Caracterización fisicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la localidad de Chicavasco, estado de Hidalgo, México

Physicochemical characterization of saline agricultural soils in the town of Chicavasco, Hidalgo State, Mexico

DOI: 10.46932/sfjdv3n1-026

Received in: Dec 30st, 2021

Accepted in: Jan 1th, 2022

Cristián Raziel Delgado-González

estudiante del Doctorado en Ciencias Agropecuarias en el Instituto en Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Tulancingo, Hidalgo
E-mail: mislas@uaeh.edu.mx

Rodrigo Rodríguez-Laguna

profesor investigador de la UAEH, Tulancingo
E-mail: Hidalgo mislas@uaeh.edu.mx

Juan Capulín-Grande

profesor investigador de la UAEH, Tulancingo
E-mail: Hidalgo mislas@uaeh.edu.mx

Alfredo Madariaga-Navarrete

profesor investigador de la UAEH, Tulancingo
E-mail: Hidalgo mislas@uaeh.edu.mx

Margarita Islas-Pelcastre

profesora investigadora de la UAEH, Tulancingo, Hidalgo
E-mail: mislas@uaeh.edu.mx

RESUMEN

Los suelos agrícolas salinos tienen altas concentraciones de sales solubles (cloruro de sodio), que afectan el crecimiento de cultivos, al disminuir la asimilación de nutrientes y la actividad microbiana. Las plantas pueden ser tolerantes a la salinidad del suelo, pero dependen de algunas propiedades como textura, conductividad eléctrica, pH, entre otros. Este trabajo evaluó un suelo agrícola erosionado por salinidad, mediante parámetros físicos y químicos, para proponer un proceso biológico de recuperación. Los resultados mostraron alto contenido de sodio (2750 ppm), pH de 8.2, conductividad eléctrica de 8.5 dS/m y 19.89 de sodio intercambiable (ESP). Por esta razón, se puede clasificar como un suelo salino-sódico, además los altos valores de pH y conductividad eléctrica infieren baja disponibilidad de algunos micronutrientes, dificultando la absorción de estos a los cultivos. Las características fisicoquímicas del suelo refieren un suelo con baja fertilidad y poca probabilidad para el desarrollo vegetal.

Palabras clave: Salinidad, suelos, caracterización, fisicoquímicas, biodisponibilidad.

ABSTRACT

Saline agricultural soils have high concentrations of soluble salts (sodium chloride), which affect crop growth by reducing nutrient assimilation and microbial activity. Plants can be tolerant to soil salinity, but

they depend on some properties such as texture, electrical conductivity, pH, among others. This work evaluated an agricultural soil eroded by salinity, using physical and chemical parameters, to propose a biological recovery process. The results showed high sodium content (2750 ppm), pH of 8.2, electrical conductivity of 8.5 dS/m and 19.89 exchangeable sodium (ESP), which can be classified as a saline-sodic soil, and the high pH and electrical conductivity values infer low availability of some micronutrients, making their absorption by crops difficult. The physicochemical characteristics of the soil indicate a soil with low fertility and low probability for plant development.

Keywords: Salinity, soils, characterization, physicochemical, bioavailability.

1 INTRODUCCIÓN

La salinización es un ejemplo de la degradación del suelo agrícola. La causa de los procesos en la salinización puede ser multifactorial, existen de manera natural en las zonas áridas y semiáridas del planeta, se caracterizan por escasas precipitaciones y elevadas tasas de evaporación. Otro factor es el uso de agua de riego con alto contenido de sales, prácticas inapropiadas de cultivos, el uso excesivo de químicos, entre otros.

Lopez-Sanchez *et al.* (2018), refiere que “alrededor del 7 % de las tierras cultivables en el mundo están afectadas por sales y para los próximos años se estima su incremento en más de un 20 %, por lo cual se considera la salinidad uno de los problemas más importantes para la agricultura a nivel internacional”. Se estima que más del 40% de los suelos de uso agrícola a nivel mundial son sódicos y salinos, en consecuencia, las prácticas agrícolas en estos sitios son muy bajas. Incluso el rendimiento real producido a partir de suelos salinos promedia un 50% menos que el rendimiento generado a partir de suelos normales. Por supuesto estos suelos tienen muy poca materia orgánica y biodiversidad (Rengasamy, 2002, citado por , Sameen *et al.*, 2016).

El efecto negativo de la salinidad en los suelos agrícolas que impacta en la estructura del suelo y en el crecimiento de la planta es el potencial osmótico (Ahmad y Sharma, 2008; Sameen *et al.*, 2016). La producción de materia orgánica, la transpiración de las plantas y el rendimiento en la biomasa se reducen significativamente; aunque esto depende directamente de las especies de la planta y el manejo del riego. Otro aspecto negativo significativo es la evapotranspiración, la resistencia estomática y el potencial hídrico (Katerji *et al.*, 2000; Sameen *et al.*, 2016).

La salinidad origina cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, por tener baja biodiversidad, deficiencias de nutrientes y alta toxicidad. Presentan una considerable concentración de iones boro, carbonato y aluminio. El porcentaje de los iones de sodio intercambiables aumentan con un aumento de la salinidad (Tedeschi y Dell'Aquila, 2005), poseen altas concentraciones de iones de potasio, iones de cloruro y sulfato. Por otro lado, el aumento de la salinidad del suelo provoca una disminución en la concentración de iones de magnesio e iones de calcio en el suelo. Otras propiedades que se alteran por

la salinidad es la baja estabilidad estructural, tasa de infiltración y capacidad de retención de agua (Hashem *et al.*, 2014; Sarwar *et al.*, 2017).

En suelos salinos que se debe evaluar composición de este biomaterial, dado que esta se le considera como una mezcla de materia mineral, orgánica agua y aire. Las proporciones de estos componentes varían de tiempo en tiempo y de lugar a lugar. En general está constituido por tres fases: fase sólida, fase líquida y fase gaseosa.

Determinar las propiedades del suelo salino como la textura, indica la composición granulométrica cuantitativa del suelo, que representa los valores de las tres fracciones principales (arcilla, limo y arena). En lo relativo a la estructura, es necesario conocer la forma de agregación que tienen los elementos minerales y orgánicos del suelo.

Asimismo, las propiedades químicas del suelo que se ven afectadas negativamente por la salinidad es el aumento de las concentraciones de iones de metales pesados y cadmio. Los iones de sodio también aumentan su concentración, seguido por los cloruros, los iones sulfato y bicarbonato (Cao *et al.*, 2012). Los resultados de la salinidad retribuyen en la degradación de la materia orgánica, la reducción en la biomasa microbiana y la actividad microbiana, que a su vez cambia los flujos de dióxido de carbono (Wong *et al.*, 2010).

La concentración de la salinidad del suelo se expresa comúnmente por la conductividad eléctrica y utilizando este parámetro, los suelos se pueden clasificar en tres grupos de acuerdo a (Chhabra, 2017; Isbell, 2016; Qadir *et al.*, 2000).

- Suelos salinos: Conductividad eléctrica (CE) mayor a 4 dS/m, porcentaje de adsorción de sodio mayor que 13 y porcentaje de sodio intercambiable por debajo de 15.
- Suelos sódicos: CE por debajo de 4 dS/m, adsorción por debajo de 13 y sodio intercambiable por debajo de 15.
- Suelos salinos – sódicos: CE mayor a 4 dS/m, adsorción mayor a 13 y sodio intercambiable mayor a 15.

Finalmente, el pH en el suelo es una propiedad química que determina el comportamiento y evolución de nutrientes y contaminantes en los diversos perfiles del suelo, en la vegetación y microbiota (Raina *et al.*, 2009). El pH del suelo mide la concentración de iones H^+ en la solución del suelo, está determinando por la composición de la solución y de sus componentes más abundantes; como cationes básicos: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ y cationes ácidos: H^+ , Al^{+3} , Fe^{+3} , NH_4^+ (Ortíz y Ortiz, 1988).

Se han reportado varias investigaciones para descubrir métodos mediante los cuales se puedan mejorar los suelos salinos para garantizar la seguridad alimentaria. Por ejemplo, Sameen *et al.* (2016), refiere que las propiedades físicas y químicas de los suelos salinos mejoran con el crecimiento de plantas

tolerantes a la sal. En este sentido encontramos que la fitorremediación es una técnica biológica que utiliza las plantas para mejorar los suelos deteriorados. Existen plantas que pueden tolerar un alto contenido de sal y que se utilizan para la remediación de los suelos salinos. En aspectos fisicoquímicos, las plantas adecuadas que pueden mejorar los niveles de calcio y disminuir los niveles de sodio en el suelo (Gupta & Goyal, 2017).

Se ha documentado que hay variedades de plantas que mejoran la absorción de agua en el suelo, la conductividad hidráulica saturada del suelo, la estabilidad estructural, la densidad aparente del suelo y la porosidad del mismo. En consecuencia, el aumento de agua disponible se asocia con el contenido de materia orgánica y la actividad microbiana (Sameen *et al.*, 2016).

Nouri *et al.* (2017), documentan el potencial de las plantas y los microorganismos para la eliminación de xenobioticos en la remediación del suelo. Destacan que en la rizosfera hay procesos que inducen directamente por la actividad en las raíces de la planta estimulando la secreción de varios ácidos orgánicos que ayudada por los agentes quelantes de la planta, origina cambios de pH y reacciones redox, que incide en las propiedades físicas y químicas del suelo salino.

Esta revisión se centra en las características físicas y químicas de los suelos salinos, con la finalidad de identificar las formas de eliminar la sal de los suelos y con ello el aumento de la fertilidad del suelo.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El suelo agrícola se localiza en el municipio de Actopan, Hidalgo, en la región de Chicavasco, en las coordenadas N 20°11'9.37'', W98°56'47.85''; N 20°11'9.20'', W98°56'47.45''; N 20°11'9.00'', W98°56'48.10'' y N 20°11'8.80'', W98°56'47.65''. Registra clima semiseco templado, con temperatura media anual entre 16 y 20 °C, precipitación anual media entre 400 - 560 mm (Servicio Meteorológico Nacional, 2018).

El muestreo, preparación y conservación de la muestra de suelo se realizó conforme a la NOM-021-SEMARNAT-2000. También, esta norma establece los métodos analíticos de las propiedades físicas y químicas en los suelos experimentales se llevaron a cabo, donde se establece las especificaciones, de la fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis

2.2 DETERMINACIONES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO

Las determinaciones de propiedades físicas fueron: humedad por gravimetría (AS-05); textura por procedimiento de Bouyoucos (AS-09) y densidad real (AS-04).

En relación a las propiedades químicas: pH (AS-02, AS-23 y AS-24); conductividad eléctrica en el extracto de saturación (AS-18); materia orgánica (método Walkey y Black); nitrógeno total (AS-25);

capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables (kit de análisis de suelo SMART 3 de LaMotte que refiere el método Mehlich, 1984); Calcio y magnesio (Método EDTA de Schwarzenbach); cloruros (método de lectura directa en el kit de análisis de suelo SMART 3 de LaMotte); cobre (método del dietilditiocarbamato); Hierro (método del bipyridil); manganeso (método del peryodato); fosfatos (método de la reducción de ácido ascórbico); potasio (método del tetrafenilboron); sodio (sodiómetro); PSI (NOM-021, 2002) por ultimo sulfatos y zinc (kit de análisis de suelo SMART 3 de LaMotte que refiere el método Mehlich, 1984).

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las propiedades físicas del suelo experimental indican que la textura es franco arenoso, que se caracteriza por su porcentaje de arena, arcilla y limo (Tabla 1) (Vasques *et al.*, 2014); la humedad oscila en el 14 % lo que representan un nivel adecuado considerado lo que establecen Martínez-González y colaboradores (2010) para suelos con cobertura vegetal arbustiva o arbórea en la época de lluvias. Este valor pudo verse influenciado por la toma de muestra inmediata a la época de lluvias. Por último, la densidad real (1.3 g/cm^3), se encuentra dentro de los intervalos para suelos franco-arenosos (NOM-021,2002).

Respecto a los parámetros químicos (Tabla 1) se reportan valores relacionados a suelos salinos. Por ejemplo, el pH promedio 8.2 que lo refiere a intervalos en suelos moderadamente alcalinos a fuertemente alcalinos. Éste parámetro es un indicador del comportamiento en la disponibilidad y distribución de los micro y algunos macro nutrientes. Además, hay una relación entre el contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica y la concentración de sales solubles como el cloruro de sodio (Read *et al.*, 2016).

Ahora bien, la cantidad de materia orgánica se considera moderada para suelos no volcánicos (2.5 %) que coincide para suelos medianamente alcalinos. Zhahnina *et al.* (2015), menciona que bajos valores de materia orgánica pueden modificar la disponibilidad de algunos nutrientes, es un factor que afecta la diversidad microbológica y por lo tanto a la diversidad de plantas en los ecosistemas. De igual forma esté autores infieren que la baja disponibilidad de materia orgánica tiene incidencia en la presencia de organismos fijadores de nitrógeno y por tanto explica la baja disponibilidad de Nitrógeno en el suelo de estudio (Tabla 1).

Por otro lado, la conductividad eléctrica (CE) está estrechamente relacionada con el pH y la cantidad de sales en el medio. La CE fue de 8.5 dS/m , este valor confirma la salinidad del suelo y es un indicador de la cantidad y composición de sales solubles presentes, lo cual podría modificar la capacidad de intercambio de algunos nutrientes, específicamente potasio, calcio y magnesio (Behera y Shukla, 2014). También podría reflejar la cantidad excesiva de cloruros y de sodio presentes en el suelo (Tabla 1)

que se relaciona directamente con los valores de CE y pH. Al existir altas concentraciones de sales, específicamente NaCl, el pH se incrementa a la par de los valores de CE, modificando con ello una propiedad intrínseca del sodio que lo puede convertir en un elemento tóxico para las plantas, expresado como porcentaje intercambiable de sodio (PSI) que en este estudio fue de 19.89 %. Si el PSI es mayor a 15, la CE de 8.5 dS/m, la adsorción de sodio mayor a 13, y un valor alto de pH (8.2), el suelo en estudio puede clasificarse como suelo salino – sódico (Chhabra, 2017; De Sutter *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2014; Isbell, 2016; Qadir *et al.*, 2000), que podría dificultar el crecimiento vegetal y modificar la estructura e interacciones en la rizósfera (Zhalnina *et al.*, 2015).

En relación a los micro elementos, se encontró que el Cobre (Cu) se fija químicamente con facilidad en suelos alcalinos con valores de pH altos disminuyendo su disponibilidad. Los resultados presentados para el cobre están en límites bajos de este micronutriente (NOM-021). Duplay y colaboradores (2014), reportan una correlación positiva entre la biodisponibilidad del Cu, la cantidad de materia orgánica y el pH en el suelo; donde se registraron valores más bajos de Cu (10 ppm) en suelos con pH por arriba de 8, en contraste con suelos con un pH de 7 y valores alrededor de 20 ppm de Cu. De igual manera el Hierro (Fe), a pesar de ser uno de los micronutrientes más abundantes, es el elemento que se encuentra en menor disponibilidad debido a los valores de pH. Bravo *et al.* (2017), reportan valores de Hierro en suelos alcalinos (a $\text{pH} > 8$) alrededor de 10 ppm, que son mucho más bajos que la media a nivel mundial de 40 ppm de Fe. Estos se comparan con los valores excesivamente bajos de Fe encontrados en el suelo alcalino estudiado con un pH por arriba de 8 (Tabla 1).

El Manganeseo (Mn), se comporta de una manera similar al Fe, de acuerdo a Redžić *et al.* (2014), en suelos alcalinos y neutros con $\text{pH} > 7$ reportan que la biodisponibilidad de Manganeseo disminuyó a 9 ppm en comparación con suelos de pH por debajo de 7, que fue de 15 ppm de Mn, existiendo una correlación negativa entre el aumento de pH y la biodisponibilidad del elemento, siendo semejante a los resultados mostrados en la tabla 1, ya que el pH del suelo es mayor a 8 la disponibilidad disminuye aún más. Con respecto al Zinc (Zn), su valor esta en los límites (0.65 ppm) marginales de acuerdo a la NOM-021 y se relacionan a los valores de pH. Bravo *et al.* (2017), presentan que el Zn está en mayor disponibilidad en suelos ácidos a $\text{pH} < 7$ con valores cercanos a 7.8 ppm mientras que suelos con $\text{pH} > 8$ los valores fueron por inferiores a 3.2 ppm de Zn.

El Fósforo (P) es un caso particular, ya que encuentra su óptimo en suelos con pH alrededor de 7, con valores entre 2.3 a 5.1 $\text{Cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$ (Brooker *et al.*, 2018). Comparado al suelo en estudio que presenta un valor de pH mayor a 8, la disponibilidad registra un valor marginal/bajo y en consecuencia podría condicionar su absorción en las raíces de las plantas. Finalmente, la disponibilidad de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), están en intervalos altos, ya que estos elementos tienen un óptimo en ambientes alcalinos. La concentración normal de Ca se reporta entre los 2 y 20 $\text{Cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$, lo cual puede aumentar los valores

de pH por arriba de 8 (Khadka *et al.*, 2017). De la misma manera, el Mg aumenta su biodisponibilidad en valores de pH alcalinos, por encima de 8.4 en la escala de pH se registran alrededor de 3.5 Cmol⁽⁺⁾kg⁻¹ de Mg (Francos *et al.*, 2018).

Tabla 1. Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo

Propiedades físicas		Propiedades químicas	
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
% Arena	67	pH	8.2
		CE	8.5 dS/m
		Materia orgánica	2.5%
% Arcilla	17	Nitrógeno	0.56 %
		Calcio	9.28 Cmol(+) kg ⁻¹
		Magnesio	3.09 Cmol(+) kg ⁻¹
% Limo	16	Cloruros	125.35 Cmol(+) kg ⁻¹
		Cobre	2.225 ppm
		Hierro	2.7 ppm
Humedad	14.35 g/100g	Manganeso	6.97 ppm
		Fósforo	2.24 Cmol(+) kg ⁻¹
		Potasio	7.4 Cmol(+) kg ⁻¹
Densidad real	1.3 g/cm ³	Azufre	0.73 Cmol(+) kg ⁻¹
		Zinc	0.65 ppm
		Sodio	2750 ppm
		PSI	19.89 %

Fuente: Elaboración propia. Delgado-González (2019)

4 COMENTARIOS FINALES

4.1 CONCLUSIONES

Los resultados evalúan al suelo con problemas de salinidad y baja disponibilidad de algunos nutrientes principalmente por los valores de pH y CE. Es indispensable considerar que la caracterización de suelos es un paso inicial hacia estudios de profundidad en relación a la zona de rizósfera para recuperación de la fertilidad del suelo. La importancia de esta investigación hace hincapié en la relación de la biodisponibilidad de micronutrientes y algunos macronutrientes, basados en las propiedades físicas y químicas del suelo como pH, CE, textura, entre otras más.

4.2 RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones relacionadas a las características fisicoquímicas en suelos salinos es necesario considerar la época del año en la que se realice la colecta, así como realizar una evaluación de la microbiota en la zona de la rizosfera y con ello proponer un modelo biológico de recuperación de sitios agrícolas perturbados por sales solubles. Estos análisis forman parte integral de investigaciones relacionadas al suelo, ya que dan robustez a los resultados y pueden establecer relaciones entre distintos factores asociados a la salinidad.

REFERENCIAS

- Adnan, M., Shah, Z., Fahad, S., Arif, M., Alam, M., Khan, I. A., Mian, I. A., Basir, A., Ullah, H., Arshad, M., Rahman, I. U., Saud, S., Ihsan, M., Jamal, Y., Amanullah, H., Hammad, H. M. y Nasim, W. (2017) Phosphate-Solubilizing Bacteria Nullify the Antagonistic Effect of Soil Calcification on Bioavailability of Phosphorus in Alkaline Soils. *Scientific Reports*. 7: 1 – 15.
- Ahmad, P., Sharma, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Plant Soil Environ*. 54 (3), 89–99.
- Aslam R., Bostan N., Nabgha-e-Amen, M. M. y Safdar W. 2011. A critical review on halophytes: salt tolerant plants. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5(33): 7108-7118.
- Behera, S. K. y Shukla, A. K. (2014) Spatial Distribution of Surface Soil Acidity, Electrical Conductivity, Soil Organic Carbon Content and Exchangeable Potassium, Calcium and Magnesium in Some Cropped Acid Soils of India. *Land Degradation & Development*. 50 (1): 1 – 15.
- Bravo, S., Amorós, J. A., Pérez-de-los-Reyesa, C., García, f. J., Moreno, M. M., Sánchez-Ormeño, M y Higueras, P. (2017) Influence of the soil pH in the uptake and bioaccumulation of heavy metals (Fe, Zn, Cu, Pb and Mn) and other elements (Ca, K, Al, Sr and Ba) in vine leaves, Castilla-La Mancha (Spain). *Journal of Geochemical Exploration*. 174: 79 – 83.
- Brooker, A. P., Lindsey, L. E., Culman, S. W., Subburayalu, S. K. y Thomison, P. R. (2017) Low Soil Phosphorus and Potassium Limit Soybean Grain Yield in Ohio. *Cfsm*. 3 (1): 1 – 5.
- Cao, J., Li, X., Kong, X., Zed, R., Dong, L., 2012. Using alfalfa (*Medicago sativa*) to ameliorate salt-affected soils in Yingda irrigation district in Northwest China. *Acta Ecol. Sinica* 32 (2), 68–73
- Chhabra, R. 2017. Soil Salinity and Water Quality. *Editorial Taylor and Francis*. Estados Unidos de América. 16 – 24.
- De Sutter, T., Franzen, D., He, Y., Wick, A., Lee, J., Deutsch, B. y Clay, D. (2015) Relating Sodium Percentage to Sodium Adsorption Ratio and its Utility in the Northern Great Plains. *Soil Science Society of America Journal Abstract - Nutrient Management & Soil & Plant Analysis Note*. 79 (4): 1261 - 1264.
- Duplay, J., Semhi, K., Errais, E., Imfeld, G., Babcsanyi, I. y Perrone, T. (2014) Copper, zinc, lead and cadmium bioavailability and retention in vineyard soils (Rouffach, France): The impact of cultural practices. *Geoderma*. 230: 318 – 328.
- Etxeberri, J.M. y J.A. Blanco Gorrichó. "Un método óptimo para la extracción de proteínas del mero en Bilbao," *Revista Castellana* (en línea) , Vol. 2, No. 12, 2003, consultada por Internet el 21 de abril del 2004. Dirección de internet: <http://revistacastellana.com.es>.
- Francos, M., Pereira, P., Alcañiz, M. y Úbeda, X. (2018) Post-wildfire management effects on short-term evolution of soil properties (Catalonia, Spain, SW-Europe). *Science of the Total Environment*. 633: 285 – 292.
- Gupta, S., & Goyal, M. (2017). Soil salinity management in agriculture technological advances and applications (*Innovations in Agricultural and Biological Engineering*). Waretown, NJ: Apple Academic Press.

- Isbell, R. F. 2016. The Australian Soil Classification. *Segunda edición. Australia.* 43 – 45.
- Hazourli, A., Hazourli, S., Nacer, H. y Fernandez, M. A. (2016) Feasibility of electrokinetic nitrogen supply for soil fertilization purposes. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (4): 1072 – 1079.
- Huang, J., Davies, G. B., Bowd, D., Monteiro-Santos, F. A. y Triantafyllis, J. (2014) Spatial prediction of the exchangeable sodium percentage at multiple depths using electromagnetic inversion modelling. *Soil Use and Management.* 30 (2): 241 – 250.
- Khadka, D., Lamichhane, S., Tiwari, D. N. y Mishra, K. (2017) Assessment of soil fertility status of national rice research program, Hardinath, Dhanusha, Nepal. *Scientific Research Council.* 3 (1): 86 – 105.
- Katerji, N., van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Mastrorilli, M., 2000. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agric. Water Manage.* 43 (1), 99–109.
- Martínez-González, F., Sosa-Pérez, F. y Ortiz-Medel, J. (2010) T Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca La Esperanza. *Tecnología y ciencias del agua.* 1 (4): 1 – 15.
- Mehlich A. (1984). Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant An.*, (15) 1409- 1416.
- Nouri, H., Chavoshi Borujeni, S., Nirola, R., Hassanli, A., Beecham, S., & Alaghmand, S. et al. (2017). Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation. *Process Safety and Environmental Protection*, (107), 94-107. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.01.021>.
- Qadir, M., Ghafoor A. y Murtaza, G. 2000. Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degradation and Development.* 11: 501 – 521.
- Read, D. S., Matzke, M., Gweon, H. S., Newbold, L. K., Heggelund, L., Diez-Ortiz, M., Lahive, E., Spurgeon, D. y Svendsen. C. (2016) Soil pH effects on the interactions between dissolved zinc, non-nano- and nano-ZnO with soil bacterial communities. *Environmental Science and Pollution Research.* 23 (5): 4120 – 4128.
- Redžić, S., Sijarić, G., Muhić-Šarac, T., Pehić, E. y Hrnjica, D. (2014) Distribution and bioavailability of manganese in soil in the vicinity of the “Bužim” abandoned mine. *Geologia Croatica.* 67 (1): 45 – 58.
- Sameen R., I., Syed W., S., & Alvina G., K. (2016). Phytoremediation of Saline Soils for Sustainable Agricultural Productivity. In A. Parvaiz, Plant Metal Interaction Emerging Remediation Techniques (1st ed., pp. 465-468). *Oxford, UK: Elsevier Inc.* Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00018-7>
- Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M.R., Ishaque, W., Kamran, M.A., Matloob, A., Rehim, A. y Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere* 102: 710 – 721.
- Srivastava N. (2020) Reclamation of Saline and Sodic Soil Through Phytoremediation. In: Shukla V., Kumar N. (eds) *Environmental Concerns and Sustainable Development.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6358-0_11

Vasques, G. M., Demattê, J. A. M., Viscarra-Rossel, R. A., Ramírez-López, L. y Terra, F. S. (2014) Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. *Geoderma*. 223: 73 – 78.

Wong, V.N.L., Greene, R.S.B., Dalal, R.C., Murphy, B.W., 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use Manage*. 26 (1), 2–11.

Xua, D. C., Zhong, C., Yina, K., Peng, S., Zhu, T. y Cheng, G. (2018) Alkaline solubilization of excess mixed sludge and the recovery of released phosphorus as magnesium ammonium phosphate. *Bioresource Technology*. 249: 783 – 790.

Zhalnina, K., Dias, R., Dörr de Quadros, P., Davis-Richardson, A., Camargo, F. A. O., Clark, I. M., McGrath, S. P., Hirsch, P. R. y Triplet, E. W. (2015) Soil pH Determines Microbial Diversity and Composition in the Park Grass Experiment. *Microbial Ecology*. 69 (2): 395 – 406.

NOTAS BIOGRÁFICAS

El **M. en C. Cristián Raziel Delgado-González** estudió la Licenciatura en Biología y la Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación. Actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias Agropecuarias en el Instituto de Ciencias Agropecuarias, el cual pertenece a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Su área de enfoque es la morfofisiología y la ecofisiología vegetal, así como el enfoque hacia la biorremediación de suelo.

El **Dr. Rodrigo Rodríguez-Laguna** es especialista en manejo de recursos forestales. Ha dirigido diversas tesis de Licenciatura, Maestría y doctorado, así como colaborado en proyectos nacionales y estatales relacionados a especies forestales en proyectos CONACYT y CONAFOR. Actualmente es profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y cuenta con publicaciones relacionadas a recursos forestales.

El **Dr. Juan Capulín-Grande** es especialista en edafología con enfoque a la nutrición vegetal. Fue coordinador de invernaderos a nivel estatal, así como profesor investigador titular en el área académica de ciencias agrícolas y forestales del Instituto de Ciencias agropecuarias de la UAEH. Ha colaborado en proyectos CONACYT y CONAFOR. Actualmente es profesor investigador titular de la Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.

El **Dr. Alfredo Madariaga-Navarrete** es especialista en el área de biotecnología y Ciencias Agropecuarias, enfocado al control biológico en la producción agrícola sustentable. Ha colaborado en proyectos SAGARPA- CONACYT y es consultor en la iniciativa privada. Ha dirigido tesis a nivel de licenciatura y posgrado. Es profesor investigador titular en el área académica de ciencias agrícolas y forestales del Instituto de Ciencias agropecuarias de la UAEH.

La **Dra. Margarita Islas-Pelcastre** es especialista Ciencias Ambientales enfocada a la recuperación y aprovechamiento sustentables de sitios contaminados. Responsable técnico en proyectos financiados FESE 2014, SAGARPA 2016 y SAGARPA-CONACYT 2018. Cuenta con un registro de patente No. Mx/a/2017/016042. Ha dirigido tesis a nivel de licenciatura y posgrado. Es profesor investigador en el área académica de Ingeniería Agroindustrial y Alimentos en el Instituto de Ciencias agropecuarias de la UAEH.