

Evaluación de la Calidad de Suelo en Municipios Pertenecientes a la Depresión Central de Chiapas, México Evaluation of Soil Quality in Municipalities Belonging to the Central Depression of Chiapas, Mexico

Griseida Cruz-Roblero^{1†}, Silvia Guadalupe Ramos-Hernández¹ y
David Jesús Palma-López³

¹ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento Norte Poniente 1150, Colonia Lajas Maciel. 29039 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: (G.C.R.), (S.G.R.H.).

² Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km. 3.5, Periférico Carlos A. Molina. 86500 Cárdenas, Tabasco, México; (D.J.P.L.).

[†] Autora para correspondencia: griseida.cruz@e.unicach.mx

RESUMEN

El estado de Chiapas presenta procesos de degradación de diferente índole, como consecuencia del actual modelo agrícola establecido. Se estima que, en el futuro cercano, la superficie del estado de Chiapas presente más de 55% de degradación, generando modificaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; afectando la calidad de vida de los seres humanos, principalmente por escasez de alimentos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de los suelos en tres municipios de la depresión central de Chiapas, México. Los análisis se interpretaron tomando como referencia la NOM-021-SEMARNAT-2000 y se clasificaron de acuerdo con la world reference base (WRB), versión 2014, para la evaluación de calidad del suelo se utilizó el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS). Se analizaron 144 muestras de suelo correspondientes a 21 perfiles. De los 21 perfiles estudiados, 17 presentan calidad de suelo pobre, dos calidades sensibles, uno calidad aceptable y uno con calidad buena. Solo dos Grupos de suelo presentaron buena fertilidad y son clasificados como Vertisols y Phaeozems, los cuales presentan buena calidad y capacidad para mantener producción agrícola sostenible en esta región.

Palabras clave: degradación, ecosistema, sustentabilidad.

SUMMARY

The state of Chiapas presents degradation processes of different kinds, as a consequence of the current established agricultural model. It is estimated that, in the near future, the surface of the state of Chiapas will present more than 55% degradation, generating changes in the physical, chemical and biological properties of the soil, affecting the quality of life of human beings, mainly due to scarcity of food. The objective of this research was to evaluate the quality of the soils in three municipalities of the central depression of Chiapas, Mexico. The analysis were interpreted taking NOM-021-SEMARNAT-2000 as a reference and were classified according to the world reference base (WRB), version 2014. For the evaluation of soil quality, the sustainable use of land subindex (SUSS). 144 soil samples corresponding to 21 profiles were analyzed. Of the 21 profiles studied, 17 present poor soil qualities, two a sensitive quality, one acceptable quality and one with good quality. Only two soil groups presented good fertility and are classified as Vertisols and Phaeozems, which present good quality and capacity to maintain sustainable agricultural production in this region.

Index words: degradation, ecosystem, sustainability.



Cita recomendada:

Cruz-Roblero, G., Ramos-Hernández, S. G., & Palma-López, D. J. (2024). Evaluación de la Calidad de Suelo en Municipios Pertenecientes a la Depresión Central de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-18. e1730. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1730>

Recibido: 15 de mayo de 2023.
Aceptado: 24 de octubre de 2023.
Artículo. Volumen 42.
Febrero de 2024.

Editor de Sección:
Dr. Fabián Fernández Luqueño

Editor Técnico:
Dr. Marco Antonio Camacho Escobar



Copyright: © 2024 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUCCIÓN

Ante la problemática socioambiental que enfrenta el estado de Chiapas, causada por el actual modelo agrícola cuyo fin ha sido la producción intensiva, resultando en recursos muy afectados, ante esta perspectiva es posible que Chiapas presente en el futuro inmediato 55% de degradación de suelos (Morales-Iglesias, Priego, Bollo y Ríos, 2019; Costa, Gómez y Alcázar, 2022; Sáenz-Leguizamón, Guevara, González y La O-Arias, 2023).

Esta degradación se ha suscitado por diversos factores, como el uso intensivo de técnicas agrícolas con la alta dependencia de pesticidas (Hernández *et al.*, 2016). De acuerdo a Albert (2004¹), el estado de Chiapas es una de las regiones de México con mayor uso de pesticidas, ocupando el segundo lugar a nivel nacional. Esta problemática, ha inducido a altas concentraciones por metales pesados, favoreciendo los procesos de degradación del suelo y causando daños irreversibles a la salud humana (Velázquez-Chávez *et al.*, 2022). Por otro lado, la deforestación, el cambio de uso de suelo y la erosión han generado alteraciones en los contenidos de materia orgánica y la fertilidad de los suelos (Olivares-Campos, López y Lobo, 2019).

El estado de Chiapas presenta procesos de degradación física de los suelos, puntualmente por erosión hídrica. En estudios realizados por Torres-Benites, Cortes, Uresti, Torres y Rivera (2020), para la cuenca del Cañón del Sumidero, localizado en la depresión central de Chiapas, se estimó que la erosión anual es de 41.5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y aporta 0.04% de la erosión global de la Tierra. La pérdida de suelo por erosión es uno de los principales procesos que afectan a la calidad y productividad de los suelos, al redistribuir y modificar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Šarapatka, Alvarado y Čížmár, 2019; Salcedo-Mayta *et al.*, 2022). Estas propiedades expresan los nutrientes de los suelos, así como su estructura, composición mineral y biota; en este tenor Wang, Pan y Luo (2019), indican que los nutrientes del suelo son elementos indispensables para conocer la calidad de los suelos cultivados.

La calidad del suelo es la facultad que presenta un tipo de suelo para sostener y realizar diversas funciones intrínsecas y extrínsecas dentro de los límites de un ecosistema, está abarca la fertilidad, productividad y la conservación del agua, el aire y la salud humana (Bhaduri, Purakayastha, Patra y Chakraborty, 2014; Morel y Ortíz, 2021). En los últimos 19 años el término calidad del suelo ha estado en constante cambio y en estrecha relación a la salud del suelo. Este último concepto es multidimensional; se enfoca en las funciones e instrumentos de análisis, la salud humana y la biota, puesto que los suelos al estar contaminados, pueden dañar considerablemente la salud física y mental de los seres humanos y animales (Lehmann, Bossio, Kögel y Rillig, 2020; Constantini y Mocali, 2022).

La relación salud-calidad del suelo son variables integrales que pueden afectar el sistema agrícola. La salud del suelo es la facultad del recurso para proporcionar servicios ecosistémicos, mientras la calidad es la capacidad de los mismos para mantener la producción de alimentos (Silva, Rodríguez, Baptista y Coelho, 2023).

Por consiguiente, la conservación de la calidad de los suelos y el uso de indicadores han adquirido relevancia para evaluar las funciones de los ecosistemas (Vasu *et al.*, 2021). Esta evaluación permite la gestión adecuada del medio edáfico y de la sociedad (Bünemann *et al.*, 2018) y requiere del uso de indicadores que identifique las limitaciones, manejo y el estado de las propiedades activas del suelo (Bautista-Cruz, Etchevers, del Castillo y Gutiérrez, 2004).

Los indicadores son esenciales para evaluar la calidad de los suelos y pueden ser físicos, químicos y biológicos. Tienen la finalidad de estimar y conocer la productividad y actividad bioquímica del suelo (Cabrera-Dávila, Sánchez y Ponce de León, 2022; Inocencio-Vasquez y Florida-Rofner, 2022).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad del suelo, en función de sus propiedades físicas y químicas, utilizando el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS), haciendo énfasis en sus elementos intrínsecos/extrínsecos, uso y clasificación, bajo la hipótesis de que se puede conocer la capacidad de los suelos destinados a la producción; mediante el uso de modelos de análisis, para obtener información de perfiles de suelos de los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo y Acala, pertenecientes a la región depresión central del estado de Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue realizado en los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo y Acala, pertenecientes a la región fisiográfica depresión central de Chiapas (DCCh), en las coordenadas extremas 16° 50' 0" N y 92° 40' 0" O, con superficie de 862.72 km² (Figura 1).

¹ Albert, L. A. (2004). Panorama de los Plaguicidas en México. En 7º Congreso de Actualización en Toxicología Clínica (pp. 17-17). Tepic, Nayarit, México: Servicios de Salud de Nayarit y Comisión Federal contra Riesgos Sanitarios.

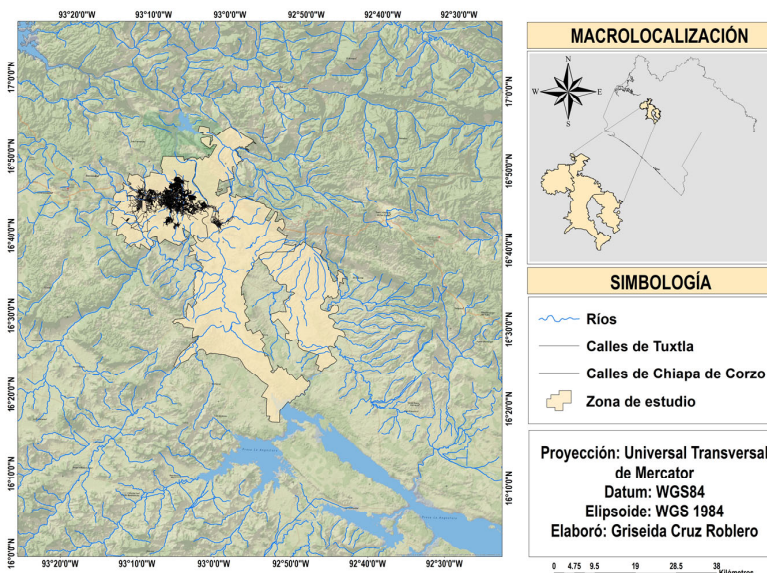


Figura 1. Área de estudio. Elaboración propia con datos de INEGI (2008).
Figure 1. Study área. Own elaboration with data from INEGI (2008).

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación que varía entre los 60 mm y 1500 mm (Trujillo-Samayoa, Rangel y Castañeda, 2015). El relieve está conformado por paisajes montañosos de génesis tectónico-Kárstico, tectónico-acumulativo y valles tectónicos fluviales (Morales-Iglesias, Priego y Bollo, 2017). El tipo de roca parental está constituido por material sedimentario, predominando las rocas de tipo caliza, arenisca y conglomerado. Los suelos más representativos son Leptosols, Regosols, Phaeozems, Vertisols y Fluvisols (Ramos-Hernández, 2013).

El uso de suelo es de zona urbana y agrícola con vegetación de selva baja y mediana subperennifolia (Ramos-Hernández, 2013).

Muestreo y Análisis de Suelos

Para el registro de la información, se realizaron 21 perfiles de suelos, se tomó una muestra de suelo/horizonte por cada perfil (el número de muestras para cada perfil dependió de la cantidad de horizontes encontrados en cada unidad y grupo de suelos de referencia). En consecuencia, las profundidades de muestreo variaron de acuerdo al tipo de suelo y ubicación geográfica, según la FAO (2009), la caracterización de los horizontes para propósitos de clasificación se realiza a una profundidad de 125 cm o más.

Las determinaciones analíticas cuantitativas y cualitativas de las propiedades físicas y químicas para la clasificación de los grupos de suelos de referencias, se basaron de acuerdo a las establecidas por la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Preparación de las Muestras

Se realizó, según el método AS-01, la preparación de la muestra implica el traslado, recepción, registro, secado, molienda, tamizado, homogeneizado y almacenamiento para su conservación y exactitud.

Propiedades Físicas

El color, se determinó, según el método AS-22, utilizando la carta Munsell de colores de suelos Munsell (Munsell Color, 1994). La textura, se evaluó, según el método AS-09 por el procedimiento de Bouyoucos. La densidad aparente, se evaluó a través del método de la probeta que establece la NMX-Ff-109-SCFI-2008 (NMX-Ff-109-SCFI-2008, 2008) mediante la fórmula:

$$\rho_b = \frac{\text{Peso total}}{\text{Volumen medido}} \quad (1)$$

Donde: ρ_b = Densidad aparente (g cm^{-3}); V_m = Volumen medido de suelo (cm^3). La densidad real, se evaluó por el método del picnómetro a través del método AS-04.

Propiedades Químicas

La materia orgánica (MO), se evaluó, según el método AS-07 de Walkley y Black. Las bases intercambiables, incluyó la suma de Ca^+ , Mg^{2+} y K^+ y Na^+ y se expresó en cmol (+) kg^{-1} de suelo, de acuerdo con lo propuesto por Tiecher *et al.* (2023). La determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases cambiabiles del suelo se realizó a través del método AS-12, con acetato de amonio. El pH del suelo medido en agua se evaluó a través del método AS-02. La determinación de la reacción del suelo, pH, en suelos ácidos, se realizó a través del método AS-24, medido con potenciómetro. Mientras la porosidad total, se calculó, tomando como referencia la formula señalada por Fu, Tian, Amoozegar y Heitman (2019):

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad (2)$$

Donde: φ = Porosidad total %; ρ_b = densidad aparente expresada en g cm^{-3} ; ρ_s = densidad real expresada en g cm^{-3} . El carbono orgánico del suelo o total (%), se calculó con la fórmula reportada por Vela-Correa, López y Rodríguez (2012):

$$\% \text{CO} = \% \text{MO} * (0.58) \quad (3)$$

Donde: % CO = carbono orgánico total (%); MO = materia orgánica (%).

Clasificación de Suelos

Las muestras de suelo se clasificaron y ordenaron por grupo de suelo de referencia mediante la aplicación del sistema referencial mundial de suelos, por sus siglas en inglés (WRB, 2015) y su nomenclatura base, para la asignación de grupo de suelo de referencia, calificadores primarios y suplementarios, en función de los procesos, propiedades físicas, químicas y morfológicas de los suelos estudiados.

Indicadores de Suelos

Los indicadores y parámetros edáficos fueron seleccionados de acuerdo con la Norma NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Análisis de la Calidad del Suelo

Este método se basa en la cuantificación de la sustentabilidad del suelo a partir de la metodología del subíndice de uso sustentable del suelo (SAGARPA, 2012). La metodología utilizada forma parte de la línea base del programa de sustentabilidad de los recursos naturales de la SAGARPA, siendo una técnica metodológica capaz de responder al grado en el que se presentan las condiciones del suelo. Estas se evalúan con base en los parámetros físicos y químicos que ejercen influencia en el suelo para mantener sus óptimas condiciones. Los resultados se normalizan en valores de cero y uno, donde uno representa el mejor estado de calidad y cero el peor.

Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS)

El subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS), es la ecuación para la cuantificación de la sustentabilidad del suelo a partir de rangos máximos y mínimos de cada parámetro o indicador analizado.

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (4)$$

Donde: P = Es el promedio del valor de los parámetros normalizados; i = Es cada indicador o parámetro analizado; n = Es el número total de parámetros analizados.

Promedio del Valor de los Parámetros Normalizados

La media de los parámetros normalizados indica la suma de las muestras analizadas por cada parámetro o indicador analizado.

$$p = \frac{\sum_{j=1}^m Rn_j}{m} \quad (5)$$

Donde: Rn = Es el valor resultante del parámetro normalizado; m = Es el número de muestras de suelo analizadas; j = Es cada muestra de suelo.

La ecuación de cálculo de la normalización de los indicadores: La normalización indica la transformación de las variables analizadas en un rango de 0 y 1.

$$Rn_j = 1 - \left(\frac{vr_j - d_j}{c_j - d_j} \right) \quad (6)$$

Donde: Rn = Es el resultado normalizado; Vr = Es el valor del parámetro fisicoquímico; d = Es el valor deseable en el indicador; c = Es el valor de corte en el indicador; j = Es cada muestra de suelo.

En el Cuadro 1 se presentan los rangos interpretativos del SUSS, para calidad bueno, aceptable, sensible, marginal y pobre.

En el Cuadro 2 se exponen los parámetros edáficos seleccionados para evaluar el estado actual de los suelos estudiados en la depresión central de Chiapas (SEMARNAT, 2002; SEMARNAT, 2012).

Normalización de Indicadores

El proceso de normalización de datos consistió en reemplazar los factores en una escala nominal de valores [0, 1], según Mar-Cornelio, Santana y Gulín (2019). El análisis de los datos se generó a partir del cociente de la sustracción, obtenido del promedio de los parámetros físico-químicos y el valor deseable en el indicador o parámetro sobre la sustracción del valor de corte y el valor deseable en el indicador o parámetro, con el objetivo de armonizar los componentes que presenten similitudes a una forma en particular (Luna-González, Guío, Becerra y Serrano, 2016).

Cuadro 1. Rangos interpretativos del SUSS.

Table 1. SUSS interpretive ranges.

Calidad del suelo	Descripción
Bueno ($0.95 < SUSS \leq 1.0$)	Las Condiciones de calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola.
Aceptable ($0.80 < SUSS \leq 0.95$)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible ($0.65 < SUSS \leq 0.78$)	Los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.
Marginal ($0.45 < SUSS \leq 0.65$)	Los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables.
Pobre ($0 < SUSS \leq 0.45$)	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

(SAGARPA, 2012).

(SAGARPA, 2012).

Cuadro 2. Parámetros edáficos.
Table 2. Soil parameters.

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor deseable	Valor de corte (C)
Materia orgánica	%	MO > 5	0.5
pH	pH	pH < 7	5 < Ph
K	cmol (+) kg ⁻¹ suelo	K > 0.6	0
Ca	cmol (+) kg ⁻¹ suelo	Ca > 5	0
Mg	cmol (+) kg ⁻¹ suelo	Mg > 0.3	0
Na	cmol (+) kg ⁻¹ suelo	Na < 1	1.5
CIC	cmol (+) kg ⁻¹ suelo	CIC > 15	5

(SEMARNAT, 2012; SEMARNAT, 2002).
 (SEMARNAT, 2012; SEMARNAT, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Grupos de Suelos Descritos en la Depresión Central de Chiapas

En el Cuadro 4 se representan las características morfológicas de cada perfil de suelo, esto es, la descripción sistemática del tamaño, forma, interacción entre sus elementos y cualidades, tales como elevación, pendiente, uso de suelo y vegetación, material parental y drenaje del perfil.

Subíndice de Uso Sustentable del Suelo y Grupos de Suelos de Referencia

Regosols

Conforme a la descripción y análisis físico-químico de las muestras de cada perfil, Se puede observar en el Cuadro 3, los suelos Regosols, presentan contenidos de MO de 0.01 a 0.12, es decir son suelos con muy bajos contenidos de MO y bajos contenidos de potasio, dado a la naturaleza volcánica del material originario, estos resultados concuerdan con lo reportado por Vivanco *et al.* (2010), quienes señalan que los Regosols asociados a material volcánico tienen una fuerte tendencia al lavado de bases, influenciado principalmente por sus características y por el relieve en el que se distribuyen.

Fuentes y Bocco (2003), mencionan que la distribución de Regosols está relacionada con la composición de cenizas volcánicas; esto coincide con lo reportado por Alatorre-Ibargüengoitia, Morales, Ramos, Jon y Jiménez (2016), quienes mencionan que el Volcán Chichón, aún activo, ubicado en el arco volcánico Chiapaneco ha tenido al menos 12 erupciones en los últimos 8000 años en el territorio Chiapaneco, que ha dado lugar a complejos petromórficos, compuestos por rocas ígneas extrusivas y sedimentarias (Hernández *et al.*, 2009).

La materia orgánica influye significativamente en la fertilidad de los suelos, mejora su estructura y permite la adsorción e intercambio de cationes, no obstante, trabajos realizados por Cruz-Macías *et al.* (2020), señalan que los suelos de la región Frailesca de Chiapas presentan bajo contenido de materia orgánica y acidificación de los suelos. En el Cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo para Regols.

Eutric Colluvic Regosols (Arenic)

Suelo con elevada tasa de infiltración, baja capacidad de retención de agua, drenaje rápido de perfil y de muy baja CIC, lo que favorece la lixiviación de la suma de Ca⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (cmol (+) kg⁻¹ de suelo). Por ende, un suelo con muy baja CIC y contenido de MO es indicador de baja fertilidad (Castro-Franco, 1997).

Presenta pH de 5.5, esta condición fuertemente ácida se explica por la práctica de una agricultura a base de cultivos esquilmanes y la aplicación de insumos inadecuados al suelo que produce acidez. Sin embargo, el tipo de vegetación y uso de suelo de la zona favorece el crecimiento de pastos, puesto que pueden crecer en suelos ácidos y con pocos requerimientos de fertilización (Méndez-Pérez, Botero y Moreno, 2011).

Los calificadores primarios y suplementarios hacen referencia al material duro que comienza a > 25 cm de la superficie del suelo con presencia de material coluvico y de clase textural areno francosa.

Cuadro 3. Grupos de suelos clasificados en la Depresión Central de Chiapas.
Table 3. Soil groups classified in the Central Depression of Chiapas.

Grupo de Suelo de Referencia	Número de Horizontes	Prof.	DA	DR	pH	MOS	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	CIC	CT	SUSS	C
		cm	g cm ⁻³		H ₂ O	%	-	cmol (+) kg ⁻¹ de suelo seco		-	-			
Eutric Colluvic Regosols (Arenic)	5	120	1.35	2.62	5.93	0.02	0.09	0.41	0.1	0.57	0.27	FA	0.26	P
Leptic Skeletic Eutric Regosols (Humic)	6	110	1.09	2.58	5.93	0.03	0.06	0.31	0.06	0.41	0.22	FYA	0.19	P
Eutric Endoleptic Regosols	8	107	0.91	2.10	6.5	0.12	0	0.14	0.17	0	0.05	Y	0.1	P
Dystric Epileptic Regosols	6	44	1.27	2.55	6.1	0.01	0	0.17	0.31	0	0.06	YA	0.12	P
Haplic Cambic Phaeozems (Andic, Loamic)	6	130	1.09	2.43	8	0.08	0.08	0.31	0.07	0.4	0.22	Y	0.19	P
Chromic Pellic Vertisols (Gilgaic, Hypereutric, Mesotropic)	7	113.5	1.18	2.64	6.5	0.03	0.07	0.31	0.11	0.4	0.23	FYA	0.17	P
Calcic Vertisols (Mollic)	4	60	0.90	2.00	6.1	0.12	0	0.8	0.97	0	0	Y	0.31	P
Calcic Vertisols (Humic, Mollic)	5	70	1.16	2.47	6.3	0.11	0	4.8	1.64	0	0.27	Y	1	B
Eutric Rendzic Leptosols (Protocalcic)	4	150	1.14	2.46	7.2	0.02	0.07	0.28	0.06	0.4	0.21	A	0.15	P
Dystric Lithic Leptosols (Colluvic)	3	60	1.15	2.49	8.2	0.02	0	0.04	0.34	0	0.02	Y	0.14	P
Dystric Lithic Leptosols (Protovertic)	5	150	1.07	2.38	8.1	0.04	0	1.82	1.11	0	0.06	Y	0.44	P
Dystric Leptosols (Protovertic)	2	25	1.08	2.36	6.9	0.04	0	0.51	0.15	0	0.34	YA	0.16	P
Dystric Hyperskeletal Leptosols	4	70	1.12	2.42	8.3	0.09	0	0.45	1.02	0	0	Y	0.25	P
Eutric Mollic Leptosols (Protovertic, Humic)	5	67	1.10	2.41	7.7	0.1	0	2.04	1.97	0	0.04	FYL	0.6	S
Eutric Leptosols (Humic)	3	32	1.10	2.41	8	0.54	0	2.84	1.02	0	0.07	Y	0.92	A
Eutric Leptosols (Protovertic)	4	32	1.08	2.36	6.7	0.14	0	2.84	1.57	0	0.05	FYA	0.67	S
Eutric Leptosols (Andic)	7	125	1.12	2.43	8	0.04	0	0.6	0.63	0	0	Y	0.21	P
Dystric Fluvisols (Arenic)	7	140	1.11	2.42	7.1	0	0	0.09	0.66	0	0.02	FYA	0.22	P
Dystric Fluvisols (Arenic)	8	150	1.39	2.43	7.9	0	0	0.4	0.41	0	0.05	FA	0.12	P
Dystric Fluvisols (Loamic)	7	180	1.09	2.39	5.6	0.03	0	0.69	0.59	0	0.01	AF	0.21	P
Dystric Fluvisols	8	180	1.13	2.40	7.9	0.02	0	0.99	1.34	0	0.04	FA	0.36	P

DA = densidad aparente; DR = densidad real; pH = potencial de hidrógeno; MOS = materia orgánica del suelo; K⁺ = potasio; Ca⁺ = calcio; Mg²⁺ = magnesio; Na⁺ = sodio; CIC = capacidad de intercambio catiónico; SUSS = subíndice de uso sustentable del suelo; C = calidad; FA = franco arenoso; FYA = franco arcillo arenoso; Y = arcilla; YA = arcillo arenoso; Y = arcilla; FYL = franco arcillo limoso; AF = arena francoso; CT = clase textural.

DA = apparent density; DR = Real density; pH = hydrogen potential; MOS = soil organic matter; K⁺ = potassium; Ca⁺ = calcium; Mg²⁺ = magnesium; Na⁺ = sodium; CIC = cation exchange capacity ; SUSS = sustainable land use subindex ; C = quality; FA = sandy loam ; FYA = sandy clay loam ; Y = clay ; YA = sandy clay ; FYL = silty clay loam ; AF = loamy sand ; CT = textural class.

Cuadro 4. Caracterización morfológica.
Table 4. Morphological characterization.

Grupo de Suelo de Referencia	Elevación	Pendiente	Uso de suelo y vegetación	Material parental	Drenaje del perfil
	m de altitud	%			
Eutric Colluvic Regosols (Arenic)	560	12	Uso agropecuario y pastos	Depósitos andesíticos	Moderado a rápido
Leptic Skeletic Eutric Regosols (Humic)	505	10	Arbustos, selva baja subcaducifolia	Depósitos andesíticos	Rápido
Eutric Endoleptic Regosols	1243	10	Agrícola	Clastos de naturaleza silícea	Rápido
Dystric Epileptic Regosols	531	3	Pecuario	Sedimentos fluviales	Rápido
Haplic Cambic Phaeozems (Andic, Loamic)	470	10	Acahual	Depósitos andesíticos	Rápido
Chromic Pellic Vertisols (Gilgaic, Hypereutric, Mesotrophic)	854	8	Agrícola	Caliza	Moderado
Calcic Vertisols (Mollic)	1218	10	Agrícola	Caliza	Moderado
Calcic Vertisols (Humic, Mollic)	542	0	Agrícola	Caliza	Moderado
Eutric Rendzic Leptosols (Protocalcic)	453	10	Agrícola	Caliza	Moderado
Dystric Lithic Leptosols (Colluvic)	434	10	Agrícola	Areniscas	Moderado
Dystric Lithic Leptosols (Protovertic)	410	6	Agrícola	Limolita	Moderado
Dystric Leptosols (Protovertic)	456	10	Agrícola	Limolita	Moderado
Dystric Hyperskeletal Leptosols	455	10	Agrícola	Arenisca	Rápido
Eutric Mollic Leptosols (Protovertic, Humic)	406	5	Agrícola	Caliza	Moderado
Eutric Leptosols (Humic)	442	35	Agrícola	Caliza	Rápido
Eutric Leptosols (Protovertic)	453	10	Pecuario	Limolita	Moderado
Eutric Leptosols (Andic)	395	15	Agrícola	Ígneas	Rápido
Dystric Fluvisols (Arenic)	389	5	Agrícola	Sedimentos fluviales	Rápido
Dystric Fluvisols (Arenic)	395	5	Agrícola	Sedimentos fluviales	Rápido
Dystric Fluvisols (Loamic)	395	5	Agrícola	Sedimentos fluviales	Moderado
Dystric Fluvisols	390	8	Agrícola	Sedimentos fluviales	Moderado

Leptic Skeletic Eutric Regosols (Humic)

Suelo con drenaje rápido, permeable y con intrusiones de rocas volcánicas, presenta buen contenido de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo) particularmente de calcio, puesto que, es un elemento importante en el almacenamiento de humus en el suelo (Vivanco *et al.*, 2010). En estudios realizados por Pérez, Meza y Fernández (2010), reportan que el calcio en los suelos mejora las propiedades mecánicas del suelo.

La vegetación predominante es de selva baja subcaducifolia, presenta moderado contenido de MO, no obstante, decrece con la profundidad por el lavado de nutrientes y el uso de prácticas agrícolas inadecuadas. En este tenor los calificadores expuestos refieren a roca continua o material duro que comienza a <100 cm de la superficie del suelo, y > del 1% de carbono orgánico del suelo.

Cuadro 5: Calidad del suelo Regosols.**Table 5: Soil quality Regosols.**

Perfil	Calidad	Condiciones indeseables	Descripción	Condiciones ideales
Eutric Colluvic Regosols (Arenic)	Pobre	<contenido de CIC, MO pH ácido	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.	> contenido de CIC, MO. Encalado de suelos
Leptic Skeletic Eutric Regosols (Humic)	Pobre	<contenido de MO pH ácido		> contenido de MO, Encalado de suelos
Eutric Endoleptic Regosols	Pobre	<contenido de MO		>contenido de MO
Dystric Epileptic Regosols	Pobre	<contenido de Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na		>contenido de Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na

CIC = capacidad de intercambio catiónico; MO = materia orgánica; pH = potencial de hidrógeno; Ca⁺ = calcio; Mg²⁺ = magnesio; K⁺ = potasio; Na = sodio.
 CIC = cation exchange capacity; MO = organic material; pH = hydrogen potential; Ca⁺ = calcium; Mg²⁺ = magnesium K⁺ = potassium; Na = sodium.

Eutric Endoleptic Regosols

Suelo con drenaje rápido, material parental sedimentario, pH de 6.3, moderado contenido de materia orgánica, altos contenidos de CIC y de la suma de Ca⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (cmol (+) kg⁻¹ de suelo) y textura arcillosa. Investigaciones llevadas a cabo por Ramírez-Pisco, Leiva y Restrepo (2021) indican que las bases Ca⁺, Mg²⁺, K⁺ se incrementan al cambiar a uso agrícola, relacionado con la perturbación humana, situación semejante a los suelos de estudio. Los calificadores indican la presencia de roca o material duro entre 50 cm de la superficie (mineral) del suelo.

Dystric Epileptic Regosols

Suelo con drenaje rápido, formado por sedimentos fluviales, pH de 5.6, bajo contenido de la suma de Ca⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (cmol (+) kg⁻¹ de suelo), CIC y materia orgánica. En estudios realizados por Núñez-Ravelo, Ugas, Calderón y Rivas (2021) mencionan disminución de MO a mayor profundidad, los mayores contenidos de MO se encuentran dentro de los primeros 20 cm. La clasificación textural arena francoso. Los calificadores indican presencia de roca continua o material duro técnico que comienza a ≤ 100 cm de la superficie del suelo. Este suelo es susceptible a procesos de erosión hídrica.

Phaeozems

En el Cuadro 3, el suelo Phaeozems, presenta contenidos de MO de 0.08, este suelo presenta muy bajo contenido de MO y moderado contenido de la capacidad de intercambio catiónico, corroborado por el alto contenido de arcilla, los resultados concuerdan con lo reportado por Sadeghian y Zapata (2012), mencionan que alto contenido de arcillas derivados de materiales volcánicos permiten mayor capacidad de intercambio catiónico por consiguiente, la fracción arcilla es buen indicador de la retención de los cationes intercambiables.

En estudios realizados por López-Báez *et al.* (2019) mencionan que se observaron bajos contenidos de MO ≤ 1.5% en suelos Phaeozems, para el municipio de Villaflores, Chiapas; los resultados indican que el estado de Chiapas, presenta bajos niveles de fertilidad. La deficiencia de MO afecta las propiedades del suelo, de entre ellos la retención del agua y la estructura (Bedoya-Justo y Julca, 2021).

En el Cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos del subíndice de uso sustentable del suelo para Phaeozems.

Este suelo presenta calidad pobre, lo que significa amenaza a las funciones del suelo para mantener la productividad. Lo anterior como consecuencia de nivel bajo en CIC, cabe resaltar que la CIC es indicador de la fertilidad de los suelos, entonces suelo deficiente en esta propiedad tendrá bajos rendimientos (Bueno y Fernández, 2019).

Cuadro 6: Calidad del suelo en Phaeozems.**Table 6: Soil quality in Phaeozems.**

Perfil	Calidad	Condiciones indeseables	Descripción	Condiciones ideales
Haplic Cambic Phaeozems (Andic, Loamic)	Pobre	>contenido de CIC, Na ⁺	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.	> contenido de CIC, MO, Ca ⁺ , Mg ²⁺

CIC = capacidad de intercambio catiónico; MO = materia orgánica; Ca⁺ = calcio; Mg²⁺ = magnesio; Na = sodio.

CIC = cation exchange capacity; MO = organic material; pH = hydrogen potential; Ca⁺ = calcium; Mg²⁺ = magnesium; Na = sodium.

Haplic Cambic Phaeozems (Andic, Loamic)

Suelo con drenaje rápido, muy permeable, presenta intrusiones de rocas andesíticas, formados por el intemperismo de rocas a partir de procesos eruptivos; por lo tanto, los suelos que derivan de este material son someros y ricos en materia orgánica, con alta cantidad de CIC y alto porcentaje de la suma de Ca⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (cmol (+) kg⁻¹ de suelo) (Vela-Correa y Flores-Román, 2004). Presenta pH ácido y la vegetación circundante es acahual o vegetación secundaria, con alto potencial productivo gracias a su capacidad de captura y reservorio de carbono (García-Domínguez, Cámara, der Wal, Cornelis y Martínez, 2018). Los acahuals conservan la materia orgánica del suelo debido al aporte de biomasa (Palma-López *et al.*, 2015).

Los calificadores indican que el suelo presenta rasgos típicos y propiedades ándicas, humificadas, de textura franco arcillosa.

Vertisols

En el Cuadro 3, los suelos Vertisols, presentan contenidos de MO de 0.11 y 0.12 con capacidad de intercambio catiónico moderada y altos contenidos de Ca⁺ y Mg²⁺, como producto de la retención y consistencia de las arcillas del suelo (Montoya-Jasso, Ordaz, Benedicto, Ruiz y Arreola, 2021). De acuerdo a (Pérez *et al.* (2023) los altos contenidos de Ca⁺ y Mg²⁺, reducen la toxicidad de Al en suelos ácidos.

Los contenidos de MO para estos suelos son lacónicos, esta disminución se debe al incremento de la DA, lo que confiere al suelo mayor compactación (Álvarez-Arteaga, Ibáñez-Huerta, Orozco y García, 2020); sin embargo, en suelos bajo manejo agrícola mantener un equilibrio en el recurso edáfico permitirá el aprovechamiento de los nutrientes; esto es consistente con lo reportado por Báez-Pérez, Limón, Ramírez, Ortega y Olivares (2020) mencionan que las prácticas de conservación, los residuos de cosecha y la rotación de cultivos, son alternativas que favorecen el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo.

En el Cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos del subíndice de uso sustentable del suelo para Vertisols.

Este grupo de suelos presenta dos rangos de calidad: bueno y pobre. Por lo tanto, buena calidad edáfica favorece la productividad de los ecosistemas, y sanidad vegetal, animal y humana (Cruz-Flores, Guerra, Valderrábano, Campo, 2020). Asimismo, la calidad de suelo pobre es indicador de limitaciones edáficas en las propiedades físicas y químicas, tales como bajo contenido de materia orgánica y compactación de los suelos en épocas de secas, debido a la naturaleza de este tipo de suelos.

Calcic Vertisols (Mollic)

Suelo con drenaje moderado y materia parental caliza, pH de 6, altos contenidos de la suma de Ca⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (cmol (+) kg⁻¹ de suelo), CIC y materia orgánica, de textura arcillosa. Presenta suelos ácidos, no obstante, estudios realizados por Lázaro-Sánchez, Bautista, Goguitchaichvili, López y Sánchez (2021) indican que la alta capacidad de acidificación, es provocada por la quema agrícola y disminuye la fertilidad de los suelos, esto provoca la volatilización y lixiviación de nutrientes. Los calificadores indican un horizonte cálcico que comienza a ≤ 100 cm de la superficie del suelo, de color oscuro.

Cuadro 7. Calidad del suelo en Vertisols.**Tabla 7. Soil quality in Vertisols.**

Perfil	Calidad	Condiciones indeseables	Descripción	Condiciones ideales
Calcic Vertisols (Humic, Mollic)	Bueno	Erosión hídrica, manejo inadecuado del suelo. Compactación del suelo	Las Condiciones de calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola.	Prácticas de conservación y manejo sustentable
Calcic Vertisols (Mollic)	Pobre	< contenido de MO. Compactación del suelo	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.	>contenido de MO
Chromic Pellic Vertisols (Gilgaic, Hypereutric, Mesotrophic)		< contenido de MO. Compactación del suelo		>contenido de MO

MO: materia orgánica.

MO: organic material.

Calcic Vertisols (Humic, Mollic)

Suelo con drenaje moderado, material parental de rocas calizas, pH de 8, altos contenidos de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo) y CIC. Bajo contenido de materia orgánica, clasificación textural arcillosa. Estudios realizados por Cobo-Vidal, Angarica, Martín, Serrano y Villazón (2019) indican que suelo alcalino está asociado a climas tropicales, con altas concentraciones de calcio y magnesio, esto concuerda con los resultados obtenidos a nivel de potencial de hidrogeno.

Los calificadores indican horizonte cálcico que comienza a ≤ 100 cm de la superficie del suelo, con $\geq 1\%$ de carbono orgánico del suelo en la fracción tierra fina como promedio ponderado hasta profundidad de 50 cm de la superficie del suelo mineral.

Chromic Pellic Vertisols (Gilgaic, Hypereutric, Mesotrophic)

Suelo con drenaje moderado y material parental caliza, pH neutro, altos contenidos de calcio y suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo), altos contenidos de CIC. Sin embargo, presenta bajo contenido de materia orgánica; la textura dominante es arcillo arenosa. Los calificadores indican un color Munsell con matiz más rojo que 7.5 YR y croma de > 4 , ambos en húmedo, con brillo de ≤ 3 y croma de ≤ 2 , presencia de microlomas, saturación de bases efectiva (Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). Kovda (2020), menciona que, este tipo de suelos presenta microrrelieve gilgai, y agrietamiento generalmente en depresiones y en topografía nivelada a ondulada, en climas tropicales y subtropicales.

Leptosols

En el Cuadro 3, los suelos Leptosols, indican contenidos de MO que oscilan entre los 0.02 y 0.54, este último con contenidos moderados de MO, derivado de aumento en la capacidad de intercambio catiónico que favorece la retención de nutrientes. No obstante, los bajos contenidos de MO están relacionados con capacidad de intercambio catiónico deficiente, erosión y pérdida de arcillas y por ende disminución en la actividad productiva de los ecosistemas (Hernández-Herrera, Moreno, Valenzuela y Martínez, 2019). Los Leptosols se caracterizan por ser suelos delgados, con alto grado de afloramientos rocosos, bajo potencial agrícola y con vocación forestal (Sotelo-Ruiz, Cruz, González y Flores, 2020). Estos suelos presentan capacidad de intercambio catiónico baja que oscila de 0.02 a 0.9. Debido a que la capacidad de intercambio catiónico es de las propiedades de mayor relevancia como almacén de K, Mg y Ca, se entiende que los suelos con baja capacidad de intercambio catiónico presentan limitaciones para retener cationes (López-Báez *et al.*, 2019). En el Cuadro 8 se presentan los resultados obtenidos del subíndice de uso sustentable del suelo para Leptosols.

Este grupo de suelo presenta tres niveles de calidad: aceptable, sensible y pobre; por un lado, la calidad aceptable indica buenos contenidos en las propiedades intrínsecas y extrínsecas del suelo, de modo que, es suelo con buena estabilidad y resiliencia (Vargas, Quezada y Gonzales, 2020). De igual manera suelo con calidad sensible, puede ser vulnerable a procesos de degradación, al igual que suelo con calidad pobre.

Cuadro 8. Calidad del suelo in Leptosols.
Table 8. Soil quality in Leptosols.

Perfil	Calidad	Condiciones indeseables	Descripción	Condiciones ideales
Eútric Leptosols (Humic)	Aceptable	Erosión hídrica Manejo inadecuado Falencias en el manejo de Fertilización	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados.	Prácticas de conservación y manejo sustentable
Eútric Mollic Leptosols (Protovertic, Humic)	Sensible	< contenido de MO	Los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.	> contenido de MO
Eútric Leptosols (Protovertic)		< contenido de MO	Los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.	> contenido de MO
Eutric Rendzic Leptosols (Protocalcic)	Pobre	< contenido de MO, Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.	> contenido de Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺
Dystric Lithic Leptosols (Colluvic)				
Dystric Lithic Leptosols (Protovertic)				> contenido de MO, Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺
Dystric Leptosols (Protovertic)		< contenido de MO, Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺		> contenido de MO, Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺
Dystric Hyperskeletal Leptosols		< contenido de MO, Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ y CIC		> contenido de MO, Ca ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ y CIC
Eutric Leptosols (Andic)		< contenido de CIC y MO		> contenido de CIC y MO

CIC = capacidad de intercambio catiónico; MO = materia orgánica; pH = potencial de hidrógeno; Ca⁺ = calcio; Mg²⁺ = magnesio; K⁺ = potasio; Na = sodio. CIC = cation exchange capacity; MO = organic material; pH = hydrogen potential; Ca⁺ = calcium; Mg²⁺ = magnesium; K⁺ = potassium; Na = sodium.

Eútric Leptosols (Humic)

Suelo con drenaje rápido, material parental caliza, pH de 7.7, alto contenido de materia orgánica, de la suma de Ca⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (cmol (+) kg⁻¹ de suelo) y CIC, clasificación textural franco arcillo limoso. Los calificadores indican la presencia de ≥ 1% de carbono orgánico del suelo en la fracción tierra fina como promedio ponderado hasta profundidad de 50 cm de la superficie del suelo mineral. Sin embargo, estudios realizados por Muñoz-Rojas, Delgado y Lucas (2021), indican que la diversidad y el carbono orgánico del suelo son de gran importancia para el mantenimiento y regulación de los servicios ecosistémicos, mejora la fertilidad y por ende la producción de alimentos. En este tenor, contenido bajo de carbono es indicador de alteraciones en los ciclos del carbono y en la funcionalidad del ecosistema.

Eútric Mollic Leptosols (Protovertic, Humic)

Suelo con drenaje moderado, material parental caliza, pH de 8.3, alto contenido de la suma de Ca⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (cmol (+) kg⁻¹ de suelo) y CIC, moderado contenido de materia orgánica, clasificación textural arcillosa. Los calificadores indican horizonte móllico grueso, de color oscuro, con alta saturación de bases, de moderado a alto contenido de materia orgánica, no es masivo y duro cuando está seco, influenciado por arcillas expansión-retracción, con ≥ 1% de carbono orgánico del suelo en la fracción tierra fina como promedio ponderado hasta profundidad de 50 cm de la superficie del suelo mineral. Investigaciones realizadas por Morales-Espinoza, Ortiz, Gutiérrez y Gutiérrez (2021) mencionan que estos suelos presentan altos contenidos de carbono orgánico por tal razón son suelos muy fértiles y productivos, esto confirma el moderado contenido de materia orgánica en todo el perfil.

Eútric Leptosols (Protovertic)

Suelo con drenaje moderado, material parental de limolitas, pH de 8, altos contenidos de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo) y CIC. Bajo contenido de materia orgánica, clasificación textural arcillosa. Los calificadores indican saturación de bases efectiva (Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ de $\geq 50\%$ en la mayor parte entre 20 cm y 100 cm de la superficie del suelo mineral. Un horizonte protovertico, de arcillas expandibles y contraíbles en todo el perfil. Estudios realizados por Torres-Guerrero *et al.* (2019) para horizonte protovertic, los resultados indicaron que estos horizontes presentan textura arcillosa que aumenta a profundidad en todo el perfil.

Eutric Rendzic Leptosols (Protocalcic)

Suelo con drenaje moderado y material parental caliza, pH alcalino de 8, altos contenidos de calcio, CIC y materia orgánica, la clasificación textural es arcillosa. Los calificadores indican saturación de bases efectiva (Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), la presencia de horizonte móllico y carbonatos derivados de la solución del suelo.

Dystric Lithic Leptosols (Colluvic)

Suelo con drenaje moderado y materia parental arenisca, pH neutro de 6.5, con bajos contenidos en materia orgánica y suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo), con textura franco arcillo arenoso. Los calificadores indican material duro técnico o capa cementada o endurecida que comienza a > 25 cm de la superficie del suelo y materia colúvico de ≥ 20 cm de espesor. Estudios realizados por Cruz-Flores y Etchevers-Barra (2011) mencionan que estos suelos tienen material parental caliza, arenisca y limolitas, por lo general en cimas de montañas con altitudes que van de 800 m a 900 m en geología erosivo/kársticas y erosivo/denudativas, fuertemente inclinadas (30° a más de 45°), erosionados y con afloramientos de roca (Bollo y Hernández, 2008).

Dystric Lithic Leptosols (Protovertic)

Suelo con drenaje moderado, formado sobre limolitas, pH alcalino de 8.2, alto contenido de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo), bajo contenido de materia orgánica y CIC, clasificación textural arcillosa. Los calificadores indican suelo con roca continua o material duro técnico que comienza a ≤ 10 cm de la superficie e influenciado por arcillas de expansión-retracción. De acuerdo a Cairo y Quintero (1980), estos suelos son de carácter fragmentario, poco productivo desde el punto de vista agrícola y aún desde el punto de vista forestal. Por todo esto, se puede señalar que los Leptosols son suelos fértiles, no obstante, es posible que presenten deficiencias en fósforo y manganeso debido a lo alcalino que son.

Dystric Leptosols (Protovertic)

Suelo con drenaje moderado, material parental de limolitas, pH alcalino de 8.1, bajo contenido de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo), materia orgánica y moderado contenido de CIC, clasificación textural arcillosa. Los calificadores indican la influencia de arcillas de expansión-retracción en el suelo.

Dystric Hyperskeletal Leptosols

Suelo con drenaje rápido, material parental de arenisca, pH de 6.9, moderado contenido de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo), materia orgánica y CIC, clasificación textural arcillo arenosa. Los calificadores indican $< 20\%$ (en volumen) de tierra fina, promediado en profundidad de 75 cm de la superficie del suelo o hasta roca continua, material duro técnico o capa cementada o endurecida que comienza a > 25 cm de la superficie del suelo, lo que esté a menor profundidad.

Eutric Leptosols (Andic)

Suelo con drenaje rápido, material parental ígneo, pH de 6.7, altos contenidos de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo), bajo contenido de CIC y materia orgánica, clasificación textural franco arcillo arenoso. Los calificadores indican saturación de bases efectiva (Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) de $\geq 50\%$ en la mayor parte entre 20 cm y 100 cm de la superficie del suelo mineral, con propiedades ándicas o vítricas dentro ≤ 100 cm de la superficie del suelo. Estudios realizados por Cruz-Flores y Etchevers-Barra (2011) indican que estos suelos provienen de rocas ígneas con material de litios volcánicos, puesto que los suelos que evolucionan a partir de rocas ígneas presentan menor contenido de COS, esto confirma los bajos contenidos en COS, en este perfil.

Fluvisols

En el Cuadro 3, los suelos Fluvisols, exponen contenidos bajos de MO y capacidad de intercambio catiónico, con altos contenidos de Ca^+ y Mg^{2+} . El calcio como catión divalente tiene beneficios estructurales en las paredes celulares y membranas, participa en la regulación de reproducción sexual de las flores y en la germinación (Maldonado-Torres, Álvarez, Abarca y Almaguer, 2020). El magnesio es absorbido por superficies cargadas negativamente de minerales de arcilla y materia orgánica; sin embargo, los Fluvisols presentan poco contenido de arcilla y mayor contenido de arenas y limos (Renté-Martí, Nápoles, Pablos y Vargas, 2018).

El uso de abonos y enmiendas orgánicas mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas, por lo que se considera importante fuente de nutrientes para el suelo y plantas (Montoya, Mora y Vásquez, 2020).

En el Cuadro 9 se presentan los resultados obtenidos del subíndice de uso sustentable del suelo para Fluvisols.

De acuerdo a la literatura, los Fluvisols son considerados los mejores suelos, debido a su fertilidad natural y contenido de materia orgánica medio; por lo general se localizan al margen cuerpos de agua, por esta razón son utilizados para las actividades agrícolas (Sotelo-Ruiz *et al.*, 2020). No obstante, presentó calidad pobre, por bajos contenidos en Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO, como consecuencia de las diversas alteraciones en el paisaje, puesto que se ha comprobado que estas modificaciones han provocado variaciones en los nutrientes además de procesos de degradación por erosión (Rodrigo-Comino, Keshavarzi y Senciales, 2021).

Dystric Fluvisols (Loamic)

Suelo con drenaje moderado, formado por sedimentos fluviales, pH de 7.1, bajo contenido de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo), CIC y materia orgánica, clasificación textural franco arcillo arenoso. Los calificadores indican saturación de bases efectiva [$(\text{Ca}^+ \text{ Mg}^{2+} \text{ K}^+ \text{ Na}^+)$] de $< 50\%$ en la mitad o más de la parte entre 20 cm y 100 cm de la superficie del suelo mineral. En estudios realizados por Favela-Chávez *et al.* (2000), para Fluvisol mencionan que 91% de los sitios de estudio presentaron pH de 4.95-7.70, a mayor pH el zinc forma compuestos poco solubles como $\text{Zn}(\text{OH})_2$, ZnCO_3 , y $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$, reduciendo su disponibilidad.

Dystric Fluvisols (Arenic)

Suelo con drenaje rápido, formado por sedimentos fluviales, pH de 7.9, bajo contenido de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo), CIC y materia orgánica, clasificación textural franco arenoso. Los calificadores indican saturación de bases efectiva (Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) de $< 50\%$ en la mitad o más de la parte entre 20 cm y 100 cm de la superficie del suelo, con una clase textural arenosa o areno francosa en una capa, de ≥ 30 cm de espesor, dentro de ≤ 100 cm de la superficie del suelo mineral. Un pH alto ocurre en suelos calcáreos que puede variar de 7.0 a 8.6; sin embargo, el alto contenido de carbonato o pH alcalino limita la disponibilidad de elementos menores en este tipo de suelos.

Cuadro 9. Calidad del suelo en Fluvisols.

Table 9. Soil quality in Fluvisols.

Perfil	Calidad	Condiciones desfavorables	Descripción	Condiciones ideales
Dystric Fluvisols (Arenic)	Pobre	$<$ contenido de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO		$>$ contenido de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO
Dystric Fluvisols (Arenic)	Pobre	$<$ contenido de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO	La calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.	$>$ contenido de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO
Dystric Fluvisols (Loamic)	Pobre	$<$ contenido de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO		$>$ contenido de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO
Dystric Fluvisols	Pobre	$<$ contenido de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO		$>$ contenido de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CIC y MO

CIC = capacidad de intercambio catiónico; MO = materia orgánica; pH = potencial de hidrógeno; Ca^+ = calcio; Mg^{2+} = magnesio; K^+ = potasio; Na^+ = sodio. CIC = cation exchange capacity; MO = organic material; pH = hydrogen potential; Ca^+ = calcium; Mg^{2+} = magnesium K^+ = potassium; Na^+ = sodium.

Dystric Fluvisols

Suelo con drenaje moderado, formado por sedimentos fluviales, pH de 7.9, moderado contenido de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo). Bajo contenido de CIC y materia orgánica, clasificación textural franco arenoso. Los calificadores indican, saturación de bases efectiva (Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) de < 50% en la mitad o más de la parte entre 20 cm y 100 cm de la superficie del suelo. Al ser suelos de vega de río, se encuentra influenciado por los aportes de sedimentos de la cuenca; sin embargo, presenta erosión hídrica alta. Estudios realizados por Sotelo-Ruiz *et al.* (2020), indican que estos suelos son poco desarrollados y planos, con fertilidad natural, de textura media y profundo, materia orgánica media, localizados a las orillas de los ríos, lagos y lagunas.

Dystric Fluvisols (Arenic)

Suelo con drenaje rápido, compuesto por sedimentos fluviales, pH de 7.2 aceptable para la mayoría de las plantas, muy bajos contenidos de materia orgánica, CIC y de la suma de Ca^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (cmol (+) kg^{-1} de suelo). Los calificadores indican una clasificación textural arenosa, con deficiencias nutricionales. Estudios realizados por Salvador-Morales, Cámara, Martínez, Sánchez y Valdés (2019), mencionan que, los suelos Fluvisols acumulan mayor densidad arbórea y área basal, a tal razón este tipo de suelos es apto para plantaciones forestales.

CONCLUSIONES

Las muestras analizadas en los municipios de estudio indican que la Región Depresión Central de Chiapas, México presenta suelos con bajos contenidos nutrimentales, susceptibles a procesos de degradación por erosión hídrica.

Solo dos Grupos de suelos presentaron buena condición de fertilidad conocidos como Vertisols y Phaeozems; no obstante, se requieren más estudios para evaluar la calidad de los suelos en esta región junto a prácticas agronómicas para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Escritura, revisión y edición: S.G.R.H. y G.C.R. Escritura: revisión y edición: D.J.P.L.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, perteneciente a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, por el apoyo académico durante el tiempo que ejercí la maestría en Gestión de Riesgos y Cambio Climático (PNPC), asimismo, agradezco al Colegio de Postgraduados campus Tabasco, por la estancia académica realizada y al CONACYT por la beca otorgada.

LITERATURA CITADA

- Alatorre-Ibargüengoitia, M. A., Morales-Iglesias, H., Ramos-Hernández, S. G., Jon-Selvas, J., & Jiménez-Aguilar, J. M. (2016). Hazard zoning for volcanic ballistic impacts at El Chichón Volcano (Mexico). *Natural Hazards*, 81, 1733-1744.
- 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. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 22(2), 5-19.
- Báez-Pérez, A., Limón-Ortega, A., Ramírez-Barrientos, C. E., Ortega-Villalobos, I. A., & Olivares-Arreola, E. A. (2020). Efecto de biofertilizantes y agrícola de conservación en la producción de trigo en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 569-581. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.649>
- Bautista-Cruz, A., Etchevers-Barra, J., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97.
- Bedoya Justo, E., & Julca Otiniano, A. (2021). Efecto de la materia orgánica en el cultivo de palto variedad Fuerte en Moquegua, Perú. *Idesia (Arica)*, 39(4), 111-119.
- Bhaduri, D., Purakayastha, T. J., Patra, A. K., & Chakraborty, D. (2014). Evaluating soil quality under a long-term integrated tillage-water-nutrient experiment with intensive rice-wheat rotation in a semi-arid Inceptisol, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(4), 2535-2547. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3558-8>
- Bollo-Manent, M., & Hernández-Santana, J. R. (2008). Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Geográficas*, 66, 7-24.
- Bueno-Buelvas, R., & Fernández-Lizarazo, J. C. (2019). La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Ámbito Investigativo*, 4(1), 6-12.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z. G., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., & Brussaard, L. (2018). Soil quality-a critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Cabrera-Dávila, G. C., Sánchez-Rendón, J. A., & Ponce de León-Lima, D. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221, 1-21.
- Cairo, P., & Quintero, G. (1980). *Suelos*. Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
- Castro-Franco, H. E. (1997). *Fundamentos para el Conocimiento y Manejo de Suelos Agrícolas: Manual Técnico*. Tunja, Colombia: Fundación Universitaria Juan de Castellanos. ISBN: 10958-9340-56-3
- Cobo-Vidal, Y., Angarica-Baró, E., Martín-Gutiérrez, G., Serrano-Gutiérrez, A., & Villazón-Gómez, J. A. (2019). Disponibilidad de zinc y variabilidad dentro del perfil en Vertisol Crómico de la provincia de Holguín. *Centro Agrícola*, 46(2), 22-29.
- Constantini, E. A., & Mocali, S. (2022). Soil health, soil genetic horizons and biodiversity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185(1), 24-34. <https://doi.org/10.1002/jpln.202100437>
- Costa, D. L., Gómez-Martínez, E., & Alcázar-Sánchez, J. (2022). Escolars camponesas e racionalidade ambiental: um estudo sobre as experiências agroecológicas no Estado de Chiapas, México. *Revista IDEAS*, 17, 1-33.
- Cruz-Flores, G., Guerra-Hernández, E. A., Valderrábano-Gómez, J. M., & Campo-Alves, J. (2020). indicadores de calidad de suelos en bosques templados de la reserva de la biosfera los volcanes, México. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 781-793. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.421>
- Cruz-Macias, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., & 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. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480.
- Cruz-Flores, G., & Etchevers-Barra, J. D. (2011). Contenidos de carbono orgánico de suelos someros en pinares y abetales de áreas protegidas de México. *Agrociencia*, 45(8), 849-862.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma, Italia: FAO
- Favela-Chávez, E., Cortés-Flores, J. I., Alcántar-González, G., Etchevers-Barra, J. D., Baca-Castillo, G. A., & Rodríguez-Alcázar, J. (2000). Foliar spray applications of zinc on pecan trees in alkaline soils. *Terra*, 18(3), 239-245.
- Fu, Y., Tian, Z., Amoozegar, A., & Heitman, J. (2019). Measuring dynamic changes of soil porosity during compaction. *Soil & Tillage Research*, 193, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.016>
- Fu, Y., Tian, Z., Amoozegar, A., & Heitman, J. (2019). Measuring dynamic changes of soil porosity during compaction. *Soil & Tillage Research*, 193, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.016>
- Fuentes, J., & Bocco, G. (2003). El agua: dinámica y análisis regional. En A. Velázquez, A. Torres, & G. Bocco (Eds.). *Las enseñanzas de San Juan* (pp. 95-126). Distrito Federal, México: Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- García-Domínguez, A., Cámara-Cabrales, L. D. C., der Wal, V., Cornelis, J., & Martínez-Zurimendi, P. (2018). Biomasa en acahuales de tres unidades ecogeográficas del estado de Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 69-91. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.132>
- Hernández, H. U. B., Méndez, R. M., Beutelspacher, A. N., Solís, J. D. Á., Dosal, A. T., & Portugal, C. H. (2016). Factores socioeconómicos y tecnológicos en el uso de agroquímicos en tres sistemas agrícolas en los altos de Chiapas, México. *Interciencia*, 41(6), 382-392.
- Hernández-Santana, J. R., Bollo-Manent, M., Méndez-Linares, A. P., & Figueroa-Mah Eng, J. M. (2009). Formación y morfogénesis del relieve del extremo noroccidental del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Geográficas*, 68, 25-40.
- Hernández-Herrera, J. A., Moreno-Reséndez, A., Valenzuela-Núñez, L. M., & Martínez-Salvador, M. (2019). Modelación de la presencia de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc mediante propiedades físicas y químicas del suelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 499-511. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.1910>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática). (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. Consultado el 21 de enero, 2024, desde <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- Inocencio-Vásquez, E. T., & Florida-Rofner, N. (2022). Comportamiento espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en plantación de *Theobroma cacao* en Padre Abad, Ucayali, Perú. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(2), 1-10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2320>
- Kovda, I. (2020). Vertisols: Extreme features and extreme environment. *Geoderma Regional*, 22, e00312 <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00312>
- Lázaro-Sánchez, G. R., Bautista-Zúñiga, F., Gogutchichvili, A., López-Noverola, U., & Sánchez-Hernández, R. (2021). Efecto de la quema agrícola en un Vertisol de Tabasco México: fósforo, pH y conductividad eléctrica. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1), 26.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

- López-Báez, W., Reynoso-Santos, R., López-Martínez, J., Villar-Sánchez, B., Camas-Gómez, R., & García-Santiago, J. O. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 897-910.
- Luna-González, M. L., Guío-Mahecha, E., Becerra-Bayona, S., & Serrano-Díaz, N. (2016). La gestión de los datos, un proceso esencial para el desarrollo del Biobanco. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 48(4), 548-553.
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Abarca-Cervantes, A. D., & Almaguer, V. G. (2020). Cambios celulares en hojas de aguacate con deficiencias de calcio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 13-23.
- Mar-Cornelio, O., Santana-Ching, I., & Gulín-González, J. (2019). Algoritmo para determinar y eliminar nodos neutrales en Mapa Cognitivo Neutrosófico. *Neutrosophic Computing and Machine Learning*, 8, 4-11.
- Méndez-Pérez, E., Botero-Maya, R., & Moreno-Gómez, R. (2011). *Suelos, pastos y forrajes* (4ª Ed.). Bolívar, Colombia: FEDEGAN.
- Montoya, S. A. M., Mora, A. M., & Vásquez, C. J. F. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 58-68.
- Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2021). Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601>
- Morales-Espinoza, I. D. C., Ortiz-Solorio, C. A., Gutiérrez-Castorena, M. D. C., & Gutiérrez-Castorena, E. V. (2021). Estudio Etnoedafológico para el reconocimiento de tipos de usos asociados con cadenas productivas en el ejido de Santa Cruz, Durango. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.853>
- Morales-Iglesias, H., Priego-Santander, A. G., Bollo-Manent, M., & Ríos, M. J. (2019). La antropización de la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, México. *Papeles de Geografía*, 65, 139-154. <https://doi.org/10.6018/geografia.396571>
- Morales-Iglesias, H., Priego-Santander, A. G., & Bollo-Manent, M. (2017). Los paisajes físico-geográficos del estado de Chiapas, México a escala 1: 250 000. *Terra Digitalis*, 1(1), 1-7. <https://doi.org/10.22201/igg.terradigitalis.2017.1.8>
- Morel, A., & Ortiz, O. (2022). Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 996-1006. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-07>
- Munsell Color (1994). *Munsell Soil Color Charts*. Michigan, USA: Munsell Color.
- Muñoz-Rojas, M., Delgado-Baquerizo, M., & Lucas-Borja, M. E. (2021). La biodiversidad y el carbono orgánico del suelo son esenciales para revertir la desertificación. *Ecosistemas*, 30(3), 2238-2238.
- NMX-Ff-109-SCFI-2008 (Norma Oficial Mexicana). (2008). Humus de lombriz (lombricomposta), Especificaciones y métodos de prueba, publicada el 10 de junio de 2008. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.: SEGOB.
- Núñez-Ravelo, F., Ugas-Pérez, M., Calderón-Castellanos, R., & Rivas-Meriño, F. (2021). Cuantificación del carbono orgánico y materia orgánica en suelos no rizosféricos o cubiertos por *Avicennia germinans* (L.) y *Conocarpus erectus* (L.) emplazados en Boca de Uchire, laguna de Unare, Estado de Anzoátegui, Venezuela. *Revista Geográfica de América Central*, 66, 340-366.
- Olivares-Campos, B. O., López-Beltrán, M. A., & Lobo-Luján, D. (2019). Cambios de usos de suelo y vegetación en la comunidad agraria Kashaama, Anzoátegui, Venezuela: 2001-2013. *Revista Geográfica de América Central*, 63, 224-246. <https://dx.doi.org/10.15359/rgac.63-2.10>
- Palma-López, D. J., Salgado-García, S., Martínez-Sebastian, G., Zavala-Cruz, J., & Lagunes-Espinoza, L. D. C. (2015). Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 163-172.
- Pérez, E. G. E., Hidalgo, E. C., Robles, C., Gallegos, V. M., Martínez, G. M. S., & Rodríguez-Ortiz, G. (2023). Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(1), 1-24. <https://doi.org/10.60158/rma.v10i1.376>
- Pérez, M., Meza, C., & Fernández, S. (2010). Requerimientos de encalado en tres suelos ácidos de la región Centro occidental de Venezuela. *Venezuelas*, 18(1), 21-29.
- Ramírez-Pisco, R., Leiva-Rojas, E. I., & Restrepo-Yépez, R. F. (2021). Materia orgánica particulada y mineralogía de un Andisol bajo labranza y barbecho. *Acta Agronómica*, 70(4), 329-337.
- Ramos-Hernández, S. (2013). Suelos: Conocimiento y Problemática. En *La biodiversidad en Chiapas: Estudio de estado* (pp. 41-51.) México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Chiapas.
- Renté-Martí, O., Nápoles-García, M. C., Pablos-Reyes, P., & Vargas-Batis, B. (2018). Efecto de *Canavalia ensiformis* (L.) en propiedades físicas de un suelo fluvisol diferenciado en Santiago de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 59-64.
- Rodrigo-Comino, J., Keshavarzi, A., & Senciales-González, J. M. (2021). Evaluating soil quality status of fluvisols at the regional scale: A multidisciplinary approach crossing multiple variables. *River Research and Applications*, 37, 1-15. <https://doi.org/10.1002/rra.3865>
- Sadeghian, S., & Zapata, R. (2012). Propiedades relacionadas con la adsorción de cationes intercambiables en algunos suelos de la zona cafetera de Colombia. *Revista Cenicafé*, 63(2), 79-89.
- Sáenz-Leguizamón, G. L., Guevara-Hernández, F., González-Cabañas, A. A., & La O-Arias, M. A. (2023). Agroecosistemas tradicionales del trópico mexicano: "Los bajíos" de Chiapas y sus características en el contexto actual. *Revista De Ciencias Sociales*, 29(2), 108-122.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo Metodología de Cálculo*. México: FAO-SAGARPA.
- Salcedo-Mayta, S., Canihua-Rojas, J., Samaniego-Vivanco, T., Cruz-Luis, J., Pérez-Porras, W., & Cosme-De La Cruz, R. (2022). Cultivos de cobertura asociados a quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en el Altiplano peruano: Reducción de la erosión, mejora de la salud del suelo y rendimiento agrícola. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 265-274.
- Salvador-Morales, P., Cámara-Cabrales, L. D. C., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernandez, R., & Valdés-Velarde, E. (2019). Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera y Bosques*, 25(1), 1-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511638>
- Šarapatka, B., Alvarado-Solano, D. P., & Čižmár, D. (2019). Can glomalin content be used as an indicator for erosion damage to soil and related changes in organic matter characteristics and nutrients? *Catena*, 181, 104078.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021 SEMARNAT-2000 antes NOM-021-REC/NAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. D. F., México: SEGOB.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. Distrito Federal, México: SEMARNAT. ISBN: 978-607-8246-61-8
- Silva, L., Rodríguez-Sedano, F., Baptista, P., & Coelho, J. P. (2023). The digital twin paradigm applied to soil quality assessment: a systematic literature review. *Sensors*, 23(2), 1-30. <https://doi.org/10.3390/s23021007>

- Sotelo-Ruiz, E. D., Cruz-Bello, G., González-Hernández, A., & Flores-López, R. (2020). Actualización de la cartografía edafológica del Estado de México: una herramienta para la planeación. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1775-1788.
- Tiecher, T., Gatiboni, L., Santos, D. R. D., Bissani, C. A., Martins, A. P., Gianello, C., & Azevedo, A. C. (2023). Base saturation is an inadequate term for Soil Science. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 46, e0220125. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20220125>
- Torres-Benites, E., Cortes-Becerra, J., Uresti-Gil, J., Torres-Cedillo, L., & Rivera-Torres, P. S. (2020). Predicción de la erosión hídrica en la cuenca del Cañón del Sumidero, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1903-1915. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2747>
- Torres-Guerrero, C. A., Gutiérrez-Castorena, M. C., Ortiz-Solorio, C. A., Herrera, J. M., Gutiérrez-Castorena, E. V., & Etchevers, J. D. (2019). Tasa de descomposición de raíces de maíz en parcelas y regiones usando conocimiento local de tierras y análisis técnico de suelos. *Agrociencia*, 53(5), 661-680.
- Trujillo-Samayoa, R., Rangel-Martínez, Y., & Castañeda-Nolasco, G. (2015). Desempeño térmico del techo verde, una alternativa viable para la edificación, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 10(18), 103-11
- Vargas, I. M., Quezada, C. G., & Gonzales, S. A. (2020). Calidad de los suelos de Ixtlahuacán del Río, Jalisco y su relación con el uso del suelo. *Estudios de la Ciénega*, 42, 241-258.
- Vasu, D., Tiwari, G., Sahoo, S., Dash, B., Jangir, A., Sharma, R. P., & Chandran, P. (2021). A minimum data set of soil morphological properties for quantifying soil quality in coastal agroecosystems. *Catena*, 198, 105042. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105042>
- Vela-Correa, G., López-Blanco, J., & Rodríguez-Gamiño, M. D. L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el suelo de conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 77, 18-30.
- Vela-Correa, G., & Flores-Román, D. (2004). Génesis de suelos del Parque Nacional "El Tepeyac". *Terra Latinoamericana*, 22(4), 389-399.
- Velázquez-Chávez, L. J., Ortíz-Sánchez, I. A., Chávez-Simental, J. A., Pámenes-Carrasco, A. P., Carrillo-Parra, A., & Pereda-Solís, M. E. (2022). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25, e482. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>
- Vivanco, J. C., Bojórquez, J. I., Murray, R. M., Nájera, O., Flores, F., & Hernández, A. (2010). Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa. Tepic, Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 1-10.
- Wang, H., Pan, Y., & Luo, X. (2019). Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric análisis. *Automation in Construction*, 103, 41-52. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.005>
- WRB (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo). (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo, 2014, Actualización, 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106*. Roma, Italia: FAO, Consultado el 08 de noviembre, 2022, desde <https://www.iec.cat/mapasols/Doculnteres/PDF/Llibre59.pdf>