

© 2025 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 28: 1-8, 2025.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2025.745>

Calidad física y química del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México

Josué Isai Caamal-Catzin¹, Verónica Rosales-Martínez², Jaime Bautista-Ortega¹, Milton Carlos Soto-Barajas³ y Silvia Fraire-Cordero^{2*}

¹Ciencia Animal, Colegio de Postgraduados Campus Campeche, Carretera Haltunchén-Edzná Km 17.5, Sihochac, Champotón, 24450, Campeche, México, ²Investigadora por México-SECIHTI, Ciencia Animal, Colegio de Postgraduados Campus Campeche, Carretera Haltunchén-Edzná Km 17.5, Sihochac, Champotón, 24450, Campeche, México, ³Investigador por México-SECIHTI, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad # 3000, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México. E-mail: *frairec@colpos.mx

RESUMEN

Una de las varias ventajas de implementar sistemas silvopastoriles (SSP) es la protección del suelo, sin embargo, su impacto físico y químico aún requiere de más estudio. El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo en unidades de producción bovina, bajo manejo convencional y silvopastoril en los municipios de Escárcega y Champotón, del estado de Campeche, en México. Se recolectaron 64 muestras de suelo para determinar la textura, la materia orgánica (MO), el pH, la conductividad eléctrica (CE), el nitrógeno total (N), el fósforo total (P) y el potasio (K). Los suelos del estudio presentaron en su predominancia (92.3%) una consistencia arcillosa. La MO resultó mayor ($p \leq 0.05$) en los SSP ($3.3 \pm 0.2\%$) y en los suelos de Escárcega ($3.2 \pm 0.2\%$). El pH en Champotón se consideró adecuado, en rangos neutros ($p \leq 0.05$), (7.1 ± 0.07) a medianamente alcalino en Escárcega (7.6 ± 0.09). La CE se mantuvo baja ($p \leq 0.05$), ($0.05 \pm 2.5^{-03} \text{ dS m}^{-1}$), sin riesgos de salinidad. El P total se encontró en niveles mínimos, aunque mayor ($p \leq 0.05$) en los SSP ($1.06 \pm 0.07 \text{ mg kg}^{-1}$). El N total y el K fueron altos ($0.5 \pm 0.03\%$ y $650.2 \pm 46.8 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente), sin diferencias ($p > 0.05$). El manejo silvopastoril mejoró la calidad y fertilidad del suelo al aumentar la materia orgánica en 0.56% y el fósforo total en 0.23 mg kg^{-1} . Asimismo, se mantienen los valores de pH cercanos a la neutralidad y una conductividad eléctrica baja, condiciones que promueven una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Palabras clave: fertilidad del suelo, bovinos, agroforestería, trópico.

Physical and chemical soil quality in conventional and silvopastoral systems in Escárcega and Champotón, Campeche, Mexico

ABSTRACT

One of the many advantages of implementing silvopastoral systems (SSP) is soil protection; however, their physical and chemical impact still requires further study. The objective of this research was to evaluate the physical and chemical properties of the soil in cattle production units under conventional and silvopastoral management in the municipalities of Escarcega and Champotón, in the state of Campeche, Mexico. Sixty-four soil samples were collected to determine texture, organic matter (MO), pH, electrical conductivity (CE), total nitrogen (N), total phosphorus (P), and potassium (K). The soils in the study were predominantly clayey (92.3%). The MO was higher ($p \leq 0.05$) in the SSP ($3.3 \pm 0.2\%$) and Escarcega soils ($3.2 \pm 0.2\%$). The pH in Champotón was considered adequate, ranging from neutral ($p \leq 0.05$), (7.1 ± 0.07) to moderately alkaline in Escarcega (7.6 ± 0.09). The CE remained low ($p \leq 0.05$), ($0.05 \pm 2.5^{-03} \text{ dS m}^{-1}$), with no risk of salinity. Total P was found at minimal levels, although higher ($p \leq 0.05$) in SSP ($1.06 \pm 0.07 \text{ mg kg}^{-1}$). Total N and K were high ($0.5 \pm 0.03\%$ and $650.2 \pm 46.8 \text{ mg kg}^{-1}$, respectively), with no differences ($p > 0.05$). Silvopastoral management improved soil quality and fertility by increasing organic matter by 0.56% and total phosphorus by 0.23 mg kg^{-1} . Furthermore, pH values were maintained near neutrality and electrical conductivity low, conditions that promote greater nutrient availability for plants.

Keywords: soil fertility, cattle, agroforestry, tropics.

Artículo recibido el 03 de agosto del 2024.

Artículo aceptado el 13 de agosto del 2025.

INTRODUCCIÓN

En México, la ganadería es una de las actividades económicas que más generan fuentes de empleo, contribuye a la subsistencia y seguridad alimentaria de la población (Tullo, Finzi & Guarino, 2019). No obstante, el modelo predominante en la mayor parte del país está basado en un manejo convencional, de potreros extensivos, monocultivos de pastos y una sobrecarga animal (Nájera-Garduño, Piedras-Matias, Albarrán-Portillo & García-Martínez, 2016; Martínez-González, Castillo-Rodríguez, Villalobos-Cortés & Hernández-Meléndez, 2017). En el estado de Campeche, el manejo ganadero es similar al resto del país, con una baja presencia de árboles forrajeros como *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. y *Guazuma ulmifolia* Lam., y de forrajes de corte (*Pennisetum* spp.), adicional a un uso excesivo de agroquímicos (Alayón-Gamboa, Jiménez-Ferrer, Nahed-Toral & Villanueva, 2016), entre ellos los fertilizantes (fosfato diamónico y urea) y los herbicidas (glifosato) para el control de malezas en los potreros.

Debido a este manejo y a la falta de cobertura vegetal, el recurso suelo ha sufrido diversos daños como la erosión eólica e hídrica, representando esta última un problema grave, que impacta el 76 % del territorio nacional (Bolaños, Paz, Cruz, Argumedo, Romero & de la Cruz, 2016). También, la compactación del suelo ha contribuido a la disminución de su fertilidad, con un reducido contenido de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal (Acosta, Ibrahim & Pezo, 2014). De continuar con estas prácticas, el suelo colapsará a un estado de degradación severo con incapacidad para producir cultivos, pastos u otras formas de vegetación, al verse estos perjudicados en su desarrollo natural, por carecer el medio de un equilibrio entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Wang *et al.*, 2023).

Por esta razón, ha surgido la necesidad de desarrollar estrategias que solucionen los problemas de la ganadería y el uso del suelo. Es en este sentido, que se aprecia la utilidad de los sistemas silvopastoriles por combinar la producción de árboles y arbustos con el pastoreo de animales, acciones que han contribuido a la regeneración de tierras degradadas, con directa influencia en la estructura edáfica, contenido de materia orgánica y flujo de nutrientes (Chará *et al.*, 2015). No obstante, el impacto específico de estos sistemas en las propiedades físicas y químicas del suelo aún no está completamente comprendido por la intervención de una variedad de factores como el tipo de suelo, el clima, el manejo agronómico y la interacción con el ganado, lo que dificulta generalizar sus efectos.

Para avanzar en este conocimiento, es necesario continuar la investigación de las propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes sistemas, de forma particular en el estado de Campeche, por sus particulares características edáficas y climáticas. Los nuevos resultados permitirán con su aplicación

llevar a cabo un manejo sostenible de los recursos naturales en la región, y su conservación.

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación consistió en una evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo en unidades de producción bovina bajo manejo convencional y silvopastoril en los municipios de Escárcega y Champotón, del estado de Campeche, en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Esta investigación se realizó en las comunidades de Silvituc, Justicia Social, Adolfo López Mateos y Centenario en el municipio de Escárcega [Ubicadas entre los 18°10' y 19°00' de latitud N y 90°02' y 91°00' longitud O (INEGI, 2010a)] y en las comunidades Felipe Carrillo Puerto y Yohaltún en el municipio de Champotón del estado de Campeche, México, entre los 18°34' y 19°42' latitud N y 89°54' y 91°12' longitud O (INEGI, 2010b), (Figura 1).

Población objetivo

Se seleccionaron 32 productores ganaderos de bovinos para carne en los municipios de Escárcega (n=12) y Champotón (n=20), en el estado de Campeche, México (Figura 1). La selección de productores se hizo con base en las recomendaciones de las organizaciones Pronatura Península de Yucatán, A. C., y Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles (BioPaSOS), basadas en su experiencia y participación en los proyectos, de desarrollo sostenible en la ganadería, implementados en el estado de Campeche.

Cada unidad de producción incluyó áreas de manejo bajo sistemas convencionales y silvopastoriles, lo que permitió comparar ambos dentro de una misma unidad ganadera.

Muestras y análisis de suelo

Se realizó el levantamiento de 64 muestras compuestas de suelo, para ello, en cada unidad de producción se tomaron dos muestras compuestas: una de un área definida como convencional y la otra de un sistema silvopastoril. Se consideraron áreas convencionales aquellas en las que el ganado se alimentaba exclusivamente de los pastos de un monocultivo extensivo, y, silvopastoril donde además de haber cultivo de pastos existía una presencia mínima de 45 árboles forrajeros ha⁻¹, distribuidos de manera aleatoria bajo el arreglo de árboles dispersos en potrero y con diámetros mayores a 10 cm (Martínez-Encino, Villanueva-López & Casanova-Lugo, 2013).

Las muestras de suelo se recolectaron con base en la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Por lo que se consideraron para el estudio áreas de muestreo de 5 000 m² para cada tipo de manejo, en donde en forma de zig-zag se tomaron 10 submuestras

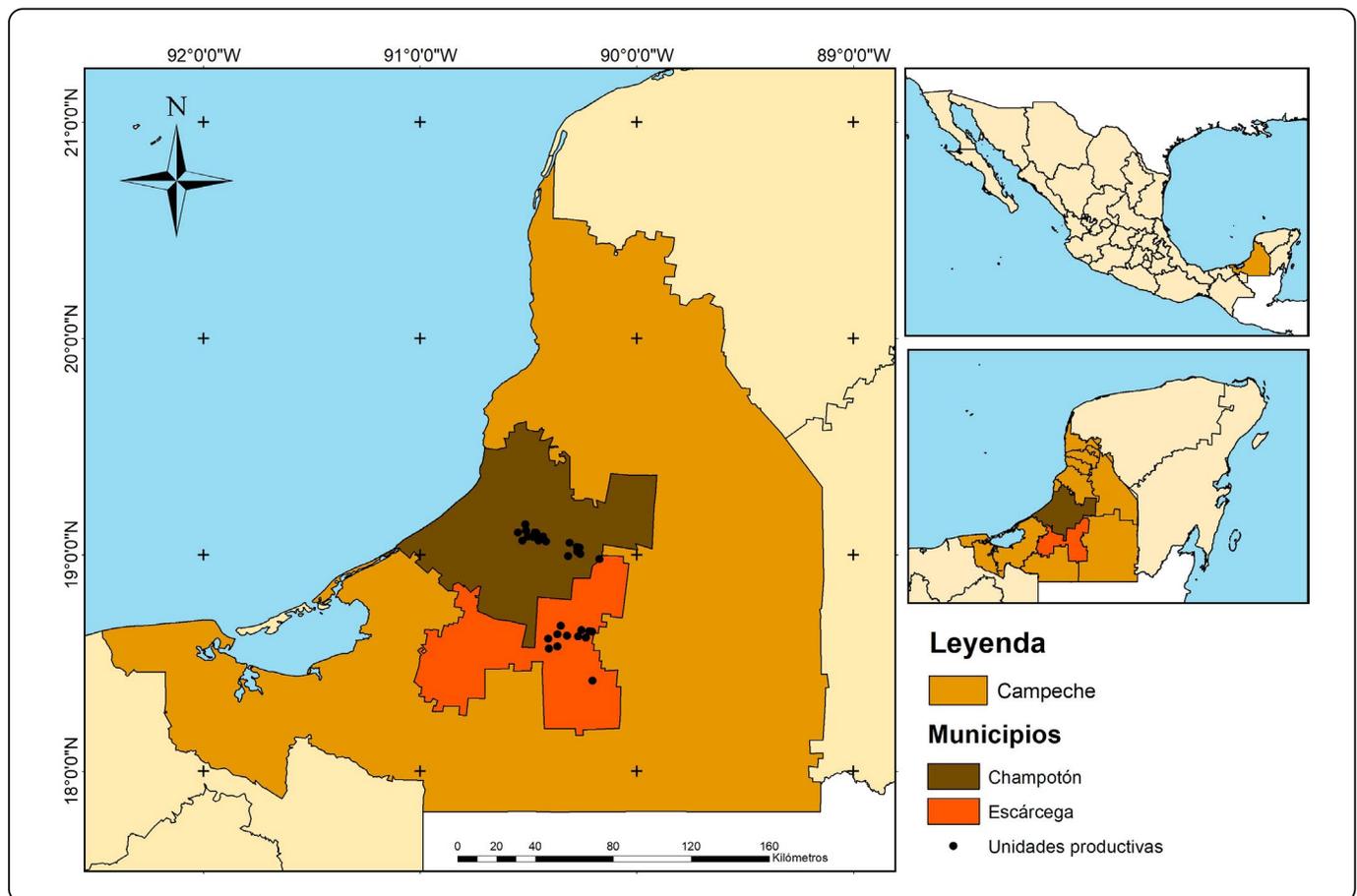


Figura 1. Localización geográfica de las unidades de producción bovina dentro de los municipios de Escárcega y Champotón, Campeche, México.

de suelo a una profundidad de 0 - 20 cm con la ayuda de una pala recta. Las submuestras recolectadas se mezclaron para obtener una masa homogénea de un kilogramo que se etiquetó con la información del productor y la relevante del predio, esta se almacenó para su posterior análisis en el laboratorio.

En el laboratorio de Ciencia Animal del Colegio de Postgraduados Campus Campeche, las masas homogéneas de suelo se extendieron en papel estroza para retirar restos de vegetales y de piedras pequeñas, se dejaron secar con aire frío a temperatura de 24 °C por tres días hasta contar con una humedad menor al 10 %. Una vez secas, se hicieron pasar por un tamiz número 10 con abertura de 2 mm de diámetro.

Posteriormente, las muestras fueron expuestas a un análisis físico y químico. El análisis físico incluyó la determinación de la textura del suelo y el análisis químico, la materia orgánica (MO), el pH, la conductividad eléctrica (CE), el nitrógeno total (N), el fósforo total (P) y el potasio (K). Los análisis se hicieron en dos instituciones: **i)** la mayoría en el Laboratorio de Suelo, Agua y Planta del Colegio de Postgraduados Campus Campeche,

Campeche, México; **ii)** los de N y K en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.

Los análisis se hicieron con base en las técnicas establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Las metodologías aplicadas fueron para: **i)** la determinación de la textura con el método AS-09 y el procedimiento de Bouyoucos; **ii)** la medición de pH con el método AS-02 y un potenciómetro en una relación suelo: agua de 1:2 (m/v); **iii)** el análisis de N total con el método AS-25 y digestión húmeda; **iv)** la medición de CE con un conductímetro y el método AS-18; **v)** la cuantificación de MO con el método AS-07 de digestión húmeda a través del procedimiento de Walkley y Black; **vi)** la determinación de P por el método AS-10 de Olsen y **vii)** el análisis de K extraído con acetato de amonio con el método AS-12.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con arreglo factorial 2², considerando dos factores: sitio (Factor A)

y tipo de manejo (Factor B), cada uno con dos niveles. Para el Factor A, los niveles: Escárcega (A₁) y Champotón (A₂), y para el Factor B, los niveles: convencional (B₁) y silvopastoril (B₂); más el análisis de sus interacciones A₁B₁, A₂B₁, A₁B₂ y A₂B₂.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y uso de la rutina PROC GML. Se compararon las medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$. En todos los análisis estadísticos se utilizó el programa SAS/STAT (2002).

RESULTADOS

Textura

En los suelos evaluados, la textura fue arcillosa y la de mayor proporción en un 92.3% de los casos (Cuadro I). No obstante, en menor porcentaje (< 10%) se identificaron suelos francos, arcillo-arenosos y franco-arenosos.

Materia orgánica

Se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) entre los sitios, el tipo de manejo y su interacción (Cuadro II). Los suelos del sitio de Escárcega y los manejados bajo sistemas silvopastoriles presentaron mayores contenidos de MO en comparación con el sitio de Champotón y los sistemas convencionales. De acuerdo con los parámetros establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000, los suelos evaluados presentaron un contenido de MO clasificado como medio.

pH

Los valores de pH en los suelos de los dos sitios fueron diferentes ($p \leq 0.05$) y la interacción sitio*tipo de manejo, no así para el tipo de manejo utilizado ($p > 0.05$), (Cuadro III). Los suelos del sitio de Champotón se definieron como neutros y los de Escárcega medianamente alcalinos, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000.

Cuadro I. Clase textural del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México.

Sitio	Manejo	Presencia (%)	Clase textural
Escárcega	Convencional	92.0	Arcilloso
		8.0	Franco
	Silvopastoril	92.0	Arcilloso
		8.0	Arcillo arenoso
Champotón	Convencional	90.0	Arcilloso
		10.0	Arcillo arenoso
	Silvopastoril	95.0	Arcilloso
		5.0	Franco arenoso

Cuadro II. Materia orgánica (%) del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México.

Manejo	Escárcega	Champotón	Efecto del manejo
Convencional	2.90 ± 0.40 a	2.72 ± 0.31 a	2.81 ± 0.26 A
Silvopastoril	3.54 ± 0.40 b	3.19 ± 0.31 b	3.37 ± 0.26 B
Efecto del sitio	3.22 ± 0.29 X	2.95 ± 0.22 Y	

^{a, b}. Medias (± EE) con distintas literales son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{A, B} Medias (± EE) con distintas literales en columna son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{X, Y} Medias (± EE) con distintas literales en fila son diferentes ($p \leq 0.05$).

Cuadro III. pH del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México.

Manejo	Escárcega	Champotón	Efecto del manejo
Convencional	7.69 ± 0.13 a	7.10 ± 0.10 b	7.39 ± 0.08 A
Silvopastoril	7.61 ± 0.13 a	7.09 ± 0.10 b	7.35 ± 0.08 A
Efecto del sitio	7.65 ± 0.09 X	7.10 ± 0.07 Y	

^{a, b}. Medias (± EE) con distintas literales son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{A, B} Medias (± EE) con distintas literales en columna son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{X, Y} Medias (± EE) con distintas literales en fila son diferentes ($p \leq 0.05$).

Conductividad eléctrica

Los niveles de CE en los suelos de sistemas ganaderos no representan un problema de salinidad, ya que su clasificación es de “muy bajos” acorde a la NOM-021-RECNAT-2000, se registró un promedio de 0.05 ± 2.5^{-03} dS m⁻¹. Los suelos del sitio de Champotón, en particular en las áreas con manejo convencional (Cuadro IV), presentaron los valores “más bajos” ($p \leq 0.05$). Sin encontrarse diferencias ($p > 0.05$) en el tipo de manejo evaluado.

Nitrógeno total

El contenido promedio de nitrógeno total fue de 0.5 ± 0.03 %, sin diferencias ($p > 0.05$) entre los factores estudiados (Cuadro V). Los valores se tipificaron como “muy altos” en la NOM-021-RECNAT-2000.

Fósforo total

Los suelos bajo un manejo silvopastoril presentaron un mayor ($p \leq 0.05$) contenido de fósforo total en comparación con los de un manejo convencional (Cuadro VI). No obstante, no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre los sitios, ni en

la interacción de los factores evaluados. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, el contenido de fósforo en los suelos analizados se clasificó como “muy bajo”.

Potasio

Las cantidades de potasio en los suelos de los sistemas ganaderos de ambos sitios fue “alto” de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, con un promedio general de 650.25 ± 46.8 mg kg⁻¹. No se detectaron diferencias ($p > 0.05$) entre los factores evaluados (Cuadro VII).

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que la textura del suelo es arcillosa con predominio en las unidades de producción, aunque es una característica intrínseca y no modificable, su influencia en los aspectos productivos es significativa (Xia, Rufty & Shi, 2020). León, Bonifaz & Gutiérrez (2018) destacan que los suelos arcillosos al tener una mayor capacidad para almacenar agua y nutrientes, los convierte en un suelo favorable para las actividades pecuarias. Sin embargo, su susceptibilidad al encharcamiento varía al

Cuadro IV. Conductividad eléctrica (dS m⁻¹) del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México.

Manejo	Escárcega	Champotón	Efecto del manejo
Convencional	0.06 ± 2.8^{-03} a	0.04 ± 4.3^{-03} b	0.05 ± 3.5^{-03} A
Silvopastoril	0.05 ± 2.8^{-03} ab	0.05 ± 4.3^{-03} ab	0.05 ± 3.5^{-03} A
Efecto del sitio	0.06 ± 3.9^{-03} X	0.04 ± 3.0^{-03} Y	

^{a, b}. Medias (\pm EE) con distintas literales son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{A, B}. Medias (\pm EE) con distintas literales en columna son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{X, Y}. Medias (\pm EE) con distintas literales en fila son diferentes ($p \leq 0.05$).

Cuadro V. Nitrógeno total (%) del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México.

Manejo	Escárcega	Champotón	Efecto del manejo
Convencional	0.48 ± 0.06 a	0.48 ± 0.05 a	0.48 ± 0.04 A
Silvopastoril	0.57 ± 0.06 a	0.49 ± 0.05 a	0.53 ± 0.04 A
Efecto del sitio	0.53 ± 0.04 X	0.48 ± 0.03 X	

^{a, b}. Medias (\pm EE) con distintas literales son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{A, B}. Medias (\pm EE) con distintas literales en columna son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{X, Y}. Medias (\pm EE) con distintas literales en fila son diferentes ($p \leq 0.05$).

Cuadro VI. Fósforo total (mg kg⁻¹) del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México.

Manejo	Escárcega	Champotón	Efecto del manejo
Convencional	0.80 ± 0.11 a	0.86 ± 0.09 a	0.83 ± 0.7 A
Silvopastoril	1.05 ± 0.11 a	1.08 ± 0.09 a	1.06 ± 0.7 B
Efecto del sitio	0.92 ± 0.08 X	0.97 ± 0.06 X	

^{a, b}. Medias (\pm EE) con distintas literales son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{A, B}. Medias (\pm EE) con distintas literales en columna son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{X, Y}. Medias (\pm EE) con distintas literales en fila son diferentes ($p \leq 0.05$).

Cuadro VII. Potasio (mg kg⁻¹) del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México.

Manejo	Escárcega	Champotón	Efecto del manejo
Convencional	506.3 ± 107.7 a	681.7 ± 83.4 a	594.0 ± 68.1 A
Silvopastoril	581.9 ± 107.7 a	746.2 ± 83.4 a	664.0 ± 68.1 A
Efecto del sitio	544.1 ± 76.1 X	713.9 ± 58.9 X	

^{a, b}. Medias (± EE) con distintas literales son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{A, B}. Medias (± EE) con distintas literales en columna son diferentes ($p \leq 0.05$). ^{X, Y}. Medias (± EE) con distintas literales en fila son diferentes ($p \leq 0.05$).

depender del porcentaje de arcilla presente en los horizontes del suelo, del relieve y del tipo de forraje establecido.

Estos factores influyen en la magnitud del riesgo y en las estrategias de manejo requeridas. Por ello, en los casos donde el encharcamiento represente un problema, es fundamental evaluar las condiciones del terreno para implementar un sistema de drenaje adecuado como el uso de zanjas, canales, camellones o drenes, que permitan la evacuación rápida del exceso de agua, mitiguen estos riesgos y se optimice la productividad pecuaria en suelos arcillosos.

La materia orgánica es un componente que determina la productividad del suelo, es una fuente principal de nutrientes, mejora la retención de la humedad y proporciona una liberación gradual del nitrógeno (Trinidad-Santos & Velasco-Velasco, 2016). Si la principal productora de esta materia en los suelos es la biomasa viviente, incluidas plantas, animales y microorganismos (Gálvez-Cerón, Reina-López & Meneses-Estrada, 2016), es posible atribuir una mayor presencia de esta en los sistemas silvopastoriles a la abundancia de la materia vegetal proporcionada por los árboles, en contraste con el manejo convencional, que carece de ellos y muestra menores niveles de su presencia. De forma similar Escobar, Navas-Panadero, Medina, Corrales-Álvarez, Tenjo & Borrás-Sandoval (2020) mencionan que los suelos manejados bajo SSP tienen un mayor contenido de materia orgánica (9.7 %) en comparación con los de los sistemas abiertos de pastizal (8.6 %), por lo que destacan su importancia en las unidades de producción para incrementarla.

Además, la presencia de arcillas expandibles características del tipo de suelo evaluado, son importantes por su capacidad de expansión y contracción en respuesta a los cambios en la humedad, lo que favorece la formación de fisuras que mejoran la aireación y la infiltración del agua (Utkarsh, 2024). Este proceso facilita la descomposición de la hojarasca acumulada en la superficie, lo que a su vez incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo, optimiza su fertilidad y capacidad de retención de nutrientes.

Respecto al pH del suelo, osciló entre niveles medianamente alcalinos a neutros en los sitios evaluados (Cuadro III), esta

respuesta puede estar influenciada por el material parental del que se formó inicialmente. En estos lugares, predominan los suelos Leptosoles y Vertisoles, ambos de origen calcáreo (Palma-López *et al.*, 2017), con presencia de carbonato de calcio, que actúa como un agente neutralizante, lo que explicaría la tendencia hacia valores de pH cercanos a la neutralidad.

En adición, el pH del suelo está influenciado por las prácticas agropecuarias, como la aplicación de enmiendas basadas en carbonatos de calcio y magnesio, por lo que se eleva el pH al neutralizar a los iones H⁺ en la solución del suelo. Sumado a la descomposición del estiércol del ganado, que libera compuestos con un efecto amortiguador y estabilizador del pH en el tiempo.

De esta manera, el tener suelos con un pH que tiende a la neutralidad es benéfico, ya que la mayoría de los nutrientes son de fácil asimilación por las plantas y mejora su calidad nutritiva.

La conductividad eléctrica del suelo es un indicador clave de su salinidad, lo ideal es que el nivel lo mantengan por debajo de los 2 dS m⁻¹ (Cremona & Enríquez, 2020). En el material edáfico evaluado, el valor promedio general fue de 0.05 dS m⁻¹, significativo de que estas sales no representan un problema para la disponibilidad y la absorción de nutrientes por las plantas. Estos resultados son similares a los encontrados por Vásquez, Valqui, Bobadilla, Arbizu, Alegre & Maicelo (2021) quienes reportan 0.09 ± 0.07 dS m⁻¹ a una profundidad de 30 cm en áreas con sistemas silvopastoriles, sin embargo, difieren a los de Cantú, Díaz, Yáñez, González & Martínez (2018) que obtuvieron valores de 0.256 dS·m⁻¹ de CE en áreas de pastizal y suelos franco-limosos de México.

En los suelos evaluados se obtuvieron concentraciones similares de nitrógeno total, lo que favorece a los pastos disponer de este nutriente porque al absorberlo mejora su calidad nutricional y, en consecuencia, a la alimentación del ganado. La fertilización sintética, predominante a base de urea como fuente de nitrógeno inorgánico (Cerón-Rincón & Aristizábal-Gutiérrez, 2012), es una práctica común en las unidades de producción evaluadas, lo que explicaría los niveles de nitrógeno detectados en los suelos.

Sin embargo, los sistemas silvopastoriles también aportan nitrógeno a través de la descomposición de la materia vegetal

y a la presencia de leguminosas (Llamas & Acedo, 2018) que se asocian con bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium* (Apolinário *et al.*, 2015), lo que permite la conversión del nitrógeno atmosférico para utilidad de las plantas y la fertilidad del suelo sin la necesidad de fertilizantes sintéticos.

Los niveles bajos en fósforo del suelo se deben a la escasez del nutriente en la mayoría de ellos (Saynes-Santillán, Turrent-Fernández & Etchevers-Barra, 2019). Su presencia está influenciada por factores climáticos, y su deficiencia es más notoria en las regiones húmedas de las zonas tropicales (Tisdale, Nelson, Beaton & Havlin, 1993), entre ellas el estado de Campeche.

A pesar de una carestía de fósforo en suelos tropicales, la implementación de los sistemas silvopastoriles ayudó a incrementarlo. En estos sistemas, la mayor acumulación de materia vegetal, que se transforma en orgánica, es lo que parece ser un factor clave para la solución del problema, en comparación con los sistemas convencionales (Moreno-Galván *et al.*, 2023; Tapia-Coronado, Contreras, Martínez-Atencia, López & Rodríguez, 2023).

Los niveles elevados de potasio, aunque no son tóxicos para los pastos, son responsables de bloquear a los nutrientes calcio y magnesio, ya que los niveles adecuados de potasio asimilable oscilan entre 150 y 250 mg kg⁻¹. Sin embargo, el potasio no presenta problemas de insuficiencia en los suelos porque, en general, la abundancia de otros minerales con los que comparte el medio y la arcilla favorecen su retención (Ticona-Quispe, 2018).

CONCLUSIONES

El manejo o sistema silvopastoril aporta calidad y fertilidad al suelo, comparado con lo que sucede en el manejo o sistema convencional, en cuanto a unidades de producción bovina, hubo un aumento de la materia orgánica en 0.56 % y el fósforo total en 0.23 mg kg⁻¹. Asimismo, mantiene valores de pH cercanos a la neutralidad y una conductividad eléctrica baja, condiciones que promueven una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas y ayuda a la conservación del ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Colegio de Postgraduados el financiamiento para esta investigación a través del proyecto titulado “Sistemas silvopastoriles como práctica sostenible en la ganadería de Campeche: manejo y fertilidad del suelo”, dentro de la convocatoria 2023-2024, respecto a la identificación de acciones para la adaptación y mitigación al cambio climático y reducción de la huella hídrica. Así como al proyecto de la SECIHTI 7096 “Fortalecimiento de la ganadería sostenible en el estado de Campeche a través de prácticas agroecológicas y sistemas silvopastoriles”.

REFERENCIAS

- Acosta, A., Ibrahim, M. & Pezo, D. (2014). Hacia un desarrollo ganadero climáticamente inteligente. Acosta, A. y Díaz, T. (Eds.). *Lineamientos de Política para el Desarrollo Sostenible del Sector Ganadero*. Oficina Subregional de la FAO para Mesoamérica. Panamá. Pp. 23-35. E-ISBN 978-92-5-308325-1
- Alayón-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J. & Villanueva, G. (2016). Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *Agro Productividad*, **9(9)**, 10-15. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/809>
- Apolinário, V. X. O., Dubeux, J. C. B., Lira, M. A., Ferreira, R. L. C., Mello, A. C. L., Santos, M. V. F., Sampaio, E. V. S. B. & Muir, J. P. (2015). Tree legumes provide marketable wood and add nitrogen in warm climate silvopasture systems. *Agronomy Journal*, **107**, 1915-1921. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0624>
- Bolaños, G. M. A., Paz, P. F., Cruz, G. C. O., Argumedo, E. J. A., Romero, B. V. M. & de la Cruz, C. J. C. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana*, **34(3)**, 271-288. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300271&lng=es&tlng=es
- Cantú, S. I., Díaz, G. K. E., Yáñez, D. M. I., González, R. H. & Martínez, S. R. A. (2018). Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, **9(49)**, 59-86. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.153>
- Cerón-Rincón, L. E. & Aristizábal-Gutiérrez, F. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, **14(1)**, 285-295. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>
- Chará, J., Camargo, J. C., Calle, Z., Bueno, L., Murgueitio, E., Arias, L., Dossman, M. & Molina, E. J. (2015). Servicios ambientales de sistemas silvopastoriles intensivos: mejoramiento del suelo y restauración ecológica. Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. & Beatriz, E. (Eds.). *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV. Pp. 331-339.
- Cremona, M. V. & Enríquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: el pH y la conductividad eléctrica. *Presencia*, **31(73)**, 5-8. <https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf>
- Escobar, M. I., Navas-Panadero, A., Medina, C. A., Corrales-Álvarez, J. D., Tenjo, A. I. & Borrás-Sandoval, L. M. (2020). Efecto de prácticas agroecológicas sobre las características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico colombiano. *Livestock Research*

- for Rural Development, **32(4)**, 1-23. <http://www.lrrd.org/lrrd32/4/maria.es32058.html>
- Gálvez-Cerón, A. L., Reina-López, A. M. & Meneses-Estrada, E. V. (2016). Cuantificación de macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril y uno convencional en bosque seco. *Revista Investigación Pecuaria*, **4(2)**, 13-25. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/2564/3543>
- INEGI. (2010a). Compendio de información geográfica municipal 2010. Escárcega, Campeche 2010. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/04/04009.pdf. (Consultado el 28 de noviembre de 2024).
- INEGI. (2010b). Compendio de información geográfica municipal 2010. Champotón, Campeche 2010. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/04/04004.pdf. (Consultado el 28 de noviembre de 2024).
- León, R., Bonifaz, N. & Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador. Siembra y producción de pasturas*. Quito, Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala. 622 p.
- Llamas, F. & Acedo, C. (2018). Las leguminosas (Leguminosae o Fabaceae): una síntesis de las clasificaciones, taxonomía y filogenia de la familia a lo largo del tiempo. *AmbioCiencias*, **14**, 5-18. <https://doi.org/10.18002/ambioc.v0i14.5542>
- Martínez-Encino, C., Villanueva-López, G. & Casanova-Lugo, F. (2013). Densidad y composición de árboles dispersos en potreros en la sierra de Tabasco, México. *Agrociencia*, **47(5)**, 483-496. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000500006&lng=es&tlng=es.
- Martínez-González, J. C., Castillo-Rodríguez, S. P., Villalobos-Cortés, A. & Hernández-Meléndez, J. (2017). Sistemas de producción con rumiantes en México. *Ciencia Agropecuaria*, **26**, 132-152. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/78>
- Moreno-Galván, A. E., Romero-Perdomo, F., Pardo-Díaz, S., Dávila-Mora, L. L., Castro-Rincón, E., Rojas-Tapias, D. F. & Estrada-Bonilla, G. A. (2023). Long-term implementation of a silvopastoral system enhances soil P availability and bacterial diversity. *Geoderma*, **433**, 116459. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116458>
- Nájera-Garduño, A. de L., Piedra-Matias, R., Albarrán-Portillo, B. & García-Martínez, A. (2016). Cambios en la ganadería doble propósito en el trópico seco del Estado de México. *Agrociencia*, **50(6)**, 701-710. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000600701&lng=es&tlng=es.
- Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Morales-Garduza, M. A., López-Castañeda, A., Shirma-Torres, E. D., Sánchez-Hernández, R., Peña-Peña, A. J. & Tinal-Ortiz, S. (2017). Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agro Productividad*, **10(12)**, 71-78. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/40/33>
- SAS, Institute (Business Analytics software). (2002). SAS/STAT® 9.9 user's guide. SAS Institute Cary, North Carolina.
- Saynes-Santillán, V., Turrent-Fernández, A. & Etchevers-Barra, J. (2019). Fertilización sostenible con nitrógeno y fósforo en México. *Elementos para Políticas Públicas*, **3(3)**, 275-290. <https://www.elementospolipub.org/ojs/index.php/ep/article/view/35/33>
- SEMARNAT. (2002). NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Tapia-Coronado, J. J., Contreras, J., Martínez-Atencia, J., López, L. & Rodríguez, J. L. (2023). Producción y descomposición de hojarasca de especies forestales en sistemas silvopastoriles, Valle del Sinú, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, **34(1)**, 49781. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.49781>.
- Ticona-Quispe, C. (2018). Análisis comparativo de macronutrientes NPK y Materia Orgánica en suelos de la Estación Experimental de Sapecho Alto Beni. *Athapi*, **4(2)**, 1089-1096. <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/241>
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D. & Havlin, J. H. (1993). Soil fertility and fertilizers. 5th Ed. Macmillan. New York. 390 p.
- Trinidad-Santos, A. & Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro Productividad*, **9(8)**, 52-58. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802>
- Tullo, E., Finzi, A. & Guarino, M. (2019). Review: environmental impact of livestock farming and precision livestock farming as a mitigation strategy. *Science of The Total Environment*, **650(2)**, 2751-2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>.
- Utkarsh, P. K. J. (2024). Enhancing the properties of swelling soils with lime, fly, ash, and expanded polystyrene – A Review. *Heliyon*, **10**, e32908. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32908>
- Vásquez, H. V., Valqui, L., Bobadilla, L. G., Arbizu, C. I., Alegre, J. C. & Maicelo, L. C. (2021). Influence of arboreal components on the physical-chemical characteristics of the soil under four silvopastoral systems in northeastern Peru. *Heliyon*, **7**, e07725. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07725>
- Wang, J., Zhen, J., Hu, W., Chen, S., Lizaga, I., Zeraatpisheh, M. & Yang, X. (2023). Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, **45**, 429-454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>.
- Xia, Q., Rufty, T. & Shi, W. (2020). Soil microbial diversity and composition: Links to soil texture and associated properties. *Soil Biology and Biochemistry*, **149**, 107953. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107953>