

Calidad de Clases de Tierras Local en la Subcuenca Ganadera Chapala Porción Michoacán Quality of Local Land Classes in The Chapala Livestock Sub-basin Portion of Michoacan

Peter Paul Reyes-Chávez¹, Gustavo Cruz-Cárdenas¹,
Mario del Roble Pensado-Leglise² y José Teodoro Silva-García¹

¹ Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-IPN-Michoacán, COFAA, Proyecto SIP20240817. Justo Sierra Oriente 28, Centro. 59510 Jiquilpan, Michoacán, México; (P.P.R.C.), (G.C.C.), (J.T.S.G.).

[†] Autor para correspondencia: guscruz@ipn.mx, gustavo.cruz.cardenas@gmail.com

² Instituto Politécnico Nacional, CIEMAD, Proyecto SIP20242238. Calle 30 de junio de 1520 s/n, La Laguna Ticoman. 07340 Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México; (M.R.P.L.).

RESUMEN

El impacto de la ganadería en el medio ambiente ocasiona modificaciones en diversos factores, que afectan la calidad del suelo. Por tanto, el objetivo de este estudio es conocer la calidad de las clases de tierras local con y sin pastoreo a través de sus propiedades físicas y químicas. La metodología consistió en recolectar muestras de suelos con pastoreo de ganado y en áreas que se han conservado libres de ganado. Se evaluaron 14 variables fisicoquímicas. Adicionalmente se recolectó información del saber local del suelo por los ganaderos a través de entrevistas. Se realizó un análisis de varianza para identificar diferencias y similitudes entre clases de tierra local y uso de suelo. Se aplicó el análisis de componentes principales para encontrar variables más representativas, para posteriormente realizar un agrupamiento por similitudes entre los sitios de muestreo, además, se les aplicó el subíndice de uso sustentable del suelo. Los entrevistados reconocen tres clases de tierra: Barro, Charanda y Tierra Café. El análisis de varianza mostró que las variables calcio (Ca), capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, magnesio (Mg), materia orgánica y fósforo (P) tuvieron diferencia (p -value < 0.05) entre clases de tierra local y uso de suelo. El análisis multivariado determinó tres grupos y calidad de suelos se definen como marginal, sensible y aceptable, la Tierra Café fue la de mayor calidad y es de uso permanente para la ganadería.

Palabras clave: *cosmovisión, etnopedología, ganadería.*

SUMMARY

Livestock farming impact on the environment causes changes in various factors, which affect soil quality, which can be determined by physicochemical parameters that indicate its condition. Therefore, the objective of the present study is to know the quality of local land classes with and without grazing through their physical and chemical properties. The methodology consisted of collecting soil samples with cattle grazing and in areas that have been kept free of cattle. Fourteen physicochemical variables were evaluated. Additionally, information on local soil knowledge was collected by farmers through interviews. A variance analysis was performed to identify differences and similarities between local land class and land use. The principal component analysis was applied to find the most representative variables to subsequently group by similarities between sampling sites, additionally applying the sustainable land use sub-index. Interviewees recognized three types of land: Barro, Charanda and Tierra Café. The analysis of variance showed that the variables



Cita recomendada:

Reyes-Chávez, P. P., Cruz-Cárdenas, G., Pensado-Leglise, M. R., & Silva-García, T. (2024). Calidad de Clases de Tierras Local en la Subcuenca Ganadera Chapala Porción Michoacán. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-11. e1788. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1788>

Recibido: 15 de agosto de 2023.

Aceptado: 16 de julio de 2024.

Artículo. Volumen 42.

Agosto de 2024.

Editor de Sección:

Dr. Pablo Preciado Rangel

Editor Técnico:

Dr. David Cristóbal Acevedo



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/>).

calcium (Ca), cationic exchange capacity, apparent density, magnesium (Mg), organic matter and phosphorus (P) had a difference (p -value < 0.05) between local land classes and land use. The multivariate analysis determined three groups, and soil quality was defined as marginal, sensitive and acceptable; Tierra Café was the one with the highest quality and is permanently used for livestock farming.

Index words: *worldwide, ethnopedology, cattle raising.*

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la población requiere de una mayor producción de alimentos para su bienestar, la agricultura y ganadería brindan gran parte de estos alimentos para satisfacer esas necesidades. Sin embargo, estas actividades generan impactos negativos en el ambiente; causados por las emisiones de gases de efecto invernadero, disponibilidad de agua, cambio climático, pérdida de la biodiversidad y degradación de suelos principalmente (Gerber *et al.*, 2013). Por su parte, la ganadería produce el 14.5% del total de emisiones globales, por el cambio de uso de suelo (emisiones de CO₂), producción animal (CH₄) y de estiércol (N₂O), proceso y transporte (CO₂) (Rojas-Downing, Nejadhashemi, Harrigan y Woznicki, 2017). Lo anterior provoca el cambio de uso de suelo a causa de la deforestación de la vegetación nativa para crear pastizales y sobre todo por un manejo intensivo (Abdalla *et al.*, 2018), fomentando el sobrepastoreo, lo que induce cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, como la disminución del contenido de carbono orgánico almacenado hasta en un 30% y la densidad aparente en 6% (Wang y Wesch, 2016; Cruz-Flores, Guerra, Valderrábano y Campo, 2020). En la ganadería extensiva se presenta la compactación del suelo, que disminuye la capacidad de infiltración y retención de agua lo que afecta el desarrollo vegetal debido a la disminución de espacio poroso, al reducir la disponibilidad de agua para las plantas, reflejándose en una menor producción de biomasa (Houlbrooke y Laurenson, 2013).

No obstante, también se debe reconocer que, el ganado a través de su estiércol aporta al suelo algunas ventajas como la incorporación de materia orgánica, y nutrientes e incluso aumenta la diversidad microbiana del suelo (Wu *et al.*, 2022). Además, genera beneficios para el humano como es la seguridad alimentaria (17% de global de kilocalorías) y fuentes de empleos de la población más pobre (mas 1000 millones de personas), (Rojas-Downing *et al.*, 2017).

Definir calidad del suelo por una escala o unos pocos parámetros resulta controversial, ya que existen índices de calidad que consideran características y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para la estimación de su calidad, poder afirmar cuales son mejores de forma general resulta una difícil decisión. Esto se debe en parte a la heterogeneidad de los suelos por su génesis, topografía, clima, vegetación y actividades antropogénicas (Bünemann *et al.*, 2018).

La FAO señala los instrumentos de evaluación en un gran número de países que son concordantes en sus disposiciones internacionales, en el caso de México existen varias normas oficiales mexicanas que contemplan en diferentes aspectos la calidad del suelo (FAO, 2022). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) es otro organismo de referencia en cuanto a la ciencia y conservación del suelo. Calidad del suelo "es la capacidad de un suelo para realizar las funciones que se tienen previstas". Estas funciones incluyen: 1) mantenimiento de la diversidad biológica; 2) regulación del flujo de agua y solutos; 3) filtrado, estabilización de pH, y degradación de materiales orgánicos e inorgánicos; 4) almacenamiento de nutrientes y carbono; 5) proporcionar estabilidad y soporte físico (USDA, 2022). La calidad puede dividirse en dos partes la calidad inherente y la calidad dinámica. La primera hace referencia a la génesis del suelo a lo largo de miles de años y tienen relación con la topografía, material parental, biota y tiempo. Algunos ejemplos de propiedades inherentes son la textura del suelo, tipo de arcilla, profundidad de la roca madre y escorrentías. Por otro lado, las propiedades dinámicas o dependientes del manejo del suelo son aquellas donde la intervención humana y las perturbaciones naturales en un lapso corto de décadas a siglos se crean cambios significativos, incluso algunas propiedades dinámicas del suelo pueden modificarse ocurrir en un solo año (USDA, 2022).

En el método de evaluación, es conveniente tener una referencia testigo que pueda comparar la calidad del suelo de un área forestal no perturbada, con un área de uso antropogénico, sea bien esta para agricultura o para pastoreo de ganado (Torres, Gutiérrez y Beltran, 2017). De este modo se puede minimizar el riesgo de sobrestimar la calidad intrínseca y la evolución a través del tiempo de cada suelo (Álvarez-Arteaga, Ibáñez, Orozco y García, 2020). Otro factor importante es la topografía que juega un papel relevante en la elección de la actividad antropogénica y su uso de suelo. Influye básicamente en la posibilidad de realizar agricultura u optar por la ganadería, esto es porque los terrenos que se localizan en los valles suelen existir poca pendiente y cuerpos de agua que favorecen la agricultura. Sin embargo, en zonas con pendientes pronunciadas los terrenos no tienen condiciones aptas para la agricultura, dejando así su mayor uso para la ganadería (Dávila-Moreno, 2014).

En la Ciénega de Chapala, en el estado de Michoacán, México, el conocimiento local es un factor asociado a diferentes actividades, que es relevante y tienen una larga historia en México. Este conocimiento se remonta a la época de las culturas originarias, las cuales poseían amplios conocimientos acerca de la naturaleza y una cosmovisión que les permitió ser buenos observadores de su entorno y entendieron cómo éste cambiaba en ciclos; El cual fue base para la realización de diversas clasificaciones sobre animales, agricultura, lugares y plantas, así como también del suelo (Pulido-Secundino y Bocco, 2014). Los pueblos prehispánicos, como los aztecas, purépechas, otomís y mayas, poseían una clasificación de suelos, que incluso en la actualidad en comunidades descendientes de estas culturas se siguen utilizando (Krasilnikov *et al.*, 2013). Las culturas asignan a cada tipo de suelo nombres que describen las características de sus horizontes (Flores-Díaz y Cázares, 2016¹). De acuerdo con Toledo y Barrera (2009) los purépechas poseen un conocimiento sobre los suelos de su región, que les ha permitido desarrollar un sistema de clasificación incluso más preciso que el propuesto por la FAO, porque facilita la transferencia de tecnología de suelos similares y fuera del área local (Kyebogola *et al.*, 2020).

Los efectos de una ganadería sin control resultan negativos para las propiedades del suelo que pueden poner en peligro su sustentabilidad, así como para la seguridad alimentaria y económica de gran número de habitantes. Sin embargo, una ganadería con manejo sustentable puede lograr beneficios alimenticios y una fuente de ingresos para los sectores vulnerables de la sociedad. Lo anterior permite suponer que la calidad dinámica de los suelos de las clases de tierra en la Ciénega de Chapala se ha mantenido a través del tiempo, aun con el uso ganadero que estas tierras han tenido, debido al conocimiento local y al manejo de los ganaderos de sus tierras. Por tanto, el objetivo de este estudio es conocer la calidad dinámica de las clases de tierras local con y sin pastoreo a través de sus propiedades físicas y químicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en el noroeste del estado de Michoacán y tiene superficie de 954 km² (Figura 1). Los climas son semicálidos (A)C(wo) y templado subhúmedo (C(w1)). La vegetación predominante es de matorral subtropical y en las partes altas bosque de encino. Los principales tipos de uso del suelo representativos en esta región son agrícola, pecuario y forestal (CONABIO, 2022). Las unidades de suelos son Vertisol, Leptosol y Luvisol principalmente (INEGI, 2014). La zona de estudio pertenece al Eje Neovolcánico, en la subprovincia del lago de Chapala, constituida principalmente por rocas ígneas extrusivas básicas y sedimentos lacustres (Ramos-Leal *et al.*, 2018).

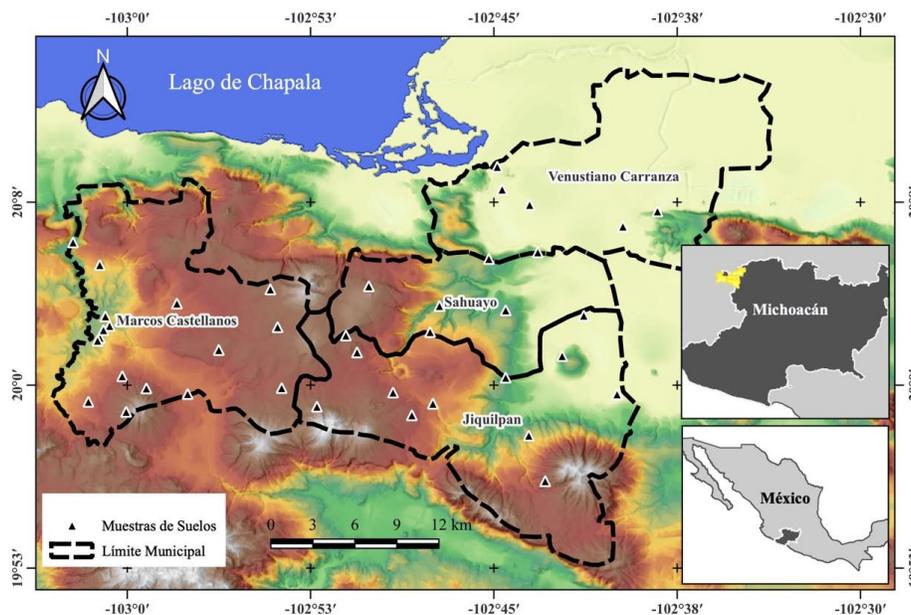


Figura 1. Localización del área de estudio.
Figure 1. Location of the study area.

¹ Flores-Díaz, A., Cázares, P. D. (2016). Clasificación de Suelos en las Culturas Nahuas, Tarasca y Maya. En *IX Conferencia Internacional de Los Pueblos y su Cultura* (pp. 1-32). Granma, Cuba: UAM-Universidad Granma.

Conocimiento Tradicional de las Clases de Tierra Local

Para identificar el saber tradicional del suelo que consiste en los conocimientos propios de la naturaleza (Toledo y Barrera, 2009), se realizaron entrevistas a 25 ganaderos originarios de la región con tierras de pastoreo en el área de estudio y con un uso de sus parcelas por un tiempo mayor a 15 años. Se cuestionó sobre los conocimientos de las clases de tierra local (CTL), las propiedades y características para identificarlos (color, altitud, textura y uso), los usos óptimos como cultivos o actividades agropecuarias que pueden realizarse en cada CTL.

Muestreo de Suelos y Análisis de Laboratorio

Se tomaron cinco submuestras a una profundidad de 20 cm, en aproximadamente una hectárea para posteriormente generar una muestra compuesta de 2 kg. Veinticinco muestras compuestas fueron en terrenos con pastoreo. Adicionalmente se tomaron 18 muestras compuestas en zonas aledañas libres de pastoreo que se identificaron como la misma clase de tierra local (Figura 1). Las variables físico y químicas que se determinaron fueron (Álvarez-Arteaga *et al.*, 2020, USDA, 2022) fósforo disponible (Olsen), nitrógeno total (micro-Kjeldahl), materia orgánica (Walkley y Black), pH (agua 1:2), capacidad de intercambio catiónico (acetato de amonio), conductividad eléctrica (conductivímetro) y cationes solubles (Ca, Mg, Na K), textura (Bouyoucos), densidad aparente (método de la parafina) y porcentaje de humedad como se establece en la norma mexicana NOM 021-RECNAT-2001 (SEMARNAT, 2002).

Categorización de la Clase de Tierras Local en la Ganadería

Este análisis se realizó en dos etapas 1) comparación entre las propiedades físicas y químicas de suelos y CTL y uso de suelo, considerando dos usos de suelo: con pastoreo de ganado (SPG) y sin pastoreo de ganado (SSG) utilizando el análisis de varianza. Cuando los datos no tuvieron una distribución normal (Anexo 1) se aplicaron pruebas no paramétricas. 2) análisis de componentes principales (ACP) para determinar el número de componentes que representen más del 80% de la varianza acumulada de las propiedades físicas y químicas (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2017). Previo al análisis se aplicó la prueba de Bartlett el cual indica si existen correlaciones significativas entre los datos y se estandarizaron las variables porque tienen unidades diferentes (Arsham y Lovric, 2011). Posteriormente, con los componentes seleccionados, se aplicó un análisis clúster (distancia euclidiana y método de agrupamiento Ward) para realizar la agrupación de los 43 sitios muestreados en función de sus similitudes (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2017). Una vez formado las categorías, los sitios de muestreo se codificaron con siglas que describen el sitio, el código se interpreta: XXUCT. Donde XX es el número de muestra, U representa el uso de suelo actual del sitio (SPG = con pastoreo de ganado, SSG = sin pastoreo de ganado) y CT corresponde a la clase de tierra local (Br = Barro, TC = Tierra Café, Ch = Charanda). Además, se les aplicó el subíndice de uso sustentable del suelo a las categorías definidas por el análisis cluster para determinar la calidad de suelos (SAGARPA, 2014; Cruz-Roblero, Ramos y Palma, 2024), (Anexo 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conocimiento Tradicional de Clases de Tierras Locales

En la región se conoce tres clases de tierras: Barro, Tierra Café y Charanda (Cuadro 1); estas tierras se diferencian por color, lugar en el paisaje y vocación de cultivo. Se relacionan con los Grupos de Suelo (INEGI, 2014) que se encuentran en la región, Barro con los Vertisoles, la Tierra Café con Leptosoles y Charanda con Luvisoles. Las entrevistas indican que el 100% de los entrevistados pastorea el ganado, semiestabulado o al libre pastoreo, lo cual se debe a la disponibilidad de tierras durante las estaciones del año. El sistema semiestabulado de esta región consiste en tener en el establo una parte del ganado, los de producción lechera, mientras el ganado que no está productivo se libera en los terrenos de pastoreo. Sin embargo, es común el uso del establo solamente para la ordeña y posterior liberación del ganado a los terrenos de pastoreo. El uso de las clases de tierras locales para la ganadería es la siguiente: los mayores hatos ganaderos se encuentran en la Tierra Café, las razones señaladas por los ganaderos son qué; muchas de estas tierras no son aptas para cultivos, debido a que se localizan en las laderas de montañas con pendientes demasiado inclinadas y terrenos pedregosos; el uso en la tierra Charanda está limitado, porque describen que el pasto en esta CTL es poco abundante y se encuentra mayoritariamente en las zonas más altas y en ocasiones inaccesibles por relieves accidentados; por último, el uso de clase Barro también está limitado para el pastoreo, se emplea casi exclusivamente en temporada de estiaje debido a que en época de lluvia se imposibilita el paso del ganado por su reblandecimiento.

Cuadro 1. Características de las clases de tierra local en función del conocimiento de los ganaderos.
Table 1. Characteristics of the local land classes based on ranchers' knowledge.

| Nombre Local | Características físicas y ubicación | Uso local | Cabezas ganado ha ⁻¹ |
|--------------|--|---|---------------------------------|
| Barro | Color gris-café ocasionalmente marrón, pegajosa, menor a 1650 m de altitud (valle) | Cultivo de hortalizas y forrajes, en zonas de riego temporalmente para ganadería en época de estiaje (noviembre a mayo) | 1.5 |
| Charanda | Color rojizo-café y polvorienta, superiores a los 1800 m de altitud (montaña) | Forestal, algunos con pastizal inducido, siembras de temporal, escaso uso para ganadería | 2.0 |
| Tierra café | Color café a negro y desmoronable, de 1650 a 1800 m de altitud (pie de monte) | Cultivo de temporal principalmente maíz, pastizal inducido para ganadería, presencia de ganado todo el año | 2.0 |

El conocimiento local de suelos define usos y prácticas, por ejemplo, Matuk *et al.* (2017) señalan que clase de tierra local destinada para la ganadería por el grupo étnico Quilombolas es aquella que no puede ser para agricultura debido a sodicidad, deficiencia de agua y dureza. Además, este conocimiento también hace que tomen decisiones para la rotación del pastoreo para mantener la calidad y cantidad del forraje para el ganado (Brinkmann *et al.*, 2018).

Comparación entre Clases de Tierra Local con Pastoreo y sin Pastoreo

El análisis de varianza mostró que seis de las 14 variables tienen diferencia (p -value < 0.05) en alguno de los dos factores (Cuadro 2). Se empleó la prueba de Kruskal-Wallis con las variables de calcio, conductividad eléctrica, fósforo, nitrógeno, materia orgánica y potasio porque los datos no se ajustaron a una distribución normal (Anexo 1). Las variables de calcio y capacidad de intercambio catiónico de la clase de tierra Barro fueron mayores en comparación con Charanda y Tierra Café. El uso de suelo SPG presentó los mayores valores de densidad aparente, magnesio y fósforo. Mientras que la materia orgánica fue mayor en el uso de suelo SSG. La clase de tierra Barro relacionada con Vertisoles, el contenido de CIC de estos suelos va de 30 a 60 cmol kg⁻¹, la cual depende de varias características como contenido de materia orgánica, fase mineral, entre otros, en este caso el contenido está cerca del límite inferior (Regassa *et al.*, 2023). El uso de suelos SPG tiene mayor DA lo cual puede deberse por el pisoteo del ganado que puede llegar a incrementarla hasta en un 10% (Torres-Guerrero, Gutiérrez, Ortiz y Gutiérrez, 2016). Estudios previos reportan que el pastoreo disminuye el contenido de materia orgánica y fósforo, porque la defoliación de las plantas reduce la biomasa y la cobertura vegetal, con ello la producción de mantillo, la cual afecta el contenido de nutrientes en suelo (HaO y He, 2019). Hasta el momento solo se ha visto afectado el contenido de materia orgánica, el cual es uno de los principales indicadores cuando existe pastoreo (SPG), caso contrario el uso de suelo SGG (Wang y Wesch, 2016). Existen prácticas emergentes para aumentar la acumulación de materia orgánica y fósforo en el suelo, como es el uso intensivo del pastoreo que puede regresar al suelo a sus condiciones naturales, la cual podría ser una alternativa de manejo (Machmuller *et al.*, 2015; Hao y He, 2019)

Categorización de la Clase de Tierra Local

El análisis de componentes principales indica que los primeros siete componentes representan más 84% de la varianza acumulada. Las variables que tienen mayor correlación con los primeros siete componentes fueron arcilla, potasio, arena, materia orgánica, manganeso, calcio y densidad aparente (Cuadro 3). El uso de componentes principales garantiza que las variables no están correlacionadas y reduce la dimensión de los datos para análisis posteriores como modelos de predicción o análisis cluster (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2017; Lastiri-Hernández, Cruz, Álvarez, Vázquez y Bermúdez, 2020).

Los siete componentes principales seleccionados se emplearon para el análisis clúster (Figura 2) y se formaron tres grupos (G1, G2, G3). El 89% fue uso de suelo SPG y 67% es Tierra Café para G1; mientras el 67% fue uso de suelo SSG y cada clase de tierra tienen porcentaje similares (aproximadamente una tercera parte) para el G2; por último, el 69% fue uso de suelo SPG y 81% fue clase de tierra Barro para G3.

Cuadro 2. Comparación de medias de las propiedades físicas y químicas del suelo por clase de tierra local, y uso de suelo.
Table 2. Comparison of means of soil physical and chemical properties by local land class, and land use.

| Variable | Clase de Tierra Local | | | Uso de suelo | |
|---------------------------------|-----------------------|----------|-------------|--------------|---------|
| | Barro | Charanda | Tierra Cáfe | SPG | SSG |
| Arena (%) | 37.7 a | 32.6 a | 30.9 a | 35.2 a | 32.4 a |
| Arcilla (%) | 47.5 a | 41.1 a | 40.6 a | 43.1 a | 45.3 a |
| Ca (cmol(+) kg ⁻¹) | 52.2 a | 22.6 b | 23.2 b | 31.8 a | 44.9 a |
| CIC (cmol(+) kg ⁻¹) | 32.8 a | 25.1 b | 25.8 b | 27.8 a | 30.9 a |
| CE (dS m ⁻¹) | 0.84 a | 0.52 a | 0.94 a | 0.99 a | 0.58 a |
| DA (g cm ⁻³) | 1.71 a | 1.57 a | 1.56 a | 1.74 a | 1.51 b |
| K (mmol L ⁻¹) | 7.46 a | 5.92 a | 6.71 a | 7.15 a | 6.67 a |
| Mg (mmol L ⁻¹) | 88.2 a | 41.8 a | 55.9 a | 82.7 a | 50.9 b |
| MO (%) | 3.74 a | 5.78 a | 5.74 a | 4.3 b | 5.3 a |
| N (mg kg ⁻¹) | 2.31 a | 2.42 a | 2.6 a | 2.67 a | 2.11 a |
| Na (mmol L ⁻¹) | 4.95 a | 3.27 a | 4.35 a | 4.81 a | 3.99 a |
| P (mg kg ⁻¹) | 1.71 abx | 1.04 b | 2.75 a | 2.40 a | 1.36 b |
| pH | 7.82 a | 7.65 a | 7.73 a | 7.86 a | 7.70 a |
| PSA (%) | 141.9 a | 138.4 a | 146.9 a | 144.7 a | 140.8 a |

Letras diferentes p -value < 0.05 (Tukey), CTL = clase de tierra local; CIC = capacidad de intercambio catiónico; CE = conductividad eléctrica; DA = densidad aparente; MO = materia orgánica; PSA = porcentaje de humedad.

Different letters p -value < 0.05, LLC = local land class; CEC = cation exchange capacity; EC = electrical conductivity; BD = bulk density, OM = organic matter; HP = humidity percentage.

Cuadro 3. Matriz de saturaciones del análisis de componentes principales de las propiedades de las clases de tierra local.
Table 3. Matrix of saturations of the principal component analysis of the properties of the local land classes.

| | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP6 | CP7 |
|---------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| DE | 1.729 | 1.534 | 1.315 | 1.154 | 1.124 | 1.046 | 0.989 |
| PV | 0.214 | 0.168 | 0.124 | 0.095 | 0.090 | 0.078 | 0.070 |
| PA | 0.214 | 0.382 | 0.505 | 0.600 | 0.691 | 0.769 | 0.839 |
| Variable | | | | | | | |
| Arena (%) | -0.375 | | 0.376 | -0.327 | 0.133 | 0.15 | 0.181 |
| Arcilla (%) | 0.392 | | -0.409 | 0.176 | -0.167 | -0.17 | -0.196 |
| Ca (mmol L ⁻¹) | 0.291 | 0.226 | 0.128 | | 0.278 | -0.557 | 0.269 |
| CIC (cmol(+) kg ⁻¹) | 0.295 | 0.293 | 0.311 | -0.107 | 0.15 | -0.104 | 0.165 |
| CE (dS m ⁻¹) | -0.299 | 0.27 | -0.364 | | -0.192 | -0.2 | 0.385 |
| DA (g cm ⁻³) | 0.177 | 0.187 | | -0.449 | -0.186 | | -0.654 |
| K (mmol L ⁻¹) | | 0.413 | -0.199 | | 0.519 | 0.187 | |
| Mg (mmol L ⁻¹) | 0.152 | 0.265 | 0.17 | -0.157 | -0.571 | | 0.318 |
| MO (%) | -0.262 | 0.121 | | 0.647 | | | -0.196 |
| N (mg kg ⁻¹) | -0.285 | 0.312 | 0.269 | | | -0.229 | -0.285 |
| Na (mmol L ⁻¹) | | 0.393 | -0.349 | -0.188 | -0.118 | 0.42 | |
| P (mg kg ⁻¹) | -0.370 | 0.328 | -0.103 | | | -0.244 | -0.136 |
| pH | 0.310 | 0.191 | 0.113 | 0.139 | 0.254 | 0.47 | |
| PSA (%) | | 0.302 | 0.384 | 0.372 | -0.313 | 0.197 | |

CP = componente principal; DE = desviación estándar; PV = proporción de la varianza; PA = proporción acumulada de la varianza; CIC = capacidad de intercambio catiónico; CE = conductividad eléctrica; DA = densidad aparente; MO = materia orgánica; PSA = porcentaje humedad.

PC = principal component; SD = standard deviation; PV = proportion of the variance; CP = cumulative proportion of the variance; CEC = cation exchange capacity; EC = electrical conductivity; BD = bulk density; OM = organic matter; HP = humidity percentage.

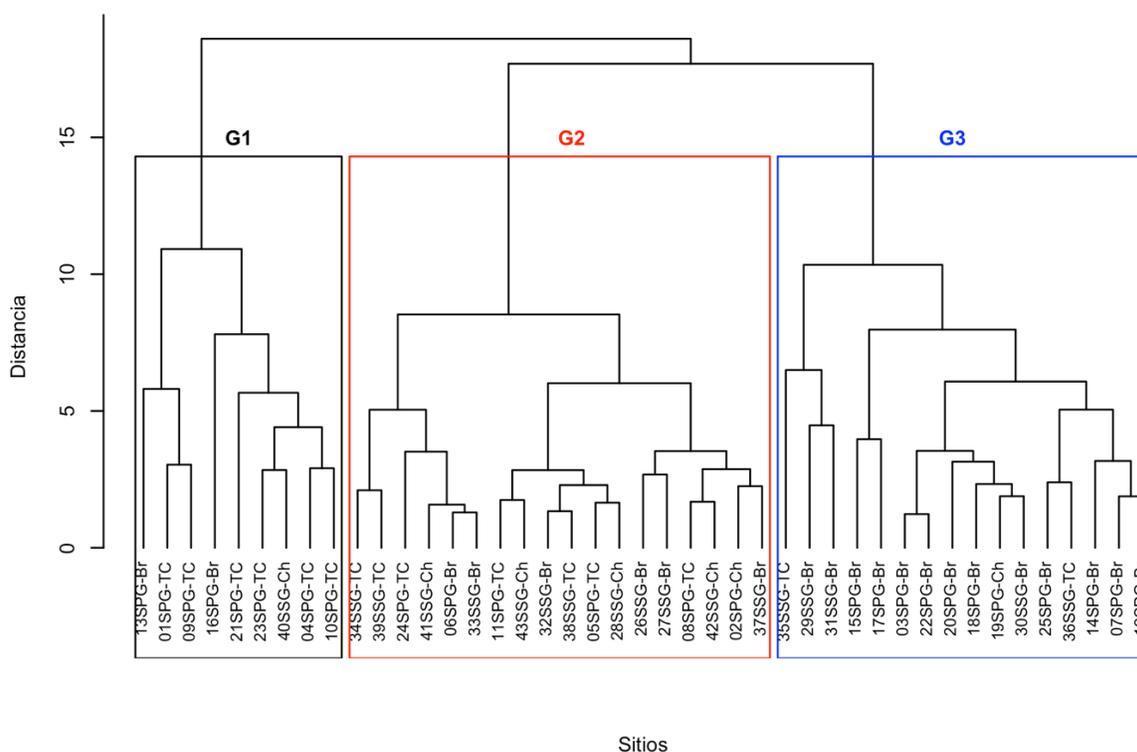


Figura 2. Dendrograma de los sitios de muestreo de las clases de tierra local.
Figure 2. Dendrogram of the sampling sites of the local soil classes.

El Cuadro 4 presenta las medias de las variables de suelos por grupo y la calidad del suelo. El G1 tuvo mayor contenido de calcio, fósforo y materia orgánica. El G2 tuvo los más bajos contenidos de calcio, densidad aparente, magnesio y fósforo. El G3 tuvo mayor capacidad de intercambio catiónico y densidad aparente. Los G1 y G3 son los que tienen mayor porcentaje de suelos con pastero de ganado, la diferencia es la clase de tierra local predominante en el grupo, para G1 fue la Tierra Café. Como se mencionó esta CTL se relaciona con los Leptosoles, los cuales por su limitado espesor y pedregosidad tienen bajo contenido de materia orgánica en comparación con otros suelos, porque la materia orgánica se concentra en la capa superficial lo que lo hace susceptible a erosión y pérdida (Kögel-Knabner y Amelung, 2021). Sin embargo, la Tierra Café, es la que se comúnmente se usa para la ganadería de acuerdo con los entrevistados. Aunque el uso es permanente ha conservado sus propiedades químicas de materia orgánica y fósforo que lo clasifican como de calidad aceptable (Cuadro 4). En Leptosoles con pastizales se ha encontrado una relación entre materia orgánica y minerales dentro de microregados lo cual hace que sean estables y conserven la materia orgánica (Wasak y Drewnik, 2015). Por lo contrario, en el G3 la clase de tierra Barro (Vertisoles) es la preponderante, como se mencionó esta solo se usa en época de estiaje, porque se dificulta su actividad en lluvias, esto se relaciona con la propiedad física de la densidad aparente que lo limita a calidad marginal. Estudios previos en Vertisoles han demostrado que el pastoreo aumenta la densidad aparente, además disminuye la infiltración debido a que los suelos son compactados como podría ser el caso de este estudio (Yáñez-Díaz *et al.*, 2019).

Los suelos se clasificaron de marginal a aceptable, lo cual tiene una asociación con el agrupamiento del análisis cluster, los suelos de G1 fueron de mayor calidad y los suelos de G3 fueron de menor calidad, lo que significa que los suelos de los primeros grupos presentaron el mayor puntaje de SUSS. Las clasificaciones técnicas como SUSS y multivariadas (análisis de componentes principales y clúster) se relacionan con el conocimiento de las clases de tierra local y el manejo del ganado por parte de los entrevistados. Esto significa que con el conocimiento local y científico llegan a conclusiones similares sobre las percepciones del suelo (Matuk *et al.*, 2017), en este caso la calidad del suelo. Como en el estudio de Brinkmann *et al.* (2018) los nombres locales del suelo pueden reflejar el nivel de fertilidad que se relaciona con su calidad.

Cuadro 4. Clasificación en función del subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS).
Table 4. Classification based on the sustainable land use subindex (SLUS).

| Grupo | Ca | CIC | DA | Mg | MO | P | SUSS | Calidad |
|-------|----------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|------|---------------------|------|-----------|
| | mmol L ⁻¹ | cmol(+) kg ⁻¹ | g cm ⁻³ | mmol L ⁻¹ | % | mg kg ⁻¹ | | |
| G1 | 60.5 | 25.7 | 1.65 | 60.5 | 7.45 | 4.24 | 0.80 | Aceptable |
| G2 | 32.1 | 26.8 | 1.43 | 48.5 | 5.30 | 1.33 | 0.70 | Sensible |
| G3 | 49.3 | 33.5 | 1.85 | 97.9 | 2.66 | 1.39 | 0.59 | Marginal |

Medias de las variables con diferencia p -value < 0.05 de la prueba de ANOVA. G1, G2 y G3 = Grupos generados de análisis cluster; CIC= capacidad de intercambio catiónico; DA = densidad aparente; MO = materia orgánica.

Mean values of variables with difference p -value < 0.05 from the Analysis of Variance (ANOVA) test. G1, G2 and G3 = groups generated from the cluster analysis; CEC = cation exchange capacity; BD = bulk density; OM = organic matter.

CONCLUSIONES

Los entrevistados reconocen tres clases de tierra local: Barro, Charanda y Tierra Café este conocimiento local define los usos que se le dan con el objetivo de reducir el impacto negativo en sus propiedades. Las variables que presentaron diferencia (p -value < 0.05) entre clases de tierra local, con y sin pastoreo fueron Ca, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, Mg, materia orgánica y P. El conocimiento local y científico coincido con la categorización de las clases de tierra local y se clasifican de marginal a aceptable. Aunque la Tierra Café es de uso permanente para el pastoreo, sigue conservando sus propiedades que la mantienen de calidad aceptable. Pero el puntaje del SUSS está en límite inferior (80) lo cual puede bajar a clase sensible.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Contactar autor para correspondencia.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIAMIENTO

Agradecemos a los Proyectos SIP20240817 y SIP20242238 por el financiamiento de la investigación.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: G.C.C., M.P.R.L. y P.P.R.C. Metodología: G.C.C. y P.P.R.C. Investigación: P.P.R.C. Escritura: preparación del borrador original: G.C.C. y J.T.S.G. Escritura: revisión y edición: G.C.C., J.T.S.G. y M.P.R.L.

AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

LITERATURA CITADA

- Abdalla, M., Hastings, A., Chadwick, D. R., Jones, D. L., Evans, C. D., Jones, M. B., ... & Smith, P. E. T. E. (2018). Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 62-81. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.023>
- 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.
- Arsham, H., & Lovric, M. (2011). *Bartlett's Test*. In Lovric, M. (Ed.). *International Encyclopedia of Statistical Science* (pp. 87-88). Heidelberg, Berlin, Germany: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2_132
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., 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>
- Brinkmann, K., Samuel, L., Peth, S., & Buerkert, A. (2018). Ethnopedological knowledge and soil classification in SW Madagascar. *Geoderma Regional*, 14, e00179.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2022). La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado 2. Consultado el 13 de enero, 2023, desde https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_michoacan2
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Ortiz-Solorio, C. A., Villaseñor, J. L., Ortiz, E., Silva, J. T., & Estrada-Godoy, F. (2014). Interpolation of Mexican soil properties at a scale of 1: 1 000 000. *Geoderma*, 213, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.014>
- Cruz-Cárdenas, G., Silva, J. T., Ochoa-Estrada, S., Estrada-Godoy, F., & Nava-Velázquez, J. (2017). Delineation of environmental units by multivariate techniques in the Duero River Watershed, Michoacán, Mexico. *Environmental Modeling & Assessment*, 22, 257-266. <https://doi.org/10.1007/s10666-016-9534-2>
- 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-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 <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1730>
- Dávila-Moreno, M. E. N. (2014). El surgimiento de la ganadería en la Ciénega de Chapala (Michoacán, México): El caso de la Hacienda Guaracha (siglos XVI-XIX). *HiSTOReLo. Revista de Historia Regional y Local*, 6(11), 185-219. <https://doi.org/10.15446/historelo.v6n11.37241>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). SoilEX - Soil related legal instruments and soil governance. All the legal instruments present on the platform have been obtained on the basis of FAOLEX and the EU Sol Wiki and validated by national experts to be relevant and up-to-date. Consultado el 13 de enero, 2023, desde <https://www.fao.org/soils-portal/soilex/soil-keywords/soil-quality/en/>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome, Italy: FAO. ISBN 978-92-5-107920-1
- Hao, Y., & He, Z. (2019). Effects of grazing patterns on grassland biomass and soil environments in China: A meta-analysis. *PLoS One*, 14(4), e0215223. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215223>
- Houlbrooke, D. J., & Laurenson, S. (2013). Effect of sheep and cattle treading damage on soil microporosity and soil water holding capacity. *Agricultural Water Management*, 121, 81-84. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.01.010>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2014). *Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. Aguascalientes, Aguascalientes, México: INEGI*
- Kyebogola, S., Burras, L. C., Miller, B. A., Semalulu, O., Yost, R. S., Tenywa, M. M., ... & Mazur, R. E. (2020). Comparing Uganda's indigenous soil classification system with World Reference Base and USDA Soil Taxonomy to predict soil productivity. *Geoderma Regional*, 22, e00296. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00296>
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, C. M., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The soils of Mexico*. New York, USA: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5660-1>
- Kögel-Knabner, I., & Amelung, W. (2021). Soil organic matter in major pedogenic soil groups. *Geoderma*, 384, 114785. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114785>
- Lastiri-Hernández, M. A., Cruz-Cárdenas, G., Álvarez-Bernal, D., Vázquez-Sánchez, M., & Bermúdez-Torres, K. (2020). Ecological niche modeling for halophyte species with possible anthropogenic use in agricultural saline soils. *Environmental Modeling & Assessment*, 25, 429-440. <https://doi.org/10.1007/s10666-020-09690-1>
- Machmuller, M. B., Kramer, M. G., Cyle, T. K., Hill, N., Hancock, D., & Thompson, A. (2015). Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter. *Nature Communications*, 6(1), 6995. <https://doi.org/10.1038/ncomms7995>
- Matuk, F. A., Schaefer, C. E. G. R., Simas, F. N. B., Pereira, T. T. C., Gjørup, D. F., & Coelho, F. M. G. (2017). Ethnopedology of a Quilombola Community in Minas Gerais: soils, landscape, and land evaluation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41, e0160223. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160223>
- Pulido-Secundino, J., & Bocco-Verdinelli, G. (2016). Conocimiento tradicional del paisaje en una comunidad indígena: caso de estudio en la región purépecha, occidente de México. *Investigaciones Geográficas*, 89, 41-57. <https://doi.org/10.14350/riig.45590>
- Ramos-Leal, J. A., Morán-Ramírez, J., Silva-García, J. T., Fuentes-Rivas, R. M., Cruz-Cárdenas, G., Ochoa-Estrada, S., & Estrada-Godoy, F. (2018). Identification of hydrogeochemical processes in a volcano-sedimentary aquifer of Ciénega de Chapala in Michoacán, Mexico. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3760-7>
- Regassa, A., Assen, M., Ali, A., & Gessesse, B. (2023). *Major Soil Types*. In S. Beyene, A. Regassa, B. B. Mishra, & M. Haile (Eds.). *The Soils of Ethiopia. World Soils Book Series* (pp 77-110). Cham, Switzerland: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17012-6_6
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2014). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo. Metodología de Cálculo*. México. Sinaloa, México: FAO-SAGARPA.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021 SEMARNAT-2000 antes NOM-021-RECNAT-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.

- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona, España: ICARIA.
- Torres-Guerrero, C. A., Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Ortiz-Solorio, C. A., & Gutiérrez-Castorena, E. V. (2016). Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 457-466.
- Torres, J., Gutiérrez, J. A., & Beltrán, H. A. (2017). Compactación, una de las causas más comunes de la degradación del suelo. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 3(3), 18-22. <https://doi.org/10.36436/24223484.225>
- USDA (United States Department of Agriculture). (2022). The importance of Soil. National Agricultural Library. Consultado el 13 de enero, 2023, desde <https://www.nal.usda.gov/natural-resources-conservation-environment/soil>
- Wang, Y., & Wesche, K. (2016). Vegetation and soil responses to livestock grazing in Central Asian grasslands: a review of Chinese literature. *Biodiversity and Conservation*, 25(12), 2401-2420. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-1034-1>
- Wasak, K., & Drewnik, M. (2015). Land use effects on soil organic carbon sequestration in calcareous Leptosols in former pastureland—a case study from the Tatra Mountains (Poland). *Solid Earth*, 6(4), 1103-1115.
- Wu, Y., Chen, D., Delgado-Baquerizo, M., Liu, S., Wang, B., Wu, J., ... & Bai, Y. (2022). Long-term regional evidence of the effects of livestock grazing on soil microbial community structure and functions in surface and deep soil layers. *Soil Biology and Biochemistry*, 168, 108629. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108629>
- Yáñez-Díaz, M. I., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Sánchez-Castillo, L. (2019). Effects of land use change and seasonal variation in the hydrophysical properties in Vertisols in northeastern Mexico. *Soil Use and Management*, 35(3), 378-387. <https://doi.org/10.1111/sum.12500>

ANEXO 1. Resultados de las pruebas normalidad y homocedasticidad de las propiedades de las clases de tierras local.
ANNEX 1. Results of the normality and homostability tests of the properties of the local land classes.

| Variable | Normalidad (Shapiro Wilk) | Homocedasticidad (Levene) |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Arena (%) | 0.441 | 0.418 |
| Arcilla (%) | 0.355 | 0.506 |
| Ca (mmol L ⁻¹) | 0.025 | 0.380 |
| CIC (cmol(+) kg ⁻¹) | 0.405 | 0.910 |
| CE (dS m ⁻¹) | <0.01 | 0.168 |
| DA (g cm ⁻³) | 0.080 | 0.302 |
| K (mmol L ⁻¹) | <0.01 | 0.386 |
| Mg (mmol L ⁻¹) | 0.441 | 0.389 |
| MO (%) | <0.01 | 0.619 |
| N (mg kg ⁻¹) | <0.01 | 0.901 |
| Na (mmol L ⁻¹) | 0.166 | 0.448 |
| P (mg kg ⁻¹) | <0.01 | 0.509 |
| pH | 0.391 | 0.414 |
| PSA (%) | 0.123 | 0.179 |

CIC = capacidad de intercambio catiónico; CE = conductividad eléctrica; DA = densidad aparente; MO = materia orgánica; PSA = porcentaje de humedad. Para ambas pruebas p -value < 0.05.

CEC = cation exchange capacity; EC = electrical conductivity, BD = bulk density; OM = organic matter; HP = humidity percentage. For both tests p -value < 0.05.

ANEXO 2. Parámetros edáficos. (SAGARPA, 2014).
ANNEX 2. Edaphic parameters. (SAGARPA, 2014).

| Variable | Rango o valor deseable | Valor de corte |
|---|------------------------|----------------|
| Ca ⁺ (mmol L ⁻¹) | >0.78 | 0.22 |
| CIC (cmol(+) kg ⁻¹) | >15 | 5 |
| DA (g cm ⁻³) | <1.1 | 1.47 |
| Mg ⁺ (mmol L ⁻¹) | >0.26 | 0.13 |
| MO (%) | >5.0 | 0.5 |
| P (mg kg ⁻¹) | >5.5 | 0 |

CIC= capacidad de intercambio catiónico; DA = densidad aparente; MO = materia orgánica. † Ajustado en función de los quintiles de los datos del estudio de Cruz-Cárdenas et al. (2014).

CEC= cation exchange capacity; BD = bulk density; OM = organic matter. † Adjusted based on the quintiles of the data from the study by Cruz-Cárdenas et al. (2014).