

**Análisis de la calidad del suelo bajo producción intensiva de chile  
(*Capsicum annuum* L.) en la región irrigada por el acuífero, Calera, Zacatecas,  
México**

**Analysis of soil quality in the intensive production of chile  
(*Capsicum annuum* L.) in the region irrigated by the aquifer, Calera, Zacatecas,  
México**

**Cristina J. Carrillo-Martínez<sup>1</sup> , Gregorio Álvarez-Fuentes<sup>1,‡</sup>  y  
Gisela Aguilar-Benítez<sup>1</sup> **

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones de zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. De Altair 200, Col. del Llano. 78377 San Luis Potosí, México.

<sup>‡</sup>Autor para correspondencia (gregorio.alvarez@uaslp.mx)

Editora de Sección: Gabriela Rodríguez Licea

---

**RESUMEN**

En México los sistemas productivos de chile (*Capsicum* spp.) se han intensificado gradualmente a fin de obtener mejores rendimientos y generar mayores ingresos, situación que ha posicionado al país como segundo productor y principal exportador de chile en el mundo al generar en promedio al año alrededor de dos billones de pesos por concepto de exportación; no obstante, la intensificación de algunas prácticas asociadas a esta actividad agrícola han generado infertilidad y salinización del suelo, motivo por el cual el objetivo de la investigación sea evaluar la calidad agronómica del suelo de diferentes áreas productoras de chile en la región del acuífero Calera del estado de Zacatecas. Durante dos ciclos consecutivos se realizó un muestreo de suelos apegado a la NOM-021-RECNAT-2000 en parcelas destinadas cultivó chile a fin de determinar los parámetros de fertilidad y fisicoquímicos. Los resultados aportaron evidencia de la variedad de agroquímicos y del excedente de fertilizantes fosforados y potásicos que se aplican durante el ciclo productivo, situación que eleva considerablemente los costos. El contenido de sales que se encontró en el suelo fue bajo con una relación media de absorción de sodio, lo que los clasifica como C1-S2; no se registraron altas concentraciones de sales sódicas y los valores de CE fueron bajos, sin embargo,

las concentraciones de nutrientes fueron muy bajas a pesar de la neutralidad del pH. Esas características pueden atribuirse a que son suelos con alto contenido de arena con problemas de compactación por el sistema convencional mecanizado y por la falta de estrategias de conservación, por lo tanto, la dinámica para la producción de chile en la región está impactando de manera negativa sobre la calidad del suelo.

**Palabras clave:** fertilidad de suelo, producción de chile, agricultura intensiva.

**SUMMARY**

In México, the productive systems of chili (*Capsicum* spp.) have been gradually intensified in order to obtain better yields and generate higher incomes, a situation that has positioned the country as the second producer and main exporter of chili in the world, generating on average per year around two billion pesos for exports; however, the intensification of some practices associated with this agricultural activity have generated infertility and salinization of the soil, which is why the objective of the research is to evaluate the agronomic quality of the soil in different chili-producing areas in the Calera del Aquifer region. Zacatecas state. During two consecutive cycles, soil sampling was carried out in accordance with NOM-021-RECNAT-2000 in plots

---

**Cita recomendada:**

Carrillo-Martínez, C. J., Álvarez-Fuentes, G. y Aguilar-Benítez, G. (2022). Análisis de la calidad del suelo bajo producción intensiva de chile (*Capsicum annuum* L.) en la región irrigada por el acuífero, Calera, Zacatecas, México. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-11. e942. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.942>

Recibido: 12 de marzo de 2021. Aceptado: 25 de enero de 2022.

Artículo. Volumen 40, junio de 2022.

destined for chili cultivation in order to determine fertility and physicochemical parameters. The results provided evidence of the variety of agrochemicals and the surplus of phosphorous and potassium fertilizers that are applied during the production cycle, a situation that considerably raises costs. The salt content found in the soil was low with a medium sodium absorption ratio, which classifies them as C1-S2; high concentrations of sodium salts were not recorded and EC values were low, however, nutrient concentrations were very low despite the neutral pH. These characteristics can be attributed to the fact that they are soils with a high content of sand with compaction problems due to the conventional mechanized system and due to the lack of conservation strategies, therefore, the dynamics to produce chili in the region is having a negative impact on soil quality.

**Index words:** soil fertility, chili production, intensive agriculture.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) en México ocupa el noveno lugar a nivel nacional en superficie sembrada en riego, fertilizada con agroquímicos y el décimo en superficie sembrada mecanizada en riego (SAGARPA, 2017). México se ha posicionado como el segundo mayor productor y el principal exportador de chile en el mundo. En 2017 se exportaron más de 370 mil toneladas, lo que equivale a casi el 10% de la producción mundial, generando ingresos de más de 2 billones de pesos durante el periodo. Además, se considera el segundo cultivo hortícola socioeconómicamente más importante en el país ya que aporta cerca del 20% de la producción, y su consumo per cápita es de 16 kg anuales; también ocupa cerca del 39% de la población económicamente activa que participa en el sector primario (SNIIM, 2017; INEGI, 2017). No obstante, la importancia económica del cultivo, el nivel actual de intensificación de los sistemas de producción impacta en la capacidad productiva y la calidad de los recursos naturales (Duval, Galantini, Martínez y Iglesias, 2016). Cuando los sistemas de producción agrícolas no consideran la adecuada reposición de los nutrientes extraídos se propicia el agotamiento de estos en el suelo (Roveda, Peñaranda, Ramírez, Baquero y Galindo, 2012). Según López *et al.* (2017) la SEMARNAT (2012) reportó un

incremento en la pérdida de la fertilidad del suelo, así como su salinización, principalmente por actividades agrícolas intensivas que afectaron casi 34.04 millones de hectáreas. Ante esta situación, autores como Roveda *et al.* (2012) recomiendan realizar un análisis de suelo a nivel de zonas productoras que permita generar recomendaciones con la precisión que se requiere a nivel de finca y regiones productivas, y que se considere como un buen inicio de manejo eficiente de los suelos, por lo que el objetivo del presente trabajo es analizar parámetros de la calidad agronómica del suelo en el acuífero Calera, Zacatecas, para conocer el efecto de la producción intensiva de chile (*Capsicum annuum* L.) en los suelos de la región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El acuífero Calera se ubica en las coordenadas 22° 27' 00" N, 102° 55' 00" O. Abarca una superficie aproximada de 2,226 km<sup>2</sup>, el 3% de la superficie del estado de Zacatecas. El clima de la región es semiárido, la precipitación varía entre los 400 y 450 mm anuales y la evaporación asciende a 2,330.7 mm por año. Los suelos más representativos son Regosol calcárico, Regosol eútrico, Xerosol cálcico, Xerosol lúvico y el que tiene un mayor predominio es el Castañozem lúvico. El uso del suelo es predominantemente agrícola (DOF, 2019; Medina y Ruiz, 2004; Ávila *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2012; FAO, 2007).

### Fertilización

Para el registro de la información se consideraron las directrices de Aguirre (1979). Se identificó a los productores que frecuentemente cultivan chile bajo diversos niveles de tecnificación. Se realizó un muestreo aleatorio simple. Para calcular el tamaño de la muestra se fijó una precisión del 10% respecto a la superficie cultivada con chile y una confiabilidad del 95%, determinada a través de la fórmula propuesta por Sweeney, Anderson y Williams (2008).

El tamaño de muestra fue 22 parcelas de chile, y a los productores se les solicitó responder un cuestionario estructurado, mediante entrevista directa se registró información sobre los fertilizantes y agroquímicos más utilizados, cantidades aplicadas en cada etapa fenológica del cultivo y los costos que generan.

Posteriormente la información obtenida se contrastó con el paquete tecnológico recomendado por INIFAP (2006), y para ello se estimaron las cantidades para cada fertilizante, atendiendo a las fórmulas establecidas para fertilización de base y fertirrigación (Bravo *et al.*, 2002).

### Muestreo y Análisis de Suelos

Se definieron áreas homogéneas con base en la clase de suelo, color, textura, superficie cultivada, intensificación y frecuencia de producción del cultivo de chile, se consideraron parcelas en las que se cultivó chile en los dos ciclos consecutivos. De igual forma se consideraron dos blancos que corresponden a sitios sin actividad agrícola. Se realizó un muestreo al final de los ciclos productivos de 2016 y 2017, considerando la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (2002) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

Los análisis físicos y químicos se llevaron a cabo en el laboratorio de suelo y agua de la Universidad Autónoma de Nayarit, mediante los procedimientos descritos en la Norma NOM-021-RECNAT-2000 (2002).

Los resultados de los análisis químicos y de los parámetros estimados se clasificaron como muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, de acuerdo a los valores límite presentados por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (2002) y Álvarez, Velázquez, Maldonado, Almaguer y Solano (2010) (Cuadro 1).

### Análisis Estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico para un diseño por bloques completos al azar para comparar todas las variables en ambos ciclos de producción, utilizando el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.2. SAS (2009) Después de que resulto significativo en la el análisis de varianza, se realizó un prueba de medias de Tukey, con una significancia de ( $P < 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fertilización

Como fuente de Nitrógeno se aplica fosfonitrato, sulfato de amonio y urea con el 60, 75 y 60% respectivamente. Como fuente de Fósforo, fosfato monoamónico con el 60% de preferencia, fosfato

**Cuadro 1. Clasificación de los parámetros químicos evaluados en el suelo.**

**Table 1. Classification of the chemical parameters evaluated in the soil.**

| Parámetro                                      | Clase    |           |           |           |          |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|  | Muy bajo | Bajo      | Medio     | Alto      | Muy alto |
| pH   | <5.0     | 5.1-6.5   | 6.6-7.3   | 7.4-8.5   | >8.5     |
| CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )                   | < 100    | 101-250   | 251-750   | 751-2250  | >2250    |
| MO (%)   | < 0.5    | 0.6-1.5   | 1.6-3.5   | 3.6-6.0   | >6       |
| N (%)  | <0.05    | 0.05-0.10 | 0.10-0.15 | 0.15-0.25 | >0.25    |
| P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )                      | <4       | 5-9       | 10-15     | 16-20     | >21      |
| K <sup>+</sup> ( $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ )   | <0.2     | 0.2-0.3   | 0.3-0.6   | >0.6      | -        |
| CIC ( $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ )              | <5       | 5-15      | 15-25     | 25-40     | >40      |
| Ca <sup>2+</sup> ( $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ ) | <2       | 2-5       | 5-10      | >10       | -        |
| Mg <sup>+</sup> ( $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ )  | <0.5     | 0.5-1.3   | 1.3-3.0   | >3.0      | -        |
| B (ppm)  | <0.39    | 0.39-0.79 | 0.80-1.29 | 1.30-2.10 | > 2.10   |
| RAS ( $\text{mmol L}^{-1}$ )                   | <1       | 1-10      | 11-18     | 19-24     | >24      |
| PSI (%)  | <7       | 7-15      | 15-20     | 20-30     | >30      |

diamónico con el 50% y ácido fosfórico con el 60%. Como fuente de potasio el 52% de los agricultores utilizan el nitrato de potasio y el 38% el cloruro de potasio. El INIFAP (2006) recomienda aplicar para el cultivo de chile en la región la fórmula 220-100-150 para nutrición base en surcos, la cual se puede alcanzar con 478 kg ha<sup>-1</sup> de urea, 500 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato de calcio y 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de potasio. Para fertirriego se indican 200-75-100 que se pueden obtener con 952 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amonio, 163 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamónico y 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de potasio. Con esta formulación, el requerimiento promedio de fertilizante es de 1.483 kg ha<sup>-1</sup> fraccionados en 1.12 kg por cada 10 m lineales para que se alcance el nivel óptimo disponible para el cultivo. Además, se sugiere el uso de 2.5 L ha<sup>-1</sup> de herbicida, 500 mL ha<sup>-1</sup> de correctores de pH, 1 L ha<sup>-1</sup> de insecticidas, 600 g ha<sup>-1</sup> de fungicidas y 500 g ha<sup>-1</sup> de mejoradores de suelo, según sea necesario. Tomando en cuenta la aplicación de todos los insumos se genera un costo de \$16 903 6 ha<sup>-1</sup> y de acuerdo a INIFAP (2006) se alcanzan rendimientos entre 2.5 y 3.5 t ha<sup>-1</sup>.

No obstante, los productores del acuífero están aplicando 1.800 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizantes, diferidos en 1.37 kg por cada diez metros lineales, lo que equivale a 317 kilos más de lo recomendado. Además, se aplican foliares (utilizando Growgreen®), cada tratamiento foliar se complementa con ácidos húmicos Surfacid® para corregir el pH y mejorar el suelo. En general se documentó escasa asesoría técnica proporcionada por instituciones gubernamentales que apoyen la actividad agrícola, pues la mayor parte de la asesoría que los productores reciben proviene de las casas comerciales de agroquímicos y éstas lo que pretenden es vender la mayor cantidad de insumos. Si se atendieran las recomendaciones del INIFAP (2006), se reduciría el 18% de la aplicación de fertilizantes, además se evitaría la aplicación excesiva los insumos antes mencionados generando un ahorro del 67% del costo de producción. Los productores no identifican una función clara de los agroquímicos hacia el cultivo y su aplicación se considera preventiva, atendiendo la asesoría que reciben de los comercios.

En cuanto a nutrición base, los productores solo aplican el 86% de nitrógeno de lo que el INIFAP (2006) recomienda, mientras que en fósforo se exceden en 230% y no consideran la aplicación de ningún material como fuente de potasio. En cuanto a fertirrigación, y bajo las consideraciones de INIFAP (2006), se está

aplicando solamente el 24% de nitrógeno de lo que se señala, además como fuente de fósforo se supera la dosis en un 625%, al igual que para potasio ya que alcanza un 414% más de lo indicado. Por lo tanto, para el caso de nitrógeno se está usando en menores proporciones de lo establecido en ambos tipos de nutrición, y para el caso de fósforo se puede observar que las cantidades son muy elevadas, esto podría ser consecuencia de la idea que se tiene sobre la deficiencia de P en suelos de origen calcáreo. Así mismo, para el potasio hay un excedente en sus dosis en el refuerzo de nutrición, esto podría ser consecuencia de la falta de K en el tratamiento de nutrición base para compensar este micronutriente.

Estos resultados contrastan con lo reportado por Reyes-Rivas, Bravo, Salinas y Padilla (2006) en su evaluación de rentabilidad del cultivo para chile seco en la misma región, quienes reportaron el uso de 220 kg ha<sup>-1</sup> de N sin especificar la fuente, también registraron la aplicación de 100 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato de calcio triple, 100 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de potasio y 4.5 L ha<sup>-1</sup> de otros agroquímicos. Con los insumos mencionados se alcanzaron rendimientos de 1.57 t ha<sup>-1</sup>, lo que es notoriamente menor a lo encontrado en el presente trabajo.

### Análisis Químico de los Suelos

**pH.** No existieron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) en los valores de pH, siendo éstos cercanos a 7 en la totalidad de las muestras. Al respecto, Orsag, León, Pacosaca y Castro (2013) establecen que en pH neutro se incrementa en gran medida la disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg, N, Mn, Cu y Zn. Esta observación fue documentada también por Prieto-Méndez, Prieto, Acevedo y Mendez (2013) y Villarreal, Name y García (2012) pues, identificaron que la disminución paulatina del pH es una tendencia que se observa para los suelos de los sistemas de producción convencional, condición que puede atribuirse a muchos factores, entre los que destacan: el uso intensivo de los suelos, la ausencia de empleo de las prácticas de conservación, la preparación inadecuada del suelo, nula rotación de cultivos, y la excesiva aplicación de fertilizantes nitrogenados amoniacales (p. ej.: nitrato, sulfato de amonio y urea) que producen reacciones acidificantes con liberación de protones H<sup>+</sup>. Todas estas características son propias del sistema de producción de chile en la región del acuífero Calera y por lo tanto,

la dinámica pudiera estar acidificando sus suelos, no obstante, de acuerdo con Astier, Maass y Etchevers (2002) para que se pueda percibir un cambio evidente en este parámetro se requiere una evaluación de cinco años consecutivos.

De acuerdo con INEGI (2004), el pH reportado para los suelos de la región que comprende el acuífero Calera es de  $8 \pm 0.4$  para Castañozem,  $7.6 \pm 1$  en los Xerosoles,  $8 \pm 0.7$  para Regosol calcárico y  $6.5 \pm 1.1$  en Regosol eutrítico. En el caso de los Regosoles eutríticos de acuerdo con Roveda *et al.* (2012) podría aplicarse cal dolomita para que el pH sea más neutro debido a deficiencia de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+}$  y  $\text{K}^{+}$ , que se registró en los suelos del acuífero Calera (Cuadro 2.); esto con la finalidad de evitar desbalances en las relaciones  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+}$  y  $\text{K}^{+}$ .

**Conductividad eléctrica.** Los valores de CE obtenidos en la región del acuífero Calera fueron similares ( $P > 0.05$ ) en ambos ciclos y se encuentran por debajo de lo que señalan FAO (2007) e INEGI (2004), ya que la conductividad eléctrica para los suelos Castañozem de la región registran en promedio  $220 \pm 180 \mu\text{S cm}^{-1}$ ,  $150 \pm 130 \mu\text{S cm}^{-1}$  en los Regosoles y  $580 \pm 130 \mu\text{S cm}^{-1}$  en los Xerosoles. Los suelos de la región de estudio

son ligeramente salinos de acuerdo con la Norma NOM-021-RECNAT-2000 (2002) lo que equivale a un bajo contenido de sales  $< 250 \mu\text{S cm}^{-1}$ , por lo tanto, en cuanto a este parámetro, el suelo se considera apto para la producción de chile (Manzano-Banda, Rivera, Briones y Zamora, 2014). De acuerdo con Larson y Pierce (1991) la evaluación de los años agrícolas de 2016 y 2017 es tiempo suficiente para percibir alguna variabilidad que incida directamente sobre la CE del suelo.

Si bien los valores obtenidos de CE son bajos, coinciden con los reportados por Salgado, Palacios, Galvis, Gavi y Mejía (2012), quienes, en su investigación sobre salinidad en suelos agrícolas en la región del acuífero del Valle de Guadalupe, San Luis Potosí, registraron valores por debajo de los  $175\text{-}250 \mu\text{S cm}^{-1}$ . La baja conductividad eléctrica que se presenta en la región que comprende el acuífero Calera según Sarabia, Cisneros, Aceves, Durán y Castro (2011) y Orsag *et al.* (2013) podría deberse a que son suelos de textura media, con alta permeabilidad y buen drenaje interno, o bien de acuerdo con Manzano-Banda *et al.* (2014) la frecuente aplicación de mejoradores de suelo como insumos

**Cuadro 2. Parámetros físicos y químicos evaluados en las muestras de suelo en la región que comprende el acuífero Calera, ciclos de producción 2016-2017.**

**Table 2. Physical and chemical parameters evaluated in soil samples in the region that comprises the Calera aquifer, production cycles 2016-2017.**

| Parámetro                          | Periodo de evaluación |             |                               |             |            |
|------------------------------------|-----------------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------|
|                                    | 2016                  | 2017        | Parámetro                     | 2016        | 2017       |
|                                    |                       |             | ( $\text{mg kg}^{-1}$ )       |             |            |
| pH                                 | 7.1±0.6a              | 6.9±0.8 a   | N                             | 20±7 a      | 14±5 a     |
| CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )       | 142± 37.8 a           | 147± 56.5 a | P                             | 2.3±0.4 a   | 0.3±0.6 b  |
|                                    |                       |             | ( $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ ) |             |            |
| Arcilla (%)                        | 23.7±3.1 a            | 17.8±3.7a   | K                             | 0.07±0 a    | 0.1±0 a    |
| Arena (%)                          | 58.1±1.8 a            | 60±7.1.5 a  | Ca                            | 0.4±0 a     | 0.3±0.4 a  |
| Limo (%)                           | 18.1±1.9 a            | 16.2±0.5 a  | Mg                            | 0.5±0.3 a   | 0.3±0.1 b  |
| Densidad A. ( $\text{g cm}^{-3}$ ) | 1.43±0.1 a            | 1.47±0 a    | Na                            | 0.2±0.1 a   | 1.3 ±0.1 b |
| C. campo (pss)                     | 24.7±4.2 a            | 21.9±2.2 a  | Bases                         | 10.2±3.2 a  | 10.7±2.5 a |
| P. Marchitez (pss)                 | 11.7±3.2 a            | 12.2±1.5 a  | CIC                           | 20.5±6.1 a  | 14.1±4.9 b |
| C orgánico (%)                     | 2.0±0.4 a             | 1.3±0.4 b   | RAS                           | 12±6.2 a    | 14±3.2 a   |
|                                    |                       |             | (%)                           |             |            |
| M.O. (%)                           | 3.5±0.7 a             | 2.2±0.7 b   | PSI                           | 16.6±10.5 a | 14±3.4 a   |

†Letras distinta en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

†Different letters in the same row indicate significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

para la producción de chile en esta zona puede estar contrarrestando los efectos de salinidad por la excesiva aplicación de nutrientes.

**Textura.** Durante el periodo de evaluación el 77% de las muestras se clasificaron como suelos del tipo Castañozem lúvico, el 9% de los sitios se ubicaron en suelo Regosol calcárico, el 9% en Xerosol lúvico y el 5% en Regosol eutrítico. El porcentaje de arcilla contenido en los Castañozem es de  $39 \pm 9$  (FAO, 2007; INEGI, 2004), no obstante, los resultados obtenidos evidenciaron que la cantidad de arcilla se encuentra en  $25 \pm 8$  %. Esto puede atribuirse a que las muestras presentaron altos contenidos de arena en las texturas finas, medianas y gruesas, clasificándose como suelos francos, francos arcillosos, franco arcillo arenosos, franco arenosos y arcillosos. En relación con los Regosoles se registró  $24 \pm 2$  % de arcilla. Sin embargo, en los Xerosoles la cantidad de arcilla solo alcanzó un  $15 \pm 4$  %. La baja cantidad de arcilla presente en algunas parcelas evidencian una capacidad amortiguadora baja (Salgado *et al.*, 2012). En su mayoría las muestras se consideraron como aptas para la producción de chile, ya que sólo en el 23% equivale a texturas gruesas y finas. En las texturas menos aptas se recomienda mejorar la estructura con la aplicación de materia orgánica que favorece la formación de agregados y espacio poroso del suelo, e incrementa su capacidad de aireación e infiltración y retención del agua (Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008).

**Densidad aparente.** Las muestras presentaron un rango entre 1.43 y 1.47 g cm<sup>3</sup> sin diferencias significativas, característica de los suelos de textura franco-arenosa de acuerdo con Prieto-Méndez *et al.* (2013). Los suelos de la región del acuífero Calera presentan ligeros problemas de compactación. López *et al.* (2017) y Orsag *et al.* (2013) indican que con estas condiciones no tienen buena capacidad de infiltración, retención del agua, aireación ni fijación de nutrientes. Esta información es similar a la que reportan Orsag *et al.* (2013) al evaluar suelos franco-arenosos con problemas de erosión. Para mantener la densidad aparente en un rango aceptable se recomienda la aplicación constante de materia orgánica, o bien la implementación de prácticas de conservación en los suelos donde frecuentemente se cultiva chile. Martínez *et al.* (2008) En su estudio sobre carbono orgánico y propiedades del suelo encontraron que al agregar materia orgánica aumentaban los poros de mayor diámetro que retienen el agua con menor energía. Por su parte Cantú, Becker,

Bedano y Schiavo (2007) e Ibarra-Castillo, Ruiz, Flores y González (2007) encontraron que la materia orgánica influye sobre la estabilidad de agregados, infiltración del agua y densidad aparente. Así mismo, Torres, Florentino y López (2006) identificó que al someter un agroecosistema a prácticas de labranza de conservación se desarrolla una porosidad más favorable en los primeros 25 cm del suelo, después de cuatro años.

**Materia orgánica.** El promedio de MO encontrado en los suelos del área del acuífero Calera, fue de  $2.85 \pm 0.7\%$ , propio de los suelos de las zonas áridas y semiáridas, ya que López, Villavicencio, Real, Ramírez y Murillo (2003) indican que la mayoría de los suelos de las zonas áridas y semiáridas contienen de 1 a 3%. Se registró una reducción ( $P < 0.05$ ) en el contenido de MO de 2016 a 2017 (Cuadro 2). A pesar de la reducción, los valores de ambos años se clasificaron con un contenido medio de materia orgánica, de acuerdo con los criterios de la Norma NOM-021-RECNAT-2000 (2002). Esta información coincide con la que reportaron Rehman, Ahmad y Afzal (2010) quienes en zonas áridas encontraron valores de 2.36 a 2.41%. Además, los valores determinados son superiores a lo que establecen INEGI (2004) y FAO (2007), fuentes que indican que en los suelos Castañozems de la región se tiene un registro del  $1.6 \pm 1.1$  %,  $1.30 \pm 1.1$  % en Regosoles y  $0.5 \pm 0.2\%$  para los Xerosoles. Esto pudiera atribuirse a las dosis de ácidos húmicos que se aplican como mejoradores de suelo durante el ciclo de producción de chile en la región. De acuerdo con Manzano-Banda *et al.* (2014) los ácidos húmicos favorecen el suministro de oxígeno y humedad a las raíces del cultivo, condiciones óptimas para una mayor acumulación y permanencia de materia orgánica sobre el suelo. La reducción del contenido de materia orgánica de un ciclo a otro puede ser consecuencia del sistema de producción convencional de la región, dado que, Martínez *et al.* (2008) indica que, desde la incorporación de nuevos suelos para actividades agrícolas hasta convertirse en sistemas intensivos de cultivo, las entradas de carbono orgánico son inferiores a la emisión de bióxido de carbono a la atmósfera, por lo que se producen pérdidas de MO que oscilan entre el 30 y 50% del nivel inicial. Ante este contexto, es recomendable la adición de abonos orgánicos a fin de mejorar el nivel de materia orgánica en los suelos. Álvarez *et al.* (2010). Incorporar residuos vegetales acompañados con prácticas de labranza mínima incrementa la materia orgánica de acuerdo

con Torres *et al.* (2006). Varios estudios concuerdan en que la MO del suelo es el indicador que ejerce una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad. P. ej.: Rodríguez, Florentino, Torres, Yendis y Zamora (2009) y Villarreal *et al.* (2013) indicaron que incrementa la actividad biológica y propiedades físicas del suelo, retención del agua y su fertilidad; Terrazas, Nikolskii, Herrera, Castillo y Exebio (2010) reportaron que es una fuente de reserva de nutrientes, principalmente de nitrógeno, que es esencial para el desarrollo de cualquier cultivo.

**Micronutrientes (N, P, K).** La cantidad de nitrógeno inorgánico que se registró en ambos periodos fue similar ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 2), situándose en una clasificación baja. Este resultado puede ser consecuencia de que el muestreo se realizó al final del ciclo agrícola, y por lo tanto el N pudo asimilarse por la planta o mineralizarse (NOM-021-RECNAT-2000, 2002). Así mismo, esta situación también pudiera ser consecuencia de la presencia de elevadas concentraciones de arena sobre la mayoría de las muestras de suelo, pues, de acuerdo con Salgado *et al.* (2012) este tipo de suelos presentan un medio suficientemente aireado y por medio del agua de riego el nitrógeno se mueve más rápido. Por su parte López *et al.* (2017), Orsag *et al.* (2013), Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenacker y Sereno (2010) y Cruz *et al.* (2012) registraron concentraciones bajas de nitrógeno al final de los ciclos productivos, lo que se atribuyó a la extracción por los cultivos, a la mineralización del N activo y del N almacenado, que estimula la aireación del suelo en el barbecho, y a los procesos de lixiviación y erosión.

Se ha observado que la aplicación de nitrógeno en la zona de estudio se encuentra ligeramente abajo de la recomendación del INIFAP (2006) para la región, por lo tanto, los productores no se están excediendo en el uso de fertilizantes nitrogenados. Al presentarse valores bajos en el suelo al final del ciclo, se recomienda incrementar las dosis de nitrógeno en un 7% para fertilización base y un 260% para fertirrigación y así cumplir con los requerimientos.

Respecto al contenido de fósforo (P) se identificó una reducción de un ciclo a otro de  $2.0 \text{ mg kg}^{-1}$  lo que hace que existan diferencias ( $P < 0.05$ ) en ambos ciclos (Cuadro 2), las muestras se clasificaron con un bajo contenido de P (inferiores a  $4 \text{ mg kg}^{-1}$  en la solución del suelo). Salgado *et al.* (2012) señalan que generalmente el contenido total de P en los suelos de América Latina es relativamente bajo, sobre todo en

aquellos de origen calcáreo como es el caso de la región del acuífero Calera. La reducción en el contenido de P que presentaron los suelos, se explicaría porque las condiciones del suelo, principalmente bajo contenido de materia orgánica y alta proporción de arena, se asocian a una baja capacidad de reposición de ese elemento. De acuerdo con el INIFAP (2006) podría ser consecuencia de los procesos de evaporación, fijación o lixiviación, o bien, podría deberse a la alta presencia de material calcáreo en estos suelos, y su incremento por efecto de la aplicación de superfosfato de calcio simple 00-20-00-12(s)-20(Ca). Esta última condición resulta en una muy baja solubilidad de los fertilizantes mezclados. Ante esta situación, con la finalidad de mejorar el aprovechamiento del fósforo se recomienda usar fertilizantes fosfatados con baja relación calcio: fósforo (Ca:P).

En lo que se refiere a potasio (K), se encontraron valores estadísticamente similares ( $P > 0.05$ ) durante el periodo de análisis. Con valores de  $0.07 \pm 0 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  en el 2016 y  $0.1 \pm 0 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  en el 2017 el contenido es bajo NOM-021-RECNAT-2000 (2002). El bajo contenido de arcilla en los suelos de la región y su baja capacidad de intercambio catiónico pueden explicar parcialmente este resultado. FAO (2007) e INEGI (2004) indican que estos suelos usualmente presentan una CIC de media a baja. Aguado, Etchevers, Hidalgo, Galvis y Aguirre (2002) señalan que la baja disponibilidad de potasio se presenta frecuentemente en suelos erosionados y sometidos a un uso intensivo. Para incrementar la disponibilidad de K en los suelos de la región se recomienda la incorporación de los residuos de cosecha para mejorar el contenido de MO y estructura de los agregados e incrementar el contenido de arcillas.

**Bases intercambiables.** Los suelos registraron baja concentración de  $\text{Ca}^{+2}$  y no se observaron diferencias estadísticas durante el periodo evaluado ( $P > 0.05$ ). Esto puede ser consecuencia de los bajos niveles de calcio exportados por el cultivo de Chile. FAO (2007) e INEGI (2004) refieren que la baja cantidad de este elemento en los suelos de la región del acuífero Calera, podría deberse a la formación de carbonato de calcio, el cual limita la disponibilidad de calcio para el cultivo ya que este es un compuesto químico que generalmente se localiza en los suelos de las regiones áridas y semiáridas.

De igual forma, los niveles de  $\text{Mg}^{+}$  y  $\text{K}^{+}$  se clasificaron como bajos en ambos periodos. Sin embargo,  $\text{Na}^{+}$  se

incrementó considerablemente durante el segundo año. Prieto-Méndez *et al.* (2013) señalan que generalmente los suelos de las regiones áridas y semiáridas son ricos en ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{+}$ ), sodio ( $\text{Na}^{+}$ ), y potasio ( $\text{K}^{+}$ ), y la saturación de éstos como bases intercambiables debe ser alta. Contradictoriamente, en la región solamente se observó el 10% de saturación por bases, el cual dista ampliamente del 90% que debería estar presente en la región de acuerdo con INEGI (2004). Esta condición podría ser consecuencia de una posible degradación de los suelos agrícolas en esta zona ya que en el ciclo de 2017 las concentraciones de  $\text{Na}^{+}$  superaron ampliamente a las de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+}$ , por lo que podría inhibir la disponibilidad y capacidad de absorción de los cultivos para estos nutrimentos, al respecto Torres *et al.* (2006) y Estrada *et al.* (2017) encontraron que los suelos que presentaron menor disponibilidad de nutrientes y bases intercambiables eran aquellos que presentaron algún tipo de erosión, principalmente en los que no se realizaban estrategias de conservación como la incorporación de materiales orgánicos a los suelos. Por ello se recomienda la implementación de un programa de labranza mínima y la aplicación de residuos orgánicos en los suelos donde se cultiva chile en la región del acuífero Calera, para prevenir y corregir la degradación del suelo y evitar la poca disponibilidad de bases intercambiables.

**Capacidad de intercambio catiónico.** Se obtuvieron valores medios de CIC en 2016 y bajos en 2017, determinándose diferencias ( $P < 0.05$ ) entre periodos de evaluación. La baja capacidad de intercambio catiónico que se registró en la región puede asociarse con el reducido contenido de arcilla que presentaron la mayoría de las muestras. Según Astier *et al.* (2002) y García, Ramírez y Sánchez (2012) una adecuada proporción de arcilla le brinda al suelo propiedades tales como estructura, porosidad y capacidad de retención de agua que permiten un crecimiento y desarrollo adecuado del cultivo. Además, el contenido de materia orgánica en los suelos donde se cultiva chile se clasificó como medio, y esto incide directamente sobre la poca capacidad de intercambio catiónico. De acuerdo con Pérez (2013), la materia orgánica abarca un conjunto de sustancias de origen muy diverso, que desarrollan un papel importante en la fertilidad, conservación y presencia de vida del suelo ya que le proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico.

Los coloides presentan cargas negativas, hecho que les permite absorber cationes  $\text{H}^{+}$  y cationes metálicos ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ) e intercambiarlos en todo momento, no obstante, al ser escasa la materia orgánica ese intercambio es limitado, derivando en suelos pobres en nutrientes. Martínez *et al.* (2008) y García *et al.* (2012) señalan que la CIC es una propiedad química del suelo estrechamente vinculada a su fertilidad ya que indica la capacidad que éste tiene para suministrarle calcio, magnesio y potasio a los cultivos. En los suelos evaluados en este trabajo, estos parámetros se clasificaron como bajos de acuerdo con NOM-021-RECNAT-2000 (2002), esto se debe a que los suelos tienen altas cantidades de arena y por lo tanto su estructura no permite una alta retención de nutrientes.

**Relación de adsorción de sodio y porcentaje de sodio intercambiable.** La relación de adsorción de sodio en conjunto con la conductividad eléctrica permitió clasificar a la mayoría de los suelos de la región como C1-S2, los cuales no se consideran como sódicos, aunque la RAS es media. Los valores bajos de CE indican que no permite que se acumulen altas concentraciones de sales sódicas (Sarabia *et al.*, 2011). Otras muestras se clasificaron como C2-S2 y C1-S3, las cuales tienen un riesgo moderado para la sodificación de los suelos, ya que éstos revelan un contenido entre medio y alto de sales sódicas. Estos valores se atribuyen principalmente a la alta concentración de  $\text{Na}^{+}$  que se registró en los suelos durante el segundo periodo de evaluación ya que se incrementó significativamente, pero sin llegar a representar un problema grave, a pesar de ello. De cualquier forma, es deseable evaluar frecuentemente este elemento, ya que, de acuerdo con González-Acevedo, Padilla y Ramos (2016), si se llegarán a presentar altas cantidades de sodio en el suelo puede inhibir la disponibilidad de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+}$  y  $\text{K}^{+}$  para el cultivo; además la relación de adsorción de sodio podría elevarse hasta causar problemas de defloculación y pérdida de la estructura del suelo. La información obtenida coincide con lo que Sarabia *et al.* (2011) registraron en los suelos agrícolas del Valle de San Luis Potosí, México, en los que concentraciones medias de RAS se relacionaron con altas concentraciones de  $\text{Na}^{+}$ . Respecto al parámetro de PSI, en el ciclo de 2016 se clasificó como moderadamente sódico, pero en el ciclo de 2017 disminuyó su concentración y cambió a ligeramente sódico, por lo tanto, en cuanto a este parámetro no existe un riesgo potencial de



sodificación en el complejo de cambio, que pueda provocar dispersión y expansión de las partículas de los suelos agrícolas en la región y tampoco se observa la obstrucción de los espacios porosos y disminución de la conductividad hidráulica.

El incremento de  $\text{Na}^+$  de un ciclo a otro podría ser consecuencia del uso frecuente de fertilizantes y agroquímicos para la producción del cultivo de Chile, dado que Torres *et al.* (2016) en su estudio observó que la aplicación de esos insumos incrementó la acumulación de sales sódicas en la capa arable del suelo, las cuales causan efectos negativos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Este problema es más frecuente en las áreas ubicadas en las zonas áridas y semiáridas que se han abierto a la agricultura intensiva. Por su parte Gasca, Menjivar y Torrente (2011) indica que los suelos afectados por sales de  $\text{Na}^+$  son comunes en las regiones áridas y semiáridas donde la precipitación anual es insuficiente para satisfacer las necesidades de evotranspiración de las plantas, como resultado las sales del suelo no se disuelven y se acumulan en cantidades que son perjudiciales para el cultivo. Otro mecanismo de sodificación de los suelos de la región podría ser por el intercambio catiónico entre  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  proveniente de las aguas de riego, ya que al momento de precipitarse las sales de sodio quedan en la solución del suelo causando problemas en su estructura por su constante acumulación (Can *et al.*, 2011). Ante esta situación se recomienda realizar un análisis de las aguas de riego para evaluar su contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ ).

## CONCLUSIONES

A través del trabajo de investigación se encontraron elementos que evidencian la excesiva cantidad de fertilizantes fosforados y potásicos que se aplica durante el ciclo de productivo de Chile en Calera, Zacatecas, provocando con ello erosión de los suelos y baja capacidad de retención de agua y nutrientes, así como un elevado contenido de arena, alta densidad aparente y problemas de compactación. Sumado a lo anterior, la calidad del suelo se ha visto afectada por el nivel de tecnificación y cantidad de insumos aplicados en los sistemas de producción. Dado que no se identificaron cantidades excesivas de nutrientes residuales en el suelo, se recomienda analizar los frutos cosechados para evaluar si presentan algún tipo de toxicidad provocada por la fertilización excesiva, además, se recomienda realizar un estudio ecotoxicológico en los cuerpos de

agua superficiales, en el agua subterránea y en el suelo para identificar que existe algún contaminante (residuo de fertilizantes o agroquímicos tóxicos) que pudieran ser peligroso para la salud humana y/o impactar directamente sobre las poblaciones de los ecosistemas.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos utilizados y analizados en el presente estudio están disponibles con el autor de correspondencia para quien los solicite razonablemente.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés entre ellos.

## FONDOS

La presente investigación se llevó a cabo con fondos propios de los autores, y el apoyo del IIZD de la UASLP, y el Dr. Álvaro Can Chulim, facilitando su laboratorio y reactivos para el análisis de las muestras de suelo.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, obtención de datos, análisis y escritura: C. J. C. M. Conceptualización, análisis estadístico, escritura formal, revisión y edición: G. A. F. Conceptualización, análisis, discusión, escritura formal y revisión: G. A. B.

## AGRADECIMIENTOS

Se le agradece ampliamente al Dr. Álvaro Can Chulim, de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, por su apoyo para realizar los análisis de suelo en los laboratorios a su cargo, Al Dr. José Alfonso Pinedo Escobar, por su apoyo en la investigación de campo, al IIZD de la

UASLP por las facilidades (vehículos y laboratorios) y a los productores de Chile del Municipio de Morelos Zacatecas, por proporcionar información para la presente investigación.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre, J. R. (1979). *Metodología para el registro de conocimiento empírico de los campesinos en relación con el uso de recursos naturales renovables. Documento de Trabajo núm. 03*. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México: CREZAS-CP.
- Aguado-Lara, G., Etchevers-Barra, J. D., Hidalgo-Moreno, C., Galvis-Spínola, A. & Aguirre-Gómez, A. (2002). Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia*, 36(1), 11-21.
- Álvarez-Sánchez, M. E., Velázquez-Mendoza, J., Maldonado-Torres, R., Almaguer-Vargas, G., & Solano-Agama, A. L. (2010). Diagnóstico de la fertilidad y requerimiento de cal de suelos cultivados con agave azul (*Agave tequilana* Weber). *Terra Latinoamericana*, 28(3), 287-293.
- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., & Etchevers Barra, J. D. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-620.
- Ávila, J. R., Mojarro, F., Moriasi, D. N., Gowda, P. H., Bautista, C., Echavarría, F. G., ... Hernández, J. (2012). Calibration of SWAT2009 Using Crop Biomass, Evapotranspiration, and Deep Recharge: Calera Watershed in Zacatecas, Mexico Case Study. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(7), 439-450. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2012.47051>
- Bravo, L., Cabañas, B. J., Mena, J., Velásquez, R., Rubio, S., Mojarro, F., & Medina, G. (2002). *Guía para la producción de Chile seco en el Altiplano de Zacatecas. Publicación Técnica Núm. 1*. Zacatecas, México: SAGARPA-INIFAP.
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., & Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo*, 28(2), 223-231.
- Can-Chulim, A., Ortega-Escobar, H. M., García-Calderón, N. E., Reyes-Ortigoza, A. L., González-Hernández, V. A., & Flores-Román D. (2011) Origen y calidad del agua subterránea en la cuenca oriental de México. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 189-200.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo*, 25(2), 173-178.
- Cruz-Ruiz, E., Cruz-Ruiz, A., Aguilera-Gómez, L. I., Norman-Mondragón, H. T., Velázquez, R. A., Nava-Bernal, G. ... Reyes-Reyes, B. G. (2012). Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 189-197.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2019). Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero (3225) Calera. Consultado el 15 de enero, 2021, desde [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5572271&fecha=13/09/2019#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5572271&fecha=13/09/2019#gsc.tab=0)
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Martínez, J. M., & Iglesias, J. O. (2016). Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Ciencia del Suelo*, 34(2), 197-209.
- Estrada-Herrera, I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., & Etchevers-Barra, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Roma, Italia: FAO
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Gasca, C. A., Menjivar, J. C., & Torrente-Trujillo, A. (2011). Cambios en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de absorción de sodio (RAS) de un suelo y su influencia en la actividad y biomasa microbiana. *Acta Agronómica*, 60(1), 27-38.
- González-Acevedo, Z. I., Padilla-Reyes, D. A., & Ramos-Leal, J. A. (2016). Quality assessment of irrigation water related to soil salinization in Tierra Nueva, San Luis Potosí, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(3), 271-285.
- Hernández, J. E., Gowda, P. H., Howell, T. A., Steiner, J. L., Mojarro, F., Núñez, E. P., & Avila, J. R. (2012). Modeling Groundwater levels on the Calera aquifer region in central Mexico using ModFlow. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2(1), 52-61.
- Ibarra-Castillo, D., Ruiz-Corral, J. A., Flores-Garnica, J. G., & González-Eguarte, D. R. (2007). Distribución espacial del contenido de materia orgánica de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 187-194.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2004). *Guía para la Interpretación Cartográfica de Edafología*. Aguascalientes, Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). Banco de Información Económica, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México 2017. Consultado el 19 de noviembre, 2019, desde <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=102000260010#D102000260010>
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2006). *Tecnología de Producción de Chile Seco. Libro Técnico No. 05*. Zacatecas, México: INIFAP. ISBN: 970-43-0136-7
- Larson, W. E., & Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In: *Evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol.2. IBSRAM Proc.12(2)*. (pp. 37-51). Bangkok, Thailand: International Board for Soil Resources and Management.
- López, R., Villavicencio-Floriani, E., Real-Rosas, M. A., Ramírez-Barajas, J. L., & Murillo-Amador, B. (2003). Macronutrientes en suelos de desierto con potencial agrícola. *Terra Latinoamericana*, 21(3), 333-340.
- López-Pérez, M. E., Del Rincón-Castro, M. C., Muñoz-Torres, C., Ruiz-Aguilar, G. M. L., Solís-Valdez, S., & Zanor, G. A. (2017). Evaluación de la contaminación por elementos traza en suelos agrícolas del suroeste de Guanajuato, México. *Acta Universitaria*, 27(6), 10-21.
- Manzano-Banda, J. I., Rivera-Ortiz, P., Briones-Encinia, F., & Zamora-Tovar, C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-

- sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra latinoamericana*, 32(3), 211-219.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Medina-García, G., & Ruiz-Corral, J. A. (2004). *Estadísticas Climatológicas Básicas Del Estado de Zacatecas. Periodo 1961-2003 Libro Técnico No. 03*. Zacatecas, México: INIFAP. ISBN: 968-800-582-7
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). (2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis, publicada el 31 de diciembre de 2002. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: SEGOB
- Orsag, V., León, L., Pacosaca, O., & Castro, E. (2013). Evaluación de la fertilidad de los suelos para la producción sostenible de quinua. *T'inkazos*, 33, 89-112.
- Pérez-López, E. (2013). Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *Intersedes*, 14(29), 6-18.
- Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O. A., & Méndez-Marzo, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ics) cebaderos del sur del Estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 83-91.
- Rehman, O. B., Ahmad, B., & Afzal, S. (2010). Soil fertility and salinity status of Attock District. *Journal Agricultural Research*, 48(4), 505-516.
- Reyes-Rivas, E., Bravo-Lozano, A. G., Salinas-González, H., & Padilla-Bernal, L. E. (2006). Rentabilidad del chile seco en Zacatecas, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 29(2), 137-144.
- Rodríguez, N., Florentino, A., Torres, D., Yendis, H., & Zamora, F. (2009). Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. *Revista de la Facultad Agronomía*, 26(3), 340-361.
- Roveda, G., Peñaranda, A., Ramírez, M., Baquero, I., & Galindo, R. (2012). Diagnóstico de la fertilidad química de los suelos de los municipios de Granada y Sylvania para la producción de uchuva en Cundinamarca Corpoica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 179-188.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2017). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SLAP*. Consultado el 31 de marzo, 2019, desde [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)
- Salgado-Tránsito, J. A., Palacios-Vélez, O., Galvis-Spinola, A., Gavi-Reyes, F., & Mejía-Sáenz, E. (2012). Efecto de la calidad de agua del acuífero Valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), 79-95.
- Sarabia-Meléndez, I. F., Cisneros-Almazán, R., Aceves-De Alba, J., Durán-García, H. M., & Castro-Larragoitia, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 103-113.
- SAS (Statistical Analysis System) (2009). *SAS/STAT User's guide. Release 9.2*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Consultado el 30 de marzo, 2019, desde [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Informe\\_2012.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf)
- SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados). (2017). *Volúmenes de exportaciones mexicanas de frutas y hortalizas*. Consultado 3 de agosto, 2020, desde <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>
- Sweeney, D. J., Anderson, D. R., & Williams, T. A. (2008). *Estadística para Administración y Economía (décima edición)*. D. F., México: CENGAGE Learning.
- Terrazas-Mendoza, L., Nikolskii-Gavrilov, I., Herrera-Gómez, S. S., Castillo-Álvarez, M., & Exebio-García, A. A. (2010). Alteración de la fertilidad del suelo, y vulnerabilidad de maíz y trigo bajo riego debido al cambio climático. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 1(1), 87-102.
- Torres, D., Florentino, A., & López, M. (2006). Indicadores e índices de calidad del suelo en un ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. *Bioagro*, 18(2), 83-91.
- Torres, D., Mendoza, B., Meru, L., & Gómez, C. (2016). Riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor-Venezuela. *Multiciencias*, 16(2), 133-142.
- Villarreal-Núñez, J., Name-Tuñón, E. B., García-Espino, R. A. (2012). Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), 301-309.
- Villarreal-Núñez, J., Pla-Sentis, I., Agudo-Martínez, L., Villaláz-Perez, J., Rosales, F., & Pocasangre, L. (2013). Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 301-315.