on hydro chemical analysis, Jaffna, Sri Lanka. *American- Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 7(1):100-102.
- NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba (cancela a la NMX-AA-073-1981). Secretaría de Economía (SE). México.
- Raviolo, A. y Farré, A. 2017. Una evaluación alternativa del tema titulación ácido-base a través de una simulación. *Educación Química*. 28(3):163-173.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual núm. 60. Sexta reimpression. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-Laboratorio de Salinidad. Limusa. México, DF. 85-88 pp.
- Sen, Z. 2015. *Practical and applied hydrogeology*. Elsevier. 1st (Ed.). Amsterdam, Netherlands. 424 p.
- Sposito, G. y Mattigod, S. V. 1977. On the chemical foundation of the sodium adsorption ratio. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 41(2):323-329.
- Steiner, A. A. 1968. Soilless culture. *In: fertilization of protected crops, proceedings*. International Potash Institute. (Ed.). Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. International Potash Institute. Florence, Italy. 324-341 pp.
- Suarez, D. L. 1981. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of drainage waters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45(3):469-475.
- Velázquez-Machuca, M. A.; Ortega-Escobar, M.; Martínez-Garza, A.; Kohashi-Shibata, J. y García-Calderón, N. 2002. Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Terra*. 20(4):459-464.
- Vidal-Solano, J.; Paz-Moreno, F. A.; Iriondo, A.; Demant, A. and Cochemé, J. J. 2005. Middle Miocene peralkaline ignimbrites in the Hermosillo region (Sonora, México): Geodynamic implications. *C. R. Geosciences*. 337(16):1421-1430.
- Yaron, B. N. and Tomas, G. S. W. 1968. Soil hydraulic conductivity as affected by sodic water. *Water Res. Resch.* 4(3):545-552.