

Propiedades fisicoquímicas de suelos cafetaleros en esquemas agroforestales en Chiapas

Edwin Geyner Verdugo-Morales¹

María Inés Yáñez-Díaz^{1,§}

Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi²

Carlos Ocaña-Parada³

Pablo Marroquin-Morales⁴

1 Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional 145, Linares, Nuevo León. 67700 México.

2 Facultad de Ingeniería-Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Villa Corzo, Chiapas, 30523 México.

3 Facultad de Ingeniería-Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Motozintla, Chiapas, 30900 México.

4 Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma de Chiapas. Huehuetán, Chiapas, 30660 México

§Autor para correspondencia: maria.yanezdz@uanl.edu.mx.

Resumen

En el primer semestre del año 2025 se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de tres tipos de suelos: Acrisol, Cambisol y Regosol, cultivados con café en esquemas tradicionales bajo sombra arbórea en Motozintla, Chiapas, para conocer su estado actual después de varias décadas de cultivo. Se analizaron 27 muestras de suelo, los resultados fueron contrastados con un análisis de varianza al 95% de confianza. Se encontró que el fósforo (P), cobre (Cu) y hierro (Fe) presentaron diferencias estadísticas entre los suelos, mientras que la densidad aparente (Da), conductividad eléctrica (CE), acidez (pH), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y zinc (Zn) fueron similares. Acorde a lo recomendado para el cultivo de café: la DA, CE, pH, P, K, Ca, Mg, Mn y Fe presentaron niveles adecuados, mientras la MO, N, Cu y Zn, fueron deficientes. Se concluye que los suelos estudiados presentaron pocas diferencias fisicoquímicas entre sí.

Keywords:

agroforestería, cafecultura, suelos.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

El suelo es la base de todos los ecosistemas terrestres y un recurso clave en el bienestar de la sociedad (Ndukwe *et al.* , 2023), porque es el medio donde se cultiva hasta 95% de los alimentos (FAO-ONU, 2015). Debido a la creciente presión sobre este recurso, se necesitan acciones de gestión sostenible, restauración y protección a escala de paisaje (FAO, 2017), para evitar la degradación de sus propiedades fisicoquímicas.

Los sistemas agroforestales como el cultivo tradicional de café bajo sombra arbórea, es el ejemplo de un esquema que busca articular las necesidades de la sociedad y la integridad de los ecosistemas (Guhl, 2009). En estos modelos de producción se ha encontrado que los suelos conservan sus propiedades fisicoquímicas (Villarreyna *et al.* , 2020). Sin embargo, las características intrínsecas de cada tipo de suelo, hace que unas sean más propensas a la degradación que otras (Hincapie y Ramírez, 2010).

El presente estudio se realizó en la región Sierra Madre de Chiapas, para conocer el estado actual de estos suelos cultivados con café por pequeños productores, en un esquema tradicional bajo sombra arbórea desde principios del siglo XX (Bartra *et al.* , 2011 ; Venegas Sandoval *et al.* , 2020). Para ello se planteó la hipótesis de que las características fisicoquímicas son diferentes entre los tipos de suelos encontrados en el área de estudio. La información obtenida es importante para restaurar y conservar la integridad de los suelos cafetaleros.

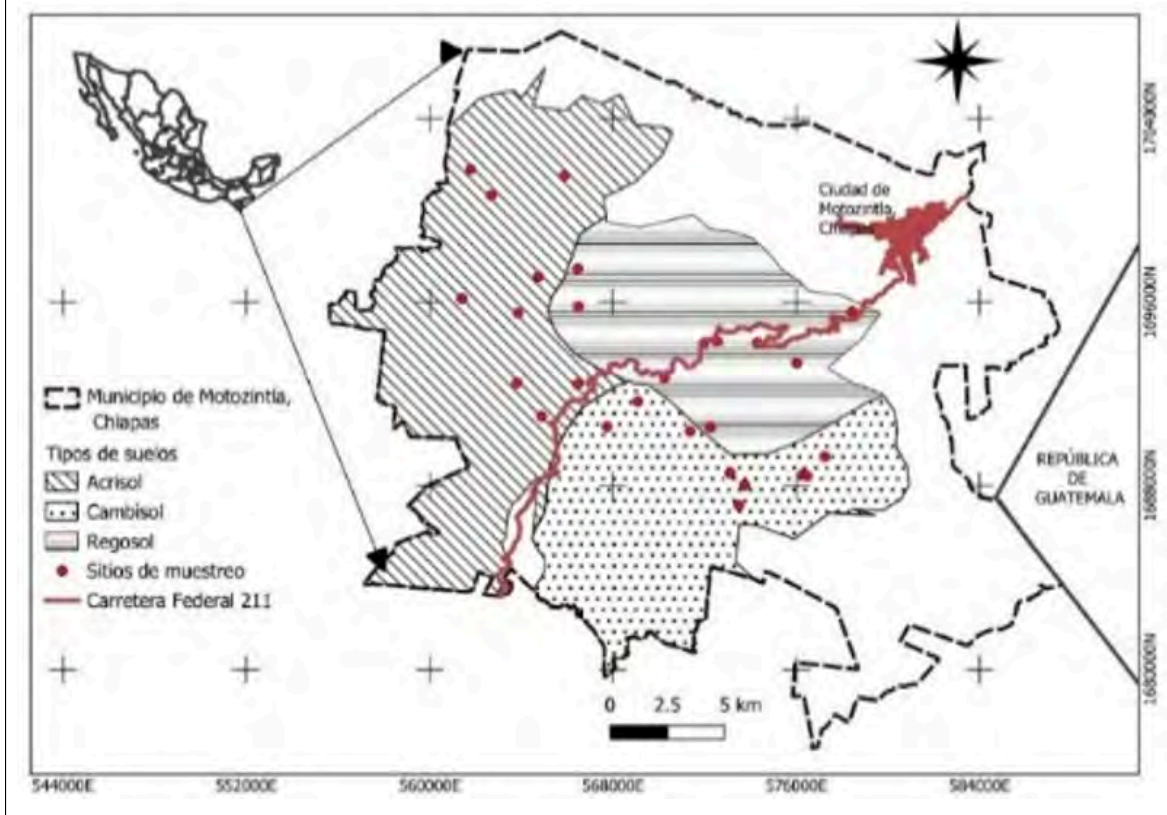
Materiales y métodos

Área de estudio

Los cafetales estudiados (*Coffea arabica* L.) se encuentra en el municipio de Motozintla de Mendoza, Chiapas (Figura) (15.300218°, -92.380043°), entre los 700 y 2 000 msnm. Los cafetales de las partes bajas se traslapan con selva alta tropical perennifolia, en las altitudes intermedias con selva seca y asociaciones de pino-encino, en las partes altas con bosque mesófilo y bosque de (INEGI, 2005 ; INEGI, 2017).



Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio (INEGI, 2015).



En el área se encuentran los tipos de suelos: acrisol, cambisol y regosol (INEGI, 2015), la precipitación promedio anual oscila entre 3 000 y 3 500 mm, las temperaturas entre 20 y 24 °C (INEGI, 2007) y pendientes pronunciadas (INEGI, 2024). El cultivo de café se clasifica como policultivo tradicional; es decir, se cultiva bajo la sombra regulada de árboles y combinado con otras plantas de interés agrícola (Verdugo-Morales *et al.*, 2025).

Diseño de muestreo y análisis estadístico

Se implementó un muestreo estratificado y se tomó al azar nueve parcelas en cada tipo de suelo (Acrisol, Cambisol y Regosol). En cada parcela se delimitó un sitio de 25 x 25 m² (Rosas *et al.*, 2008) y se tomaron 10 submuestras de suelo al azar de los primeros 15 cm de profundidad, a la altura del borde de goteo de las plantas y en la parte arriba de la pendiente. De las submuestras mezcladas se tomó 1 kg y fue etiquetada con una clave para su identificación.

Las muestras fueron secadas al aire libre, cribadas con un tamiz de 2 mm y procesadas en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. En el Cuadro 1 se describen las variables y los métodos utilizados.

Cuadro 1. Variables edáficas y sus métodos.

Variable	Método
DA= densidad aparente (g cm^{-3})	Método del cilindro (Woerner, 1989)
pH= potencial de hidrógeno	pH en agua (SEMARNAT, 2000)
CE= conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Suspensión suelo-agua 1:5 (Woerner, 1989)
MO= materia orgánica (%)	Walkley y Black (SEMARNAT, 2000)
N= nitrógeno (%)	Micro-Kjeldhal (SEMARNAT, 2000)
K= potasio (mg kg^{-1})	Espectrofotometría de adsorción atómica (SEMARNAT, 2000)
P= fósforo (mg kg^{-1})	Colorimetría (SEMARNAT, 2000)
Ca= calcio ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)	Espectrofotometría de adsorción atómica (SEMARNAT, 2000)
Mg= magnesio ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)	Espectrofotometría de adsorción atómica (SEMARNAT, 2000)
Mn= manganeso (mg kg^{-1})	DTPA-TEA- CaCl_2 (SEMARNAT, 2000)
Fe= hierro (mg kg^{-1})	DTPA-TEA- CaCl_2 (SEMARNAT, 2000)
Zn= zinc ($\mu\text{g g}^{-1}$)	DTPA-TEA- CaCl_2 (SEMARNAT, 2000)
Cu= cobre (mg kg^{-1})	DTPA-TEA- CaCl_2 (SEMARNAT, 2000)

Una vez que los resultados cumplieron los supuestos de la estadística paramétrica (West, 2022), como normalidad de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965), y homogeneidad de varianzas de Levene (Levene, 1960), se contrastaron con un análisis de varianza conforme a un diseño de bloques al azar, a un nivel de significancia de 95%.

Resultados y discusión

Los suelos estudiados presentan gran similitud a excepción de sus contenidos de fósforo, hierro y cobre (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades fisicoquímicas de los suelos estudiados.

Propiedades	Acrisol	Cambisol	Regosol	Significancia (P)
A (g cm^{-3})	0.97 $\pm$ 0.07	0.96 $\pm$ 0.04	0.96 $\pm$ 0.08	0.98
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	127.68 $\pm$ 50.56	154.64 $\pm$ 84.79	219.01 $\pm$ 175.97	0.869
pH	5.49 $\pm$ 0.43	4.97 $\pm$ 0.45	5.17 $\pm$ 0.43	0.262
MO (%)	6.08 $\pm$ 1.05	5.76 $\pm$ 0.79	6.3 $\pm$ 1.1	0.651
N (%)	0.3 $\pm$ 0.05	0.28 $\pm$ 0.04	0.31 $\pm$ 0.05	0.663
P (mg kg^{-1})	46.03 $\pm$ 26.99	213.1 $\pm$ 59.53	41.69 $\pm$ 14.93	0.0004**
K (mg kg^{-1})	269.16 $\pm$ 181.92	263.81 $\pm$ 69.14	176.44 $\pm$ 62.66	0.348
Ca ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)	10.12 $\pm$ 2.61	8.99 $\pm$ 2.71	10.41 $\pm$ 2.23	0.725
Mg ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)	1.89 $\pm$ 0.64	2.01 $\pm$ 0.76	2.51 $\pm$ 0.93	0.52
Mn (mg kg^{-1})	15.042 $\pm$ 14.05	19.58 $\pm$ 10.14	28.41 $\pm$ 15.65	0.243
Fe (mg kg^{-1})	30.8 $\pm$ 6.58	44.18 $\pm$ 11.54	51.29 $\pm$ 12.62	0.039*
Cu (mg kg^{-1})	0.38 $\pm$ 0.2	0.16 $\pm$ 0.1	0.5 $\pm$ 0.19	0.029*
Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	1.19 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 0.88	1.08 $\pm$ 0.64	0.971

*= diferencias estadísticas significativas; **= diferencias estadísticas altamente significativas.

La densidad aparente y conductividad eléctrica fueron similares entre los suelos. El promedio de la densidad aparente es de 0.96 g cm^{-3} , similares a las densidades aparentes de suelos orgánicos y volcánicos (SEMARNAT, 2000). Estos valores menores a 1 g cm^{-3} encontrados en los suelos cafetaleros son similares a valores encontrados en suelos (Acevedo *et al.* , 2010; Vázquez *et al.* , 2015; Gema *et al.* , 2022).

De igual manera, la conductividad eléctrica se clasifica como despreciable con $167.1 \mu\text{S cm}^{-1}$ (0.167 dS m^{-1}) (SEMARNAT, 2000) y es menor al valor crítico para el cultivo del café de 1.1 dS m^{-1} (Sadeghian y Zapata, 2014). Lo anterior se explica por la abundante precipitación (INEGI, 2006), ya que a medida que estas aumentan, genera una mayor lixiviación de las sales del suelo (Mata *et al.*, 2014).

El pH y la materia orgánica no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tipos de suelos. El pH con un promedio de 5.2 es considerado moderadamente ácido (SEMARNAT, 2000) y se encuentra en el rango óptimo para el cultivo de café que es entre 5 y 5.5 (Sadeghian, 2016).

Los suelos tropicales son naturalmente ácidos (Rodríguez *et al.*, 2020); sin embargo, un proceso de mayor acidificación puede ocurrir a medida que se transite hacia una agricultura intensiva y con ello los problemas de asimilación de nutrientes (Cruz *et al.*, 2020). La MO registró un promedio de 6.05% que de acuerdo con la clasificación de la SEMARNAT (2000) es considerado bajo. Para el cultivo de café se recomienda entre 8 a 16% de MO para una óptima producción (Sadeghian, 2019).

A pesar del flujo constante de residuos vegetales provenientes de la cobertura arbórea, la incorporación de materia orgánica al suelo puede estar condicionada principalmente por la pendiente del terreno y la falta de obras de conservación (Andrade y Rodríguez, 2002). Sin embargo, también se destaca que la MO encontrada en estos cafetales, es mayor a lo reportado en suelos con cultivos intensivos como en maíz con 1.7, 2.58 y 3.45% (López *et al.*, 2019; Martínez *et al.*, 2020), caña de azúcar con 3.93 y 4.28% (Retureta *et al.*, 2020) o en cultivo de mango con 2.83% (Ordaz *et al.*, 2020).

El nitrógeno y el potasio no presentaron diferencias significativas pero el fósforo sí ($p=0.0004$). El promedio de nitrógeno fue de 0.3%, clasificado como intermedio (SEMARNAT, 2000) y es similar a lo encontrado por Rosas *et al.* (2008) en esta misma región (0.33%); ambos resultados se encuentran por debajo de lo recomendado, que es de entre 0.34 y 0.58% de N (Sadeghian, 2019). Cristóbal *et al.* (2019) encontraron en suelos de un bosque mesófilo de montaña 1.4% de N, 0.73% en cafetal tradicional y 0.3% de N en cafetal a puro sol.

El contenido de fósforo disponible registró diferencias significativas y los Cambisoles registraron los valores más altos (213 mg kg^{-1}), en comparación a los Acrisoles (46.03 mg kg^{-1}) y Regosoles (41.7 mg kg^{-1}), aunque desde el punto de vista nutricional, los tres valores son considerados altos (SEMARNAT, 2000). Las diferencias en fósforo están determinadas por el contenido de apatitas y fosfatos que provienen de la roca madre y en menor medida por la fracción biótica (Cerón y Aristizábal, 2012).

Los suelos jóvenes tienen altos contenidos de fósforo (IUSS Working Group WRB, 2015), debido a una constante lixiviación de la roca madre, aunque solamente una fracción reducida o lábil, se encuentra disponible para las plantas (Tapia y García, 2012).

El potasio no presentó diferencias entre tipos de suelos y registró un promedio de $236.47 \text{ mg kg}^{-1}$, considerado como nivel alto (SEMARNAT, 2000), por encima de los valores recomendados para la producción de café, entre 78 a 156 mg kg^{-1} (Sadeghian, 2019). Este nutriente está mayormente relacionado con las arcillas (Rodríguez *et al.*, 2023) y la lixiviación de la roca madre (Borges *et al.*, 2005).

El calcio y el magnesio no presentaron diferencias estadísticas. Sus promedios de concentración fueron de $9.84 \text{ cmol(+) kg}^{-1}$ y de $2.14 \text{ cmol(+) kg}^{-1}$ respectivamente y son clasificados como niveles medios (SEMARNAT, 2000). El calcio es un elemento abundante en los suelos y rara vez es el factor limitante (Rincón *et al.*, 2003).

Para el cultivo de café se recomienda entre 1.5 y $3 \text{ cmol(+) kg}^{-1}$ (Sadeghian, 2019). El magnesio es un nutriente de origen mineral y su presencia se debe a rocas dolomitas, silicatos o arcillas tipo clorita, illita, montmorillonita o vermiculita (Ferreira *et al.*, 2023). La concentración óptima recomendada para la producción de café se encuentra entre 0.6 y $0.9 \text{ cmol(+) kg}^{-1}$ (Sadeghian, 2019). Ambos nutrientes se encuentren por encima de lo recomendado para cultivo de café.

El manganeso y el zinc no presentaron diferencias entre tipos de suelos y sus promedios fueron de 21.01 mg kg^{-1} y $1.19 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ siendo adecuado y deficiente respectivamente (SEMARNAT, 2000). Lo recomendado para el cultivo de café debe ser entre 5 y 10 mg kg^{-1} de Mn y de 1.5 a $3 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ de Zn, siendo adecuado en manganeso y deficiente en zinc (Sadeghian, 2019). Se ha documentado que los suelos arenosos, calcáreos y orgánicos tienen los menores valores de Zinc (Noulas *et al.*, 2018).

El cobre y el hierro presentaron diferencias significativas ($p=0.029$ y 0.039). El cobre en regosoles fue de 0.51 mg kg^{-1} , en Cambisoles de 0.16 mg kg^{-1} y en Acrisoles de 0.38 mg kg^{-1} , acorde a la clasificación de la SEMARNAT (2000), se considera suficiente en Regosoles y deficiente en los otros suelos. Sin embargo, para las necesidades específicas del café, Sadeghian (2019) describe que los suelos deben contener entre 1 y 3 mg kg^{-1} de Cu; por lo tanto, en este aspecto los suelos estudiados son deficientes.

El hierro en Acrisoles registró un promedio de 30.8 mg kg^{-1} , en Cambisoles 44.18 mg kg^{-1} y en regosoles 51.3 mg kg^{-1} , todos considerados niveles adecuados por la SEMARNAT (2000). En suelos cafetaleros se recomienda entre 25 y 50 mg kg^{-1} (Sadeghian, 2019).

Conclusiones

Los suelos de los sistemas agroforestales de café bajo sombra, cultivados tradicionalmente, con manejo e insumos mínimos, no presentan problemas de compactación ni salinidad, la acidez en toda el área de estudio es moderada y se encuentra en el rango tolerable para el cultivo de café, aunque el uso de enmiendas agrícolas para disminuir la acidez es necesario para mejorar la productividad. De igual manera no se encontraron diferencias en contenidos de fósforo, cobre y hierro.

Los macronutrientes primarios y secundarios en el suelo de la región estudiada se encuentran en concentraciones recomendadas para el cultivo de café a excepción del nitrógeno. La materia orgánica, aunque no registró niveles recomendados para este cultivo, se conserva en nivel alto en comparación a cultivos agrícolas intensivos.

Los micronutrientes considerados deficientes (Zn y Cu) se explican por el material parental y no por el manejo del sistema agroforestal. Lo anterior confirma la importancia de los esquemas agroforestales en la conservación de los suelos.

Bibliografía

- 1 Acevedo-Sandoval, O.; Valera-Pérez, M. A y Prieto-García, F. 2010. Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia*. 26(2):137-150. www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0186-29792010000200002.
- 2 Andrade, B. O. C. y Rodríguez, P. O. S. 2002. Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. *Bioagro*. 14(3):123-133. www.redalyc.org/pdf/857/85714301.pdf.
- 3 Bartra, V. A.; Cobo, R. y Paz, P. L. 2011. La hora del café dos siglos muchas voces. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1a Edición. DF: México. 238 p.
- 4 Borges-Gómez, L.; Escamilla-Bencomo, A.; Soria-Fregoso, M. y Casanova-Villarreal, V. 2005. Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamericana*. 23(4):437-445. www.redalyc.org/pdf/573/57311146002.pdf.
- 5 Cerón, R. L. E. y Aristizábal, G. F. A. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 14(1):285-295. www.redalyc.org/articulo.oa?id=77624081026.

- 6 Cristóbal-Acevedo, D.; Tinoco-Rueda, J. A.; Prado-Hernández, J. V. y Hernández-Acosta, E. 2019. Carbono y nitrógeno del suelo en los sistemas bosque mesófilo de montaña, agroforestal y monocultivo de café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 25(2):169-184. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.09.070>.
- 7 Cruz-Macias, W. O.; Rodríguez-Larramendi, L. A.; Salas-Marina, M. A.; Hernández-García, V.; Campos-Saldaña, R. A.; Chávez-Hernández, M. H. y Gordillo-Curiel, A. 2020. Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas. México. *Revista Terra Latinoamericana*. 38(3):475-480. Doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>.
- 8 FAO-ONU. 2015. Food and Agriculture Organization-United Nations. Los suelos y la seguridad alimentaria. Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/706a2db1-277d-4221-b955-e0a9726575b7/content>.
- 9 FAO. 2017. Food and Agriculture Organization. Biodiversidad y suelos. In: United Nations Convention to Combat Desertification (Ed.). *Perspectiva Global de la Tierra*. 1st Edition. (1):190-211.
- 10 Ferreira, L. S.; Oliveira, V. S.; Marchiori, J. J. P.; Ferreira, T. C.; Bernabé, A. C. B.; Boone, G. T. F.; Pereira, L. L. S. and Carrico, E. 2023. The nutrient magnesium in soil and plant. *International Journal of Plant and Soil Science*. 38(8):136-144. Doi: 10.9734/ijpss/2023/v35i82890.
- 11 Gema, M. L.; Vera, V.; Giler, J. y Simbaña, K. 2022. Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso San Pedro de Tarugo, Chone-Ecuador. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales*. 16(1):334-341. Doi: 10.53591/cna.v16i1.1599.
- 12 Guhl, A. 2009. Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. *Revista de Estudios Sociales*. 1(32):114-125. Doi: <https://doi.org/10.7440/res32.2009.08>.
- 13 Hincapie, G. E. y Ramírez, O. A. 2010. Riesgo a la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera. CENICAFÉ. 1(1):1-8. <https://cenicafe.org/es/publications/avt0400.pdf>.
- 14 INEGI. 2005. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie III. Continuo Nacional. Cartas de Uso de Suelo y Vegetación. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007022.
- 15 INEGI. 2006. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Precipitación Media Anual. Escala 1:1000000. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267544.
- 16 INEGI. 2007. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Conjunto de datos vectoriales Temperatura Media Anual. Escala 1:1000000. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267551.
- 17 INEGI. 2015. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Conjunto de datos edafológicos. Escala 1:1000000. Serie I. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267636.
- 18 INEGI. 2017. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Uso de suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie VI. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598459.
- 19 INEGI. 2024. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Conjunto nacional de información topográfica. Escala 1:50 000. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551131961.
- 20 IUSS Working Group WRB. 2015. International union of soils science working group from world reference base for soils resources base referencial mundial del recurso suelo. Food and Agriculture Organization (FAO). 1st Edition. 218 p.

- 21 Levene, H. 1960. Robust tests for equality of variances. In: Olkin, I.; Sudhist, G. G.; Hoeffding, W.; Madow, W. G.; and Mann, H. B. (Eds.). Contributions to probability and statistics: essays in honor of Harold Hotelling. Stanford University Press. 278-292 pp.
- 22 López, B. W.; Reynoso, S. R.; López, M. J.; Villar, S. B.; Camas, G. R. y García, S. J. O. 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10(4):897-910. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>.
- 23 Martínez, A. F. B.; Guevara H. F.; Aguilar J. C. E.; Rodríguez, L. L. A.; Reyes S. M. B. y O-Arias, M. A. 2020. Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. Revista Terra Latinoamericana. 38(4):871-881. Doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>.
- 24 Mata, F. I.; Rodríguez G. M.; López B. J. y Vela C. G. 2014. Dinámica de la salinidad en los suelos. Revista Digital E-Bios. 1(5):26-35. <http://cbs1.xoc.uam.mx/e-bios/docs/2014/05-salinidad-en-suelos-espanol.pdf>.
- 25 Mendoza. L. G.; Vera, V.; Giler, J. M. y Simbaña, K. 2022. Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone-Ecuador. Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales. 16(1):334-341. Doi: <https://doi.org/10.53591/cna.v16i1.1599>.
- 26 Ndukwe, O. O.; Uko, I.; Onunwa, A. O. and Imo, C. M. 2023. Application of soil in crop production. In: Nnabude, P. C.; Onunwa, A. O.; Okpata, P. N. and Uko, I. (Eds.). Soil: the indispensable link. 1st Edition. Cadventures Press. Anambra State, Nigeria. 61-68 pp.
- 27 Noulas, C.; Tziouvalekas, M. and Karyotis, T. 2018. Zinc in soils, water and food crops. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 49(1):252-260. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>.
- 28 Ordaz G. J.; Rodríguez, M. M. N.; García, C. J. L. y Pimentel, E. J. L. 2020. Estrategias de manejo en huertas de mango y su efecto en la calidad del suelo y productividad en Los Cajones, Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 11(5):1057-1068. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2127>.
- 29 Retureta, A. A.; Hernández, A. E.; Salazar, G. A. L.; Tinoco, A. C. A.; Vázquez, L. D. y Carmona, D. G. 2020. Fertilidad y producción de caña de azúcar en Hueyepan de Ocampo, Veracruz, México. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan. 8(1):56-65. Doi: <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v8i1.9>.
- 30 Rincón, J. J.; Gallardo, Y.; Leal, M. y Rojas, Y. 2003. Efecto de la relación calcio: fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de *Acacia mangium* (Willd). Bioagro. 15(2):97-115. [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev15\(2\)/4.%20Efecto%20de%20la%20relaci%C3%B3n.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev15(2)/4.%20Efecto%20de%20la%20relaci%C3%B3n.pdf).
- 31 Rodríguez, B. P. C.; Pando, M. M.; González, R. H.; Molina, T. C. A.; Marmolejo, M. J. G. y Lazcano, C. J. 2023. Dinámica de nutrientes en suelos del matorral espinoso tamaulipeco. Revista Ciencia UANL. 22(97):27-37. Doi: <https://doi.org/10.29105/cienciauanl22.97-1>.
- 32 Rodríguez, S. L.; Falcón, A. M. C. y Ordoñez S. Y. C. 2020. Caracterización de residuos sólidos para encalar y fertilizar portadores de calcio y nitrógeno. Revista cultivos tropicales. 41(2):1-12. www.redalyc.org/journal/1932/193264539002/193264539002.pdf.
- 33 Rosas, A. J.; Escamilla, P. E. y Ruiz, R. O. 2008. Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. Terra Latinoamericana. 26(4):375-384. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/es/article/view/1333>.
- 34 Sadeghian, K. S. 2016. La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. Avances técnicos No. 466. 12 p. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/704/1/avt0466.pdf>.

- 35 Sadeghian, K. S. 2019. Interpretación de los resultados de análisis de suelo, soporte para una adecuada nutrición de cafetales. CENICAFÉ. Manizales, Caldas, Colombia. Avances técnicos No. 497. 8 p. <https://pdfs.semanticscholar.org/a6d3/52dbb41419483a69b3be6016fa1c85235037.pdf>.
- 36 Sadeghian, K. S. y Zapata, H. R. D. 2014. Crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) durante la etapa de almácigo en respuesta a la salinidad generada por fertilizantes. Revista de Ciencias Agrícolas. 31(2):40-50. Doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.143102.30>.
- 37 SEMARNAT. 2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-021-RECNAT-2000. Diario oficial de la federación. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280.pdf>.
- 38 Tapia, T. Y. y García O. F. 2012. La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: una revisión crítica. Terra Latinoamericana. 31(3):231-242. www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0187-57792013000400231#B58.
- 39 Vázquez, C. O. G.; Zamora, C. E. M.; García, G. E. y Ramírez, F. J. A. 2015. Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. Madera y Bosques. 21(1):129-138. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n1/v21n1a10.pdf>.
- 40 Venegas, S. A.; Soto, P. L.; Balente, H. O. y Álvarez, G. G. 2020. Transformaciones de la caficultura en Chiapas: un análisis de las crisis desde la perspectiva del ciclo de renovación adaptativa. Sociedad y Ambiente. 23(1):1-31. Doi: 10.31840/sya.vi23.2188.
- 41 Verdugo-Morales, E. G.; Yáñez-Díaz, M. I.; Alanís-Rodríguez, E.; González-Rodríguez, H.; Garza-Ocañas, F. y Rodríguez-Larramendi, L. 2025. Riqueza de especies, estructura horizontal y diversidad arbórea en un gradiente altitudinal en cafetales de Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 16(88):148-173. Doi: 10.29298/rmcf.v16i88.1506.
- 42 Villarreyna, R.; Jaques, A. y Cerda, R. 2020. Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. Agronomía Mesoamericana. 31(2):499-515. Doi: 10.15517/am.v31i2.37591.
- 43 West, R. M. 2022. Best practice in statistics: the use of log transformation. Annals of clinical biochemistry: International Journal of Laboratory Medicine. 59(3):162-165. Doi: 10.1177/00045632211050531.
- 44 Woerner, M. 1989. Método químico para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Primera edición. Departamento Agroforestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 105 p.



Propiedades fisicoquímicas de suelos cafetaleros en esquemas agroforestales en Chiapas

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9230
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2026
Date accepted: 01 July 2026
Publication date: 01 August 2026
Electronic Location Identifier: e4170
DOI: 10.29312/remexca.v17i5.4170

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

agroforestería
cafecultura
suelos

Counts

Figures: 1
Tables: 2
Equations: 0
References: 44