

Caracterización fisicoquímica del suelo en cultivo de naranja valencia en Güémez, Tamaulipas

Physicochemical characterization of the soil in valencia orange cultivation in Güémez, Tamaulipas

Claudia Berenice Olazarán-Santibáñez¹, Laura Sanchez-Castillo^{2*}, Edmar Melendez-Jaramillo², Ignacio González-Gutiérrez², Efraín Neri-Ramírez², María Teresa Maldonado-Sada²

¹División de estudios de posgrado, Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Matamoros, SN, Zona Centro. C.P. 8700, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. a2181010012@alumnos.uat.edu.mx

²Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Matamoros, SN, Zona Centro. C.P. 8700, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. laura.sanchez@uat.edu.mx (L.S.-C); edjaramillo@uat.edu.mx (E.M.-J); ignacio.gonzalez@uat.edu.mx (I. G.-G); eneri@docentes.uat.edu.mx (E.N.-R); mmaldonado@uat.edu.mx (M. T.M.-S).

*Autor para correspondencia: laura.sanchez@uat.edu.mx

RESUMEN: En Güémez, Tamaulipas, México, el monocultivo intensivo y prolongado de cítricos ha consolidado a la región como una zona productora clave a nivel mundial, ejerciendo una presión creciente sobre la calidad del suelo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo en huertas de naranja valencia ubicadas en Güémez. Se realizó un muestreo aleatorio simple en 15 huertas de naranja y se analizaron parámetros tales como el pH, conductividad eléctrica, sodio intercambiable, materia orgánica, cationes, carbonatos, nutrientes disponibles y textura, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000. Además, se relacionó la edad estimada del cultivo y las propiedades del suelo mediante un análisis de correlación de Pearson ($p < 0.05$). Los resultados mostraron suelos ligeramente básicos, bajos niveles de sales solubles y una relación sodio-calcio elevada en uno de los sitios. Se identificaron niveles elevados de fósforo (41.43 mg kg^{-1}) y carbonatos (hasta 45.96 %), así

como una disminución significativa de materia orgánica, nitrógeno y carbonatos conforme aumentaba la edad del cultivo. Estos hallazgos sugieren que la edad del cultivo puede ser un indicador del deterioro progresivo del suelo y resalta la necesidad de ajustar el manejo agronómico en plantaciones establecidas para preservar la fertilidad y productividad a largo plazo.

PALABRAS CLAVES: Citricultura, degradación edáfica, suelo agrícola

ABSTRACT: In Güémez, Tamaulipas, Mexico, intensive and prolonged citrus monoculture has consolidated the region as a key global producing area, exerting increasing pressure on soil quality. This study aimed to evaluate the physicochemical properties of soil in Valencia orange orchards located in Güémez. Simple random sampling was conducted in 15 orange orchards, and parameters such as pH, electrical conductivity, exchangeable sodium, organic matter, cations, carbonates,

available nutrients, and texture were analyzed, in accordance with NOM-021-RECNAT-2000. Furthermore, estimated crop age and soil properties were correlated using a Pearson correlation analysis ($p < 0.05$). The results showed slightly basic soils, low levels of soluble salts, and a high sodium-calcium ratio at one of the sites. High levels of phosphorus and carbonates were identified, as well as a significant decrease in organic matter, nitrogen, and carbonates with increasing crop age. These findings suggest that crop age can be an indicator of progressive soil deterioration and highlight the need to adjust agronomic management in established plantations to preserve long-term fertility and productivity.

KEYWORD: Citrus farming, soil degradation, agricultural soil

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso fundamental para la producción agrícola global, sustentando aproximadamente el 95 % de los alimentos consumidos a nivel mundial (ONU, 2022). Sin embargo, la intensificación agrícola, particularmente a través del monocultivo prolongado, ha generado un deterioro significativo en las propiedades físico-químicas del suelo, lo que afecta productividad y tiene repercusiones económicas, sociales y ambientales a escala mundial (Cuadras-Berrelleza *et al.*, 2021). En la actualidad, alrededor del 40 % de las tierras agrícolas presentan algún grado de degradación (UNCCD, 2024). En México, esta situación es particularmente crítica, ya que entre el 55 % y el 90.7 % de los suelos agrícolas presentan reducción en la fertilidad debido a procesos como erosión, salinización y pérdida de materia orgánica (Álvarez-Arteaga *et al.*, 2020).

El estado de Tamaulipas se distingue por la contribución a la citricultura nacional, especialmente en los municipios productores como son: Güémez, Padilla, Hidalgo, Victoria y Llera (Gobierno de México, 2018). El monocultivo intensivo y prolongado de cítricos ha convertido a la región en un núcleo productor de importancia mundial (Varela-Fuentes *et al.*, 2009), pero también ha ejercido una presión creciente sobre la calidad del

suelo. Aun cuando Tamaulipas es reconocido por su destacada actividad agrícola, enfrenta retos significativos para conservar la fertilidad edáfica (Andrade *et al.*, 2017), sobre todo en las áreas de alta producción citrícola. En este contexto, el municipio de Güémez se consolida como uno de los principales productores de naranja valencia del estado (Hernández & Botello, 2017; Hernández, 2022). Por su parte, Landeros *et al.* (2004) documentaron estudios en huertas de naranja valencia pertenecientes al municipio de Güémez que, en ese momento, contaban con más de 25 años de establecimiento en un sistema de monocultivo, este fenómeno conlleva un uso intensivo y sostenido del suelo, lo que resulta en un impacto ambiental significativo y una utilización inadecuada de los recursos naturales.

En los últimos años, la expansión de nuevas plantaciones agrícolas ha implicado la remoción de vegetación natural y la transformación de ecosistemas colindantes (Lambin *et al.*, 2003), lo cual ha intensificado el uso del suelo en zonas productivas como Güémez. Esta presión creciente sobre los recursos edáficos ha dado lugar a prácticas agrícolas insostenibles, como el monocultivo prolongado y el uso excesivo de agroquímicos, que han acelerado la degradación del suelo (Cuadras-Berrelleza *et al.*, 2021). Este proceso afecta directamente la capacidad productiva del suelo al reducir su fertilidad, disminuir la materia orgánica y alterar su estructura física y química. Como resultado, se reduce la superficie cultivable, aumentan los costos de producción y se incrementa la dependencia de insumos externos, lo que amenaza la sustentabilidad del sector agrícola (Andrade, 2016). En este contexto, la degradación del suelo no solo representa una limitante para la producción local, sino también una amenaza directa para la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de regiones agrícolas enteras (Muñoz-Morales *et al.*, 2024).

A pesar de la importancia agrícola de Güémez y la evidencia de degradación del suelo en la región, la información detallada y actualizada sobre las propiedades físico-químicas del suelo en huertas de naranja valencia es limitada. Contar con este conocimiento es fundamental para diseñar estrategias de manejo sostenible que mitiguen los

efectos negativos y promuevan la productividad a largo plazo. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo en huertas de naranja valencia ubicadas en Güémez, con el propósito de generar información que contribuya al uso sostenible del recurso y al fortalecimiento de la productividad agrícola en la región.

METODOLOGIA

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en cuatro comunidades: Las Crucitas, Tres Sabinos, Luz del Campesino y Plutarco Elías Calles pertenecientes al municipio de Güémez, Tamaulipas, México. Se encuentra en la región centro del estado y se localiza en las coordenadas $23^{\circ}45'10''$ N y $100^{\circ}29'25''$ O. El clima se clasifica como semicálido subhúmedo con lluvias de verano, con una temperatura media anual de 24.1°C y una precipitación media anual de 940 mm (INEGI, 2021). Las unidades de suelo dominantes en esta área incluyen Vertisol, Leptosol, Kastañozem y Chernozem.

Muestreo y procesamiento de muestras

Para conocer las características fisicoquímicas del suelo, se seleccionaron 15 sitios de manera aleatoria correspondientes a huertas de naranja valencia, georreferenciados mediante GPS el 5 de agosto de 2024 (Figura 1). Estas huertas, son propiedad de familias productoras, operan bajo prácticas agrícolas tradicionales y monocultivos. Se tomaron muestras simples a 30 cm de profundidad, recolectadas en bolsas plásticas de 1 kg previamente etiquetadas. Las muestras se secaron en papel estroza a temperatura ambiente durante 72 h; posteriormente, se eliminaron manualmente raíces, hojas y piedras. Finalmente, el suelo fue molido y tamizado con malla de 2 mm conforme a la NOM-021-RECNAT-2000, que establece los criterios para análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

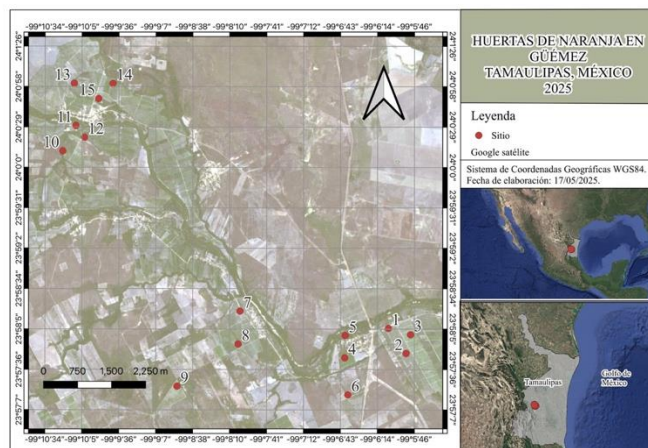


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio en Güémez, Tamaulipas.

Análisis fisicoquímico del suelo

El análisis fisicoquímico se realizó en la central de laboratorios perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias (FIC) de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT). Para seleccionar las propiedades que pudieran servir como indicadores de calidad, se tomó en cuenta su relevancia para las funciones y procesos que ocurren en el suelo de interés, la practicidad y simplicidad para ser medidas y la facilidad de interpretación con base en la disponibilidad de datos de referencia. Se midieron trece propiedades del suelo tanto físicas como químicas en agosto de 2024.

Para preparar y medir el pH del suelo, se pesaron 10 g de suelo en un vaso de precipitado y se añadieron 20 mL de agua destilada. Tras agitar la mezcla manualmente con una varilla de vidrio a intervalos de 5 min durante 30 min, se dejó reposar durante 15 min. Se calibró el medidor de pH Orion Star A211 con soluciones reguladoras pH 4 y 7, enjuagando los electrodos antes de las lecturas. Tras agitar la suspensión y sumergir el electrodo, se registró el pH una vez estabilizado.

Para determinar la conductividad eléctrica (CE) de acuerdo con el método AS-18 de la NOM-021-RECNAT-2000 se empleó el conductímetro de Fisher Scientific. Inicialmente, se limpió y se llenó la celda de conductividad con una solución de cloruro de potasio, calibrando posteriormente el medidor para reflejar la conductividad estándar de esta solución. Seguidamente, se procedió a enjuagar y a llenar la celda con el extracto de saturación del

suelo, registrando finalmente la CE del extracto corregida a 25 °C.

La relación de adsorción sodio (RAS) se calculó mediante la ecuación propuesta por Richards (1982). El proceso para determinarla involucró la fórmula matemática que incluye los niveles de bases extraídas con acetato de amonio 1 N a pH 7, así como los contenidos de Na⁺ y K⁺ obtenidos mediante el mismo reactivo. La cuantificación de los iones en el extracto de la pasta de saturación permitió calcular el RAS.

La materia orgánica (MO) fue obtenida mediante el método de Walkley y Black. Para calcular el contenido de MO, se pesó inicialmente 0.5 g de suelo seco, tamizado a 0.5 mm, y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Un blanco con reactivos se procesó por triplicado. Se añadieron 10 mL de dicromato de potasio 1 N al matraz, asegurando una distribución uniforme sobre el suelo. Posteriormente, se incorporaron 20 mL de ácido sulfúrico concentrado a la suspensión mediante una bureta, seguido de agitación durante un minuto. Tras un reposo de 30 min en una superficie no metálica, se añadieron 200 mL de agua destilada, 5 mL de ácido fosfórico concentrado y 10 gotas de indicador de difenilamina. La titulación con sulfato ferroso se llevó a cabo hasta alcanzar un punto final verde. Por último, se calculó el porcentaje de MO en la muestra.

Se evaluaron los carbonatos de calcio (CaCO₃) del suelo usando el método AS-20 de la NOM-021-RECNAT-2000. Se reaccionó una muestra de suelo de 5 g con ácido clorhídrico 0.5 N, se filtró, se lavó y luego se tituló con hidróxido de sodio 0.25 N usando fenolftaleína como indicador. El porcentaje de CaCO₃ se calculó a partir de la diferencia entre los miliequivalentes (mEq) de ácido y base consumidos.

En la determinación de calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺), se utilizó una pipeta con 0.5 mL de la solución en un tubo de ensayo. Posteriormente, se incorporaron 9.5 mL de la solución diluida de lantano y se procedió a mezclar. Las mediciones de la concentración de Ca²⁺ y Mg²⁺ en las series estándar, el blanco y la muestra se realizaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, con longitudes de onda de 422.7 nm y 285.2 nm, respectivamente.

Para la determinación de sodio (Na⁺) y potasio (K⁺) intercambiable se siguió el método AS-21 de la NOM-021-RECNAT-2000. Se colocaron 5 g de suelo seco en un tubo de centrifuga de 50 mL, añadiendo 33 mL de acetato de amonio 1 N. La mezcla se agitó mecánicamente durante 10 min y luego se centrifugó a 1800 rpm para separar el sobrenadante. El líquido claro se filtró usando papel Whatman 40 en un frasco de 100 mL. Se repitió el proceso de extracción dos veces, uniendo los sobrenadantes y ajustando finalmente el volumen a 100 mL. El contenido de Na⁺ y K⁺ se determinó usando el flamómetro Jenway PFP7, comparando las lecturas con curvas de calibración preparadas previamente para cada catión. Si alguna lectura superaba el estándar más alto de la curva, el extracto se diluía para asegurar mediciones dentro del rango de calibración.

La cantidad de nitrógeno (N) en el suelo se estimó a partir del contenido de MO, usando como referencia que ésta contiene un 5% de N. Se aplicó una constante de 0.05 de acuerdo con García-Serrano *et al.* (2009).

Para la determinación de fósforo (P) se analizaron muestras de suelo tamizado (2.5 g) usando una solución extractora, agitación y filtrado. Se midió el P mediante en el espectrómetro de UV visible después de preparar una curva de calibración. El contenido de P se calculó con una fórmula que relaciona concentración, volúmenes de solución y peso de la muestra.

Para la determinación de hierro (Fe) y zinc (Zn) se utilizaron 10 g de suelo y una relación de extracción 1:2 con agitación horizontal durante 2 h. Tras el filtrado, las concentraciones de Fe y Zn se midieron en un espectrómetro de absorción atómica. Se elaboraron curvas de calibración y se calcularon las concentraciones en suelo considerando factores de dilución.

El análisis de la textura del suelo se realizó mediante el método de Bouyoucos, siguiendo el modelo del triángulo textural. Se tomaron 60 g de suelo fino, a los que se les agregó agua oxigenada para eliminar la materia orgánica. Luego, se secó y se pesaron 50 g de suelo, los cuales se suspendieron en agua con hexametáfosfato de sodio. Después de reposar, se midieron las lecturas de un hidrómetro a los 40 s y a las 2 h, aplicando una corrección por temperatura.

Finalmente, se determinó la textura del suelo utilizando el triángulo de texturas.

Determinación de edad del cultivo

La edad de los cultivos se determinó mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa, aplicadas individualmente a los propietarios de las huertas ubicadas en los sitios seleccionados para el estudio. Esta información permitió identificar el tiempo de establecimiento de las huertas y analizar su posible relación con las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Análisis de datos

Se realizó un análisis descriptivo para caracterizar el estado actual de la condición del suelo. Dado que los datos no presentaron una distribución normal, se aplicó una transformación logarítmica. Posteriormente, utilizando el programa PAST se efectuó un análisis de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas del suelo, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades del suelo de cultivo de naranja

Los resultados presentados en el cuadro 1 indican que el pH del suelo del suelo en cultivo de naranja tiende a ser básico ya que los valores en los 15 sitios varían entre 7.3 a 8.4. En relación con lo anterior, Vargas-Rodríguez *et al.* (2020), señalan que el suelo al presentar un pH superior a 8.5 indica la presencia elevada del ion sodio lo que puede deteriorar la estructura del suelo. Aunque en este estudio los valores no superan ese umbral, se observa una tendencia que podría favorecer la acumulación de sodio con el tiempo. Bohn *et al.* (2001), destacan que, en suelos fértiles, el orden de concentración de cationes debe ser calcio, magnesio, potasio y sodio ($\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ respectivamente). La alteración de este equilibrio, especialmente con un aumento en Na^+ , puede generar problemas de infiltración y disponibilidad de nutrientes. Además, en suelos con $\text{pH} > 8.5$, la dominancia de aniones cambia hacia carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} >$

NO_3^-), lo cual agrava la alcalinidad y limita la absorción de nutrientes.

En cuanto a la CE, los efectos de la salinidad se consideraron despreciables en todos los sitios evaluados, ya que los valores registrados fueron inferiores a 1.0 mS cm^{-1} a 25°C (Cuadro 1), umbral bajo el cual no se esperan afectaciones significativas en el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, en relación con el cultivo de naranja, Rodríguez y Dufour (2021) señalan que una CE de hasta 1.7 mS cm^{-1} es aún considerada aceptable para obtener rendimientos adecuados. Estos valores indican un margen de tolerancia para el cultivo, lo cual podría ser aprovechado para implementar prácticas de manejo que optimicen la nutrición sin comprometer la salinidad del suelo.

Cuadro 1. Valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de suelo agrícola en los 15 sitios de huertas de naranja en Güémez, Tamaulipas.

Sitio	pH	CE	RAS	MO	CaCO ₃
		mS cm ⁻¹		%	%
1	8.4	0.61	2.93	0.40	15.66
2	8.3	0.61	1.93	0.49	17.10
3	8.2	0.50	2.13	0.49	19.50
4	8.2	0.55	2.06	0.37	15.30
5	8.1	0.55	1.86	2.03	19.26
6	7.5	0.67	4.66	0.55	32.34
7	7.6	0.54	1.86	0.65	18.78
8	7.6	0.54	2.26	0.21	15.18
9	7.4	0.57	6.8	0.46	45.96
10	7.5	0.44	2.86	0.27	19.50
11	7.4	0.64	2.53	0.16	21.18
12	7.4	0.31	1.20	0.33	23.58
13	7.4	0.32	2.06	0.50	15.90
14	7.3	0.52	3.20	0.31	20.22
15	8.0	0.57	2.33	0.47	32.46

pH = potencial de hidrógeno; CE = conductividad eléctrica; RAS = relación de adsorción de sodio; MO = materia orgánica; CaCO₃ = carbonatos de calcio

El cuadro 1 muestra que la RAS en los sitios evaluados varió entre 0.16 y 0.65, con un promedio de 0.51, lo que indica que, en general, los niveles de sodio no representarían un riesgo significativo para el cultivo de naranja. Sin embargo, el sitio 5 presentó un valor elevado de 2.03, notablemente superior al promedio, esto puede deberse a una posible acumulación de sodio intercambiable. Este hallazgo es relevante, ya que altos niveles de RAS pueden causar daños severos en cítricos, como

reducción en el crecimiento, quemaduras foliares y disminución en la calidad del fruto, además de que la naranja es poco tolerante a la salinidad (Núñez-Vázquez *et al.*, 2017). La anomalía observada está asociada con posibles factores como el tipo de agua de riego, drenaje deficiente o sobrefertilización con productos ricos en sodio, lo cual subraya la importancia de realizar un manejo localizado del suelo y monitoreo periódico para prevenir afectaciones en la productividad.

En la mayoría de los sitios evaluados, los porcentajes de MO se clasificaron entre medio y alto, lo que sugiere una buena disponibilidad de nutrientes y condiciones favorables para el desarrollo del cultivo de naranja (Hallman *et al.*, 2024). No obstante, en el cuadro 1 se puede observar que el sitio 12 presentó un valor bajo (1.20 %), lo que podría limitar los procesos de mineralización, por tanto, la disponibilidad de nutrientes esenciales. La MO es clave para mantener la fertilidad del suelo, ya que favorece la actividad microbiana, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y la estructura del suelo (Castro-Landin *et al.*, 2023). Además, favorece la absorción y almacenamiento de agua, lo que es especialmente beneficioso en regiones áridas y semiáridas (Lehmann y Kleber, 2015). De igual forma, influye directamente en la disponibilidad de nitrógeno (N) y otros elementos cruciales, especialmente en cultivos de alto valor económico como la naranja (Aguirre *et al.*, 2022). La baja concentración de MO observada en el sitio 12 podría estar relacionada con un manejo inadecuado de los residuos orgánicos o con una alta tasa de mineralización sin reposición. Por ello, se recomienda implementar prácticas como la aplicación de compost, ya que estudios como el de García y Ortega (2023) demostraron que, en el cultivo de papa, el uso de compost incrementó la MO en un 30.5 %, mejorando significativamente la calidad del suelo.

Los sitios evaluados presentaron un contenido de CaCO_3 entre 15.18 % y 45.96 % (Cuadro 1), con una media de 22.52 %. Destacan el sitio 6, 9 y 15 con 32.34 %, 45.96 % y 32.46 %, lo cual indica que los suelos presentan un alto contenido de CaCO_3 lo que puede alterar la estructura del suelo, reducir su porosidad y capacidad de retención de humedad (Ovalle *et al.*, 2023). Aunque los carbonatos pueden

contribuir al secuestro de carbono inorgánico (Bughio *et al.*, 2015), esto no siempre compensa las afectaciones en la productividad agrícola. Estos resultados son similares a los reportados por Cavazos-Solís *et al.* (2023), donde reportan altos contenidos de CaCO_3 en unidades productivas del noreste de México. En este sentido, Álvarez-Arteaga *et al.* (2020), destacan que prácticas como el encalado y el uso de enmiendas orgánicas pueden estabilizar el pH en suelos con alta presencia de carbonatos, favoreciendo así una mejor disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

Autores como Bohn *et al.* (2001) destacan que, en suelos alcalinos, como los reportados en este estudio, los cationes más abundantes suelen ser Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ . Sin embargo, Santoyo *et al.* (2021), advierten que un incremento del Na^+ como catión dominante en diversas regiones agrícolas, provoca dispersión de arcillas y deterioro estructural del suelo. Este fenómeno es evidente en el sitio 5 (Cuadro 2), donde el Na^+ alcanza $3.36 \text{ Cmol kg}^{-1}$, un valor que indica un potencial riesgo de salinización. Respecto al nitrógeno, los contenidos variaron entre 0.07 % y 0.41 %, con el sitio 9 mostrando la mayor concentración, lo que podría estar relacionado con prácticas de fertilización o mayor contenido de MO; no obstante, su disponibilidad depende de la mineralización y la actividad microbiana (Castro-Landin *et al.*, 2023).

En cuanto al Ca^{2+} , en el cuadro 2 se puede observar que su mayor concentración se presentó en el sitio 15 ($195.39 \text{ mg kg}^{-1}$). El Mg^{2+} mostró gran variabilidad entre sitios (6.08 a 91.17 mg kg^{-1}), al igual que lo reportado por Lince *et al.* (2015), en la evaluación de cationes en función de las propiedades del suelo en una zona cafetera y similar a lo reportado por Jadhav *et al.* (2025), en suelos calcáreos. En cuanto al K^+ , la mayoría de los sitios se ubicaron en el rango óptimo para naranjos ($0.3 - 0.7 \text{ Cmol kg}^{-1}$) (Echeverría-Pérez *et al.*, 2023), aunque el sitio 5 presentó deficiencia ($0.28 \text{ Cmol kg}^{-1}$), y los sitios 6, 9, 14 y 15, concentraciones superiores a 1.0 Cmol kg^{-1} , lo cual puede generar desequilibrios nutricionales al interferir con la absorción de Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Cuadro 2. Valores obtenidos de los nutrientes esenciales de suelo agrícola en los 15 sitios de huertas de naranja en Güémez, Tamaulipas.

Sitio	N	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	%	mg kg ⁻¹	Cmol kg ⁻¹	Cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
1	0.17	2.40	0.44	0.92	60.12	91.17
2	0.12	8.56	0.72	0.85	65.13	33.43
3	0.13	7.11	0.63	0.85	95.19	15.20
4	0.12	9.51	0.33	1.90	60.12	36.47
5	0.11	7.70	0.28	3.36	65.13	27.35
6	0.28	34.64	1.38	1.13	110.22	36.47
7	0.11	29.89	0.64	1.13	95.19	15.20
8	0.13	0.91	0.33	0.35	90.18	12.16
9	0.41	5.75	1.28	0.85	95.19	24.31
10	0.17	2.22	0.79	0.35	60.12	6.08
11	0.15	1.90	0.30	0.31	110.22	18.23
12	0.07	2.67	0.45	0.63	100.20	27.35
13	0.12	3.85	0.73	0.92	105.21	18.23
14	0.19	13.92	0.97	0.56	115.23	9.12
15	0.14	41.43	1.04	0.85	195.39	45.22

N = nitrógeno; K⁺ = potasio; Na⁺ = sodio; Ca²⁺ = calcio; Mg²⁺ = magnesio; P = fósforo.

Por otra parte, se detectó un exceso de fósforo (P) en los sitios 6, 7 y 15 (34.64, 29.89 y 41.43 mg kg⁻¹), excediendo el rango agrícola óptimo (10 - 20 mg kg⁻¹) (Echeverría-Pérez *et al.*, 2023). Esta condición de acuerdo con Stevenson y Cole (1999), puede inhibir la absorción de micronutrientes como el zinc (Zn) y el hierro (Fe) consistente con los bajos niveles de Zn registrados en la mayoría de los sitios (Cuadro 3).

En cuanto a micronutrientes se puede observar que en el cuadro 3, las concentraciones de Fe oscilaron entre 0.28 y 1.38 mg kg⁻¹, valores que pueden ser limitantes en suelos alcalinos, afectando la fotosíntesis y el rendimiento del cultivo (Díaz *et al.*, 2018). El Zn, por su parte, se encontró generalmente en niveles bajos (<0.5 mg kg⁻¹), excepto en el sitio 15 (1.03 mg kg⁻¹), lo que indica deficiencia en la mayoría de las huertas (Almendros *et al.*, 2008). Aunado a ello, el uso excesivo de fertilizantes para aumentar la limitada biodisponibilidad de nutrientes a llevado a un escenario de exceso de concentraciones en suelos agrícolas como lo reportado por Campos-Soriano, *et al.* (2020), afectando el desarrollo y productividad del cultivo.

Cuadro 3. Valores obtenidos de los micronutrientes de suelo agrícola en los 15 sitios de huertas de naranja en Güémez, Tamaulipas.

Sitio	Fe	Zn
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
1	0.44	0.29
2	0.72	0.48
3	0.63	0.55
4	0.33	0.40
5	0.28	0.22
6	1.38	0.69
7	0.64	0.22
8	0.33	0.21
9	1.28	0.25
10	0.79	0.38
11	0.30	0.22
12	0.45	0.30
13	0.73	0.40
14	0.97	0.31
15	1.04	1.03

Fe = fierro; Zn = zinc.

Los resultados presentados en la figura 2 indican que la textura predominante en los suelos analizados de las huertas de naranja en Tamaulipas es franca arcillosa arenosa, seguida de texturas francas y arcillosas. Esta diversidad textural influye en propiedades clave como la retención de agua, la aireación y la disponibilidad de nutrientes. Según Weil y Brady (2016), los suelos con textura franca arcillosa retienen bien la humedad y los nutrientes, aunque pueden presentar problemas de compactación si no se manejan adecuadamente. Los suelos más arcillosos, observados en los sitios 9, 10 y 15, ofrecen alta retención de agua, pero también aumentan el riesgo de asfixia radicular en caso de drenaje deficiente (Hagage *et al.*, 2024). Por otro lado, los suelos francos, presentes en los sitios 2, 4 y 8, presentan características favorables para el cultivo debido a su equilibrio entre retención y drenaje (Czigány *et al.*, 2023). Sin embargo, en suelos con alta proporción de arena, como el sitio 11 (68.8 %), la baja capacidad de intercambio catiónico puede limitar la disponibilidad de nutrientes esenciales.

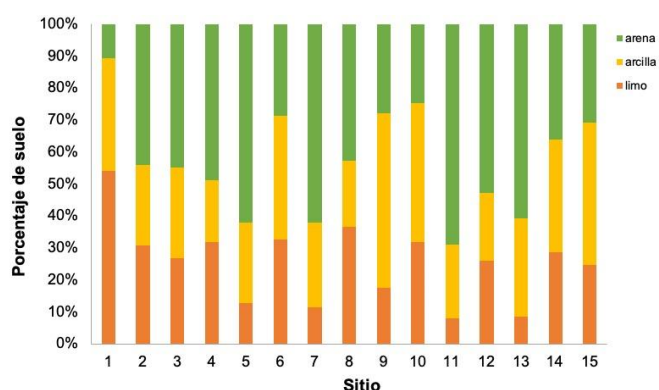


Figura 2. Porcentaje de arena, arcilla y limo en los sitios en los 15 sitios de huertas de naranja en Güémez, Tamaulipas.

Edad del cultivo

La edad del cultivo evaluado en este estudio varió entre los 3 y más de 60 años, mostrando una alta heterogeneidad en el establecimiento de las huertas en el municipio. Este rango contrasta con lo reportado por Vargas-Tovar *et al.* (2024), quienes analizaron huertas del mismo municipio con una edad promedio cercana a los 15 años.

Así mismo, el análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo y la edad del cultivo evidenció relaciones significativas (Figura 3). Se observó una correlación positiva entre el pH y el Mg^{2+} , lo que sugiere que suelos más alcalinos tienden a tener mayor disponibilidad de este nutriente (Barrow y Hartemink, 2023). Así mismo, la MO mostró una fuerte asociación con el N y los $CaCO_3$, lo cual puede atribuirse tanto a procesos de descomposición como a la fracción coloidal del suelo (Castellanos *et al.*, 2020; Echeverría-Pérez *et al.*, 2023). En relación con lo anterior, Suri *et al.* (2024), mencionan que el uso continuo de fertilizantes sintéticos en sistemas de cultivo antiguos ha resultado en un aumento en la disponibilidad de micronutrientes (Zn, Fe, Mn y Cu). Finalmente, se identificó una tendencia decreciente de MO y nutrientes como N y $CaCO_3$, conforme aumentó la edad del cultivo. Esta disminución sugiere un posible agotamiento de dichos elementos debido a prácticas agrícolas prolongadas sin una reposición adecuada. En este sentido, Álvarez-Ramos *et al.* (2022) señalan que las labores agrícolas más comunes en estas huertas de la zona citrícola de Tamaulipas incluyen la aplicación

de insecticidas, fertilización y el uso de sistemas de riego por rodado, prácticas que podrían no compensar adecuadamente las pérdidas de nutrientes a lo largo del tiempo.

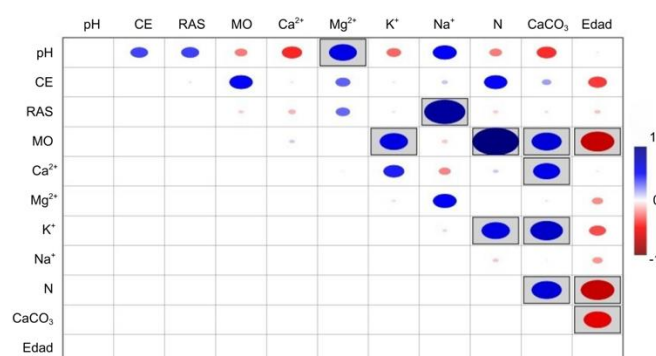


Figura 3. Correlación de Pearson ($p < 0.05$) de los parámetros fisicoquímicos del suelo en Güémez, Tamaulipas. pH = potencial de hidrógeno; CE = conductividad eléctrica; RAS = relación de adsorción de sodio; MO = materia orgánica; Ca^{2+} = calcio; Mg^{2+} = magnesio; K^+ = potasio; Na^+ = sodio; N = nitrógeno; $CaCO_3$ = carbonatos de calcio; Edad = edad del cultivo.

CONCLUSIONES

El análisis de los suelos de las huertas de naranja valencia en Güémez, Tamaulipas evidenció signos de deterioro, como altos niveles de Na^+ , desequilibrio de cationes y deficiencias de micronutrientes esenciales. Las texturas predominantes, principalmente franca arcillosa arenosa, influyen en la capacidad de retención de agua y nutrientes, factores clave para mantener la productividad agrícola. Además, una disminución significativa de materia orgánica, nitrógeno y carbonatos conforme aumentaba la edad del cultivo. Estos hallazgos destacan la necesidad de adoptar prácticas de manejo que mejoren la estructura del suelo, corrijan los desequilibrios nutricionales y promuevan su conservación a largo plazo, asegurando así la sostenibilidad de la citricultura en la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SECIHTI por el financiamiento del proyecto (1310281) y a los productores por su valiosa cooperación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

ORCID DE LOS AUTORES

<https://orcid.org/0009-0004-1985-4054>
<https://orcid.org/0000-0002-1028-2449>
<https://orcid.org/0000-0001-9054-2572>
<https://orcid.org/0000-0002-6241-3359>
<https://orcid.org/0000-0003-1547-9942>
<https://orcid.org/0000-0002-7285-4457>

REFERENCIAS

- Aguilar-Jiménez, C. E., Tóala-Salas, A., Galdámez-Galdámez, J., Gutiérrez Martínez, A., Martínez-Aguilar, F. B., Gómez-Padilla, E., Llaven-Martínez, J., & Vázquez-Solís, H. (2019). Efecto de la incorporación de diferentes dosis de abono orgánico en el cultivo de sorgo. En A. Huerta-de la Peña, F. García González, L. A. Villarreal Manzo, & J. A. Salazar Magallón (Eds.), *Agricultura sostenible: por la tierra por la vida* (pp. 30–37). Colegio de Postgraduados.
- Aguirre, S., Piraneque, N., & Cruz, R. (2022). Relación entre elementos nutrientes con carbono, nitrógeno y materia orgánica en suelos de la zona bananera de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 93–111. <https://doi.org/10.22490/21456453.5186>
- Almendros, P., Rico, M., López-Valdivia, M., & Álvarez, M. (2008). El agua en la agricultura: Un bien escaso que debemos proteger. *Vida Rural*, 280, 12–16.
- Álvarez-Arteaga, G., Ibáñez-Huerta, A., Orozco-Hernández, M. E., & García-Fajardo, B. (2020). Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México. *Revista de Estudios Territoriales*, 22(2), 5–19.
- Álvarez-Ramos, R., Azuara-Domínguez, A., Rodríguez-Castro, J. H., Zavala-Zapata, V., Sánchez-Borja, M., & Vargas, J. A. (2022). Abundancia estacional de *Diaphorina citri* asociada a la fenología del cultivo de cítricos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), 89–101. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.249>
- Andrade, E. del C., Espinosa, M., Belmonte, F., Rivera, P., & Gomaríz, F. J. (2017). *Evaluación, protección y conservación de suelos agropecuarios en el norte de Tamaulipas (México)*. Universidad de Murcia.
- Andrade, F. H. (2016). *Los desafíos de la agricultura*. IPNI Latinoamérica–Cono Sur.
- Barrow, N. J., & Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil*, 487, 21–37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Bohn, H. L., Myer, R. A., McNeal, B. L., & O'Connor, G. A. (2001). *Soil chemistry*. John Wiley & Sons.
- Bughio, M., Wang, P., Meng, F., Chen, Q., Kuzyakov, Y., Wang, X., & Junejo, S. (2015). Neof ormation of pedogenic carbonates by irrigation and fertilization and their contribution to carbon sequestration in soil. *Geoderma*, 262, 12–19.
- Castellanos, L., González-Pedraza, A. F., & Capacho, A. E. (2020). Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander. *INGE CUC*, 17(1), 69–81. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.0>
- Castro-Landín, A. L., Zapata-Velasco, M. L., & Palacios-López, L. A. (2023). El rol de los microorganismos en la fertilidad del suelo agrícola basado en una revisión de estudios recientes. *Innova Science Journal*, 1(1), 26–37. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v1/n1/8>
- Cavazos-Solís, A. A., Gutiérrez-Castorena, E. V., Encinia-Urbe, V. V., Ramírez-Gómez, G. A., & Bernal-García, S. E. (2023). Caracterización de una unidad productiva representativa del noreste de México. En D. J. Palma-López, R. Sánchez-Hernández, F. Bautista, & F. Ayala (Comps. & Eds.), *Uso y manejo del suelo: Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo* (pp. 68–72). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Cuadras-Berrelleza, A. A., Peinado-Guevara, V. M., Peinado-Guevara, H. J., López-López, J. J., & Herrera-Barrientos, J. (2021). Agricultura intensiva y calidad de suelos: desafíos para el desarrollo sostenible en Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1401–1424.
- Czigány, S., Sarkadi, N., Lóczy, D., Cséplő, A., Balogh, R., Fábíán, S. Á., Ciglič, R., Ferk, M., Pirisi, G., Imre, M., Nagy, G., & Pirkhoffer, E. (2023). Impact of agricultural land use types on soil moisture retention of loamy soils. *Sustainability*, 15(6), 4925. <https://doi.org/10.3390/su15064925>
- Díaz, A., Espinosa, M., & Ortiz, F. E. (2017). Corrección de la clorosis férrica con quelato EDDHA en

- cultivos en suelo alcalino y calcáreo. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 23–30. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.254>
- Echeverría-Pérez, E., et al. (2023). Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(1), 49–67.
- García-Serrano, P., Lucena, J. J., Ruano, S., & Nogales, M. (2009). El suelo, los nutrientes, los fertilizantes y la fertilización. En Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (Ed.), *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España* (pp. 25–36).
- García, D., & Ortega, A. (2023). Elaboración de compostaje para cultivos biofortificados. En D. J. Palma-López et al. (Eds.), *Uso y manejo del suelo* (pp. 165–169).
- Gobierno de México. (2018). Inicia periodo de mayor recolección de naranja en Tamaulipas. <https://www.gob.mx/agricultura/tamaulipas/articulos/inicia-periodo-de-mayor-recoleccion-de-naranja-en-tamaulipas>
- Hallman, L. M., et al. (2024). Soil organic matter influences citrus growth, nutrient uptake, and root system architecture. *HortScience*, 59(12), 1781–1788. <https://doi.org/10.21273/hortsci17377-24>
- Hagage, M., Abdulaziz, A. M., Elbeih, S. F., & Hewaidy, A. G. (2024). Monitoring soil salinization and waterlogging in the northeastern Nile Delta linked to shallow saline groundwater and irrigation water quality. *Scientific Reports*, 14, 1–20. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77954-x>
- Hernández, J. M., & Botello, J. (2017). El papel del entorno en las modificaciones de la estructura regional de la producción de limón y naranja en México. *Análisis Económico*, 32(80), 93–118.
- Hernández, M. R. (2022). Los acuerdos de hermanamiento como estrategia de desarrollo para los emprendedores en el municipio de Güémez, Tamaulipas. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 6(4), 5087–5100.
- INEGI. (2021). *Aspectos geográficos Tamaulipas*. <https://www.inegi.org.mx>
- Jadhav, Y., et al. (2025). Analyzing the critical magnesium concentrations for optimal tomato production in calcareous soils. *NEsciences*, 255–267. <https://doi.org/10.28978/nesciences.1646457>
- Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land use and cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205–241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- Lince, L. A., Rodríguez, N., & Khalajabadi, S. (2015). Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en suelos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 29–42. <https://doi.org/10.22490/21456453.1261>
- Martínez-Aguilar, F. B., et al. (2020). Caracterización del suelo en sistemas de maíz. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 871–881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>
- Muñoz-Morales, J. M., et al. (2024). Impacto de agroquímicos en la degradación del suelo. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 9(34), 65–70. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12510276>
- Núñez-Vázquez, M., et al. (2017). Estrés hídrico y salino en cítricos. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 65–74.
- ONU. (2022). Los suelos, origen de los alimentos. <https://www.un.org>
- Ovalle, R., Seguel, O., & Pfeiffer, M. (2023). Dinámica de carbonatos en suelos agrícolas. *AgroSur*, 51(1), 19–32. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2023.v51n1-02>
- Richards, L. A. (1982). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Limusa.
- Rodríguez, O., & Dufour, R. (2021). Suelos salinos y sódicos. ATTRA. <https://attra.ncat.org>
- Santoyo, M. F., et al. (2021). Composición iónica del suelo. *Nova Scientia*, 13(27), 1–20. <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2789>
- SEMARNAT. (2002). NOM-021-RECNAT-2000.
- Stevenson, F. J., & Cole, M. A. (1999). *Cycles of soil*. Wiley.
- Suri, D., et al. (2024). Micronutrient availability in soil systems. *Cereal Research Communications*, 52, 1187–1199. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00450-x>
- UNCCD. (2024). Día de lucha contra la desertificación y la sequía 2024. <https://www.unccd.int>
- Vargas-Tovar, J. A., et al. (2024). Fenología de cítricos y mosca de la fruta. *Acta Zoológica Mexicana*, 40, 1–17. <https://doi.org/10.21829/azm.2024.4012702>
- Weil, R., & Brady, N. (2016). *The nature and properties of soils*. Pearson.
- Zeng, Q., et al. (2024). Phosphorus fertilization and soil microbial diversity. *Soil and Tillage Research*, 241, 105995. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.105995>