

Prácticas de manejo y propiedades edáficas en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Campeche

Management practices and soil properties in agricultural and livestock systems in Xculoc, Campeche

Cynthia Guadalupe López-Delgado¹ , Silvia Fraire-Cordero^{2*} , Carolina Flota-Bañuelos² ,
Verónica Rosales-Martínez² , Alejandro García-Salas³ , Milton Carlos Soto-Barajas⁴ 

¹Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná, km 17.5, CP. 24450. Sihochac, Champotón, Campeche, México.

²Investigadora por México-Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná, km 17.5, CP. 24450. Sihochac, Champotón, Campeche, México.

³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro, 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

⁴Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad, 3000, CP. 04510. Coyoacán, Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia: frairec@colpos.mx

Artículo científico

Recibido: 15 de noviembre 2025

Aceptado: 14 de octubre 2026

RESUMEN. Se evaluó la asociación entre prácticas de manejo y propiedades edáficas en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Campeche. Se encuestó a 22 productores por sistema y se muestrearon suelos para analizar pH, materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), conductividad eléctrica (CE) y textura. Se realizaron pruebas *t* de Student, exactas de Fisher y correlaciones punto-biserial. En sistemas agrícolas (SA) predominaron el rastreo y la fertilización química; en los pecuarios (SP), el control químico de arvenses y la limpieza manual. La fertilización se basó en fosfato diamónico (DAP), urea y Triple 16. Como prácticas agroecológicas destacaron el uso de rastrojos, rotación de potreros y las arboledas. Los suelos fueron arcillosos (66%). El P fue bajo, aunque mayor en SA (7.44 mg kg⁻¹) que en SP (3.36 mg kg⁻¹); el pH fue neutro en SA y medianamente alcalino en SP. En ambos sistemas, N y K fueron altos, MO y CO medios y CE baja. En SA, el rastreo y Triple 16 se asociaron positivamente con N; DAP, con arena, CO y MO. En SP, el control químico de arvenses se correlacionó positivamente con N y pH; las arboledas, negativamente con limo, K y CE; y la urea, negativamente con arcilla y positivamente con arena. Los sistemas mostraron alta dependencia de insumos químicos, aunque incorporaron prácticas agroecológicas. Las asociaciones significativas involucraron el rastreo, la fertilización química, el control de arvenses y las arboledas, mientras que el P constituyó una limitante de la fertilidad del suelo.

Palabras clave: Agricultura, fertilidad del suelo, manejo del suelo, prácticas agroecológicas.

ABSTRACT. The relationship between management practices and soil properties was evaluated in agricultural and livestock systems in Xculoc, Campeche, Mexico. Twenty-two producers from each system were surveyed, and soils were sampled to analyze pH, organic matter (OM), organic carbon (OC), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), electrical conductivity (EC), and texture. Student's *t*-tests, Fisher's exact tests, and point-biserial correlations were performed. Disk harrowing and chemical fertilization predominated in agricultural systems (AS), whereas chemical weed control and manual weeding were more common in livestock systems (LS). Fertilization was based on diammonium phosphate (DAP), urea, and Triple-16 fertilizer. The main agroecological practices included the use of crop residues, rotation of pasture, and the presence of tree stands. Clayey textures occurred of the soils (66%). P levels were low, although higher in AS (7.44 mg kg⁻¹) than in LS (3.36 mg kg⁻¹); soil pH was neutral in AS and moderately alkaline in LS. Both systems had high levels of N and K, moderate of OM and OC, and low levels of EC. In AS, disk harrowing and Triple-16 fertilizer positively associated with N, whereas DAP positively associated with sand, OC, and OM. In LS, chemical weed control was positively correlated with N and pH; tree stands were negatively correlated with silt, K, and EC; and urea was negatively correlated with clay but positively correlated with sand. Both systems were highly dependent on chemical inputs, although they also included agroecological practices. Disk harrowing, chemical fertilization, weed control, and tree stands had significant associations, while P was identified as a limiting factor for soil fertility.

Keywords: Agriculture, agroecological practices, soil fertility, soil management.

Como citar: López-Delgado CG, Fraire-Cordero S, Flota-Bañuelos C, Rosales-Martínez V, García-Salas A, Soto-Barajas MC (2026) Prácticas de manejo y propiedades edáficas en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Campeche. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(3): e4937. DOI: 10.19136/era.a13n3.4937.

INTRODUCCIÓN

En México, la actividad agropecuaria constituye un pilar fundamental del sector rural, al representar la principal fuente de sustento para miles de familias (Bautista-Robles *et al.* 2020). Sin embargo, la intensificación de los sistemas productivos, asociada con el uso excesivo de fertilizantes, agroquímicos, maquinaria y prácticas como el sobrepastoreo, puede generar alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo (Torres *et al.* 2024). Estas prácticas pueden comprometer la calidad del suelo, entendida como la capacidad de mantener sus funciones biológicas y sostener la productividad agropecuaria mediante la interacción de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (El Behairy *et al.* 2024). Entre las propiedades físicas y químicas más importantes para evaluar estas condiciones se encuentran la textura, el pH, la materia orgánica, el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el potasio, debido a su relación con la fertilidad del suelo y con el funcionamiento de los ecosistemas (Abdu *et al.* 2023).

Para evaluar los efectos del manejo sobre el suelo, es necesario considerar las características edafológicas de cada región. Al respecto, los suelos en la península de Yucatán se desarrollan predominantemente sobre materiales calcáreos y relieve cárstico, condiciones que influyen en su formación, distribución y funcionamiento, lo que genera una elevada heterogeneidad espacial (Bautista 2021). En este sentido, en el estado de Campeche se encuentran diversos grupos de suelo, con predominio de los Leptosoles, que ocupan aproximadamente 48% del territorio estatal y se caracterizan por su limitada profundidad efectiva, menor de 35 cm, y por la presencia de material rocoso en el perfil (Palma-López *et al.* 2017). Otra característica relevante de los suelos calcáreos es su influencia sobre la disponibilidad de fósforo. En condiciones de pH neutro a alcalino y en presencia de carbonato de calcio, este nutriente puede ser adsorbido y precipitar en formas de fosfatos de calcio de menor solubilidad, lo que reduce su disponibilidad para las plantas (McLaren *et al.* 2014). Por lo tanto, el contenido de nutrientes en el suelo no depende únicamente del manejo, sino también de las características físicas y químicas del suelo.

Ante esta problemática, en los últimos años se han promovido estrategias de manejo orientadas a conservar el suelo, favorecer el reciclaje de nutrientes y reducir la dependencia de insumos externos, entre ellas el uso de residuos agrícolas como cobertura, la rotación de cultivos, la aplicación de abonos orgánicos y la implementación de sistemas silvopastoriles (Hamadani *et al.* 2021). Estas alternativas contribuyen a mejorar las condiciones del suelo, promover el reciclaje de nutrientes, conservar la biodiversidad y generar beneficios económicos sostenibles (Romero *et al.* 2025). No obstante, las prácticas convencionales continúan siendo ampliamente utilizadas debido, entre otros factores, a su disponibilidad, familiaridad y facilidad de implementación (Trejo-Sánchez y Valdiviezo-Ocampo 2025). En este contexto, en Campeche existe escasa información científica sobre aspectos relacionados con el suelo (Núñez-Peñaloza *et al.* 2023). Además, permanece poco documentada la relación entre prácticas de manejo y las propiedades del suelo bajo las condiciones particulares de cada sistema productivo. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la asociación entre las prácticas de manejo implementadas y las propiedades físicas y químicas del suelo en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Hopelchén, Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y periodo de muestreo

El estudio se realizó de febrero a mayo de 2024 en la localidad de Xculoc, municipio de Hopelchén, Campeche, México, región que se encuentra localizada entre los paralelos 20° 10' 40" y 20° 11' 10" de latitud norte, y los meridianos 89° 49' 45" y 89° 50' 16" de longitud oeste, a una altitud promedio de 60 m. El clima de la zona corresponde al tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano y de menor humedad [Aw₀(w)], con una temperatura media anual de 26 °C y una precipitación anual que varía entre 800 y 1 000 mm. El entorno físico se compone de lomeríos asociados a una geología de rocas calizas del Paleógeno, con predominio de suelos de grupo Leptosol. La vegetación nativa está representada por selva mediana subcaducifolia, intercalada con zonas de agricultura tradicional de temporal para el cultivo de maíz, así como en menor proporción pastizales inducidos para uso pecuario (INEGI 2010).

Selección de productores

La población total reportada en la zona de estudio está constituida por 472 habitantes, de los cuales 260 son hombres y 212 mujeres (INEGI 2020). La población de referencia estuvo constituida por 150 productores registrados en el padrón de ejidatarios de Xculoc, proporcionado por el comisario ejidal; de ellos, 92 correspondían a unidades agrícolas como actividad principal y 58 a unidades con actividad pecuaria. El tamaño de muestra se determinó mediante la fórmula para poblaciones finitas propuesta por Sierra (1995), con un nivel de confianza del 95% y una precisión del 8%, obteniéndose un tamaño de muestra de 22 productores agrícolas y 20 productores pecuarios. No obstante, se estableció una muestra final de 44 productores, 22 por sistema productivo, para mantener la equivalencia entre grupos. El contacto inicial se realizó a través del comisario ejidal, quien convocó a reuniones informativas para presentar los objetivos del estudio y solicitar la participación voluntaria. La selección se efectuó mediante muestreo no probabilístico por bola de nieve (Alaminos 2006). Entre los criterios de inclusión se estableció que los participantes fueran propietarios de la unidad de producción. En el sistema agrícola, los productores debían cultivar maíz híbrido bajo condiciones de temporal, tener al menos cinco años de experiencia y una superficie mínima de siete hectáreas. En el sistema pecuario, se requirió contar con un mínimo de 15 bovinos, siete hectáreas de pastizal y cinco años de experiencia. En ambos sistemas, fue indispensable permitir el acceso a la unidad de producción.

Encuesta

Se diseñó un cuestionario semiestructurado con 15 preguntas, abiertas y cerradas, con opciones de respuesta única o múltiple según la naturaleza de la variable, que se aplicó mediante entrevistas individuales a los productores en sus sistemas de producción, con una duración aproximada de 30 min. Se recopiló información sobre las prácticas culturales realizadas antes y durante el establecimiento del cultivo o pastizal. Estas no fueron mutuamente excluyentes, por lo que cada productor podía reportar más de una. Se consideraron limpieza manual, mecanización del suelo, fertilización química, control químico de arvenses y control de enfermedades. La limpieza manual correspondió a la eliminación de arvenses mediante herramientas manuales; la mecanización, al uso de maquinaria o implementos para la preparación del suelo (rastreo y arado); la fertilización

química, a la aplicación de fertilizantes; el control de arvenses, al uso de herbicidas; y el control de enfermedades, a la aplicación de fungicidas. Para la fertilización se registró el nombre, frecuencia y tiempo de uso. También se registraron prácticas agroecológicas orientadas a la conservación del suelo y reciclaje de nutrientes. El cuestionario se validó mediante una prueba piloto con cinco productores no incluidos en la muestra final y la información se complementó mediante recorridos en campo y observación directa.

Muestras de suelo

En cada sistema productivo se recolectaron submuestras de suelo utilizando un muestreo radial conforme a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2002), se obtuvieron 44 muestras compuestas (22 agrícolas y 22 pecuarias). En el sistema agrícola, el muestreo se realizó durante la etapa de presembrado del maíz, antes del establecimiento del cultivo. En cada predio se delimitó un área relativamente homogénea de 2500 m² dentro de la superficie productiva, considerando la cobertura vegetal y el terreno; se excluyeron bordes, zonas de acumulación de residuos, áreas erosionadas y sitios atípicos. En este espacio se colectaron cinco submuestras de un kilogramo a una profundidad de 0 a 20 cm con una pala plana. Posteriormente, el material se mezcló y homogeneizó manualmente mediante el método de cuarteo (Jolivet *et al.* 2023) hasta obtener una muestra compuesta de un kilogramo. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno, se etiquetaron con los datos del productor, coordenadas y predio de procedencia, y se trasladaron al laboratorio de Ciencia Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. En el laboratorio, las muestras fueron inspeccionadas para retirar manualmente los residuos vegetales y fragmentos de roca. Seguidamente, se secaron a 60 °C en una estufa de secado hasta alcanzar una humedad inferior al 10%. Una vez secas, se disgregaron en un mortero y se pasaron por un tamiz con malla de 2 mm. Del material homogeneizado se obtuvieron 200 g para los análisis físicos y químicos, los cuales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Universidad Autónoma de Yucatán (Yucatán, México). Los análisis incluyeron la determinación de pH (mediante potenciometría con una relación suelo:agua 1:2 m/v, método AS-02); materia orgánica total (MO, método AS-07 de Walkley-Black); nitrógeno total (N, método AS-25 por digestión húmeda); fósforo (P, método AS-10 de Olsen); potasio (K, método AS-12 por extracción con acetato de amonio); conductividad eléctrica (CE, con un conductímetro, método AS-18); textura (método AS-09 de Bouyoucos); y carbono orgánico total (CO, combustión seca, ISO 10694). Las metodologías se basaron en la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2002) e ISO (1995). La interpretación de resultados se realizó con base en los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000.

Análisis estadístico

El estudio se desarrolló bajo un diseño observacional, transversal y comparativo, con dos sistemas de producción. Las prácticas de manejo se codificaron como variables dicotómicas (0 = ausencia, 1 = presencia). Las variables cuantitativas correspondieron a las propiedades físicas y químicas del suelo. La distribución de las variables cuantitativas se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para comparar las propiedades edáficas entre los sistemas agrícola y pecuario se utilizó la prueba *t* de Student para muestras independientes. Las variables categóricas correspondientes a las prácticas de manejo se compararon entre sistemas mediante la prueba exacta de Fisher. La asociación entre las prácticas de manejo y las propiedades del suelo se evaluó de manera

independiente para cada sistema, mediante el coeficiente de correlación punto-biserial (r_{pb}). Todos los análisis se realizaron con un nivel de significancia del 5% utilizando el software IBM SPSS Statistics, versión 32 (IBM 2026).

RESULTADOS

Prácticas culturales en los sistemas agrícolas y pecuarios

Para las prácticas antes de la siembra o establecimiento del cultivo o pastizal, la proporción de productores que indicó no realizar prácticas fue mayor ($P = 0.0089$) en el sistema pecuario que en el agrícola. La limpieza manual fue más frecuente en el sistema pecuario ($P = 0.0028$), mientras que en el agrícola predominó el rastreo. Durante el desarrollo del cultivo o pastizal, la fertilización química presentó una mayor frecuencia ($P = 0.0039$) en el sistema agrícola que en el pecuario. En este último el control químico de arvenses fue la práctica más frecuente (Tabla 1).

Tabla 1. Productores que implementan prácticas culturales en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Hopelchén, Campeche.

Etapas	Práctica cultural	Sistema agrícola <i>n</i> (%)	Sistema pecuario <i>n</i> (%)	P-valor
Antes del establecimiento del cultivo o pastizal	Ninguna	0 (0.0)	7 (31.8)	0.0089
	Limpieza manual	2 (9.1)	12 (54.5)	0.0028
	Control químico de arvenses	0 (0.0)	3 (13.6)	0.2326
	Rastreo	15 (68.2)	NA	-
	Arado	6 (27.3)	NA	-
	Fertilización química	3 (13.6)	NA	-
Durante el desarrollo del cultivo o pastizal	Ninguna	1 (4.5)	0 (0.0)	1.0000
	Limpieza manual	2 (9.1)	7 (31.8)	0.1324
	Fertilización química	21 (95.5)	12 (54.5)	0.0039
	Control químico de arvenses	21 (95.5)	20 (90.9)	1.0000
	Control químico de enfermedades	7 (31.8)	4 (18.2)	0.4876

NA: No aplica para el sistema de producción. P-valor ≤ 0.05 indica diferencia estadística.

La fertilización química se basó en fosfato diamónico (DAP), urea y Triple 16. El uso de DAP fue mayor en el sistema agrícola que en el sistema pecuario ($P = 0.0148$). Las proporciones de productores que utilizaron urea y Triple 16 fueron similares entre sistemas. No se detectaron diferencias en la frecuencia de aplicación y el tiempo de utilización de fertilizantes (Tabla 2).

Prácticas agroecológicas en los sistemas agrícolas y pecuarios

En el sistema agrícola, la práctica agroecológica predominante fue el uso de rastrojos agrícolas (95.5%), seguida de arboledas (40.9%) y cultivos asociados (18.2%). El uso de biofertilizantes y micorrizas, así como el establecimiento de cercas vivas, fue poco frecuente. En el sistema pecuario, las prácticas más frecuentes fueron la rotación de potreros (95.5%), las arboledas (68.2%) y los pastos asociados (31.8%). En menor proporción se registraron cercas vivas, sistemas silvopastoriles y biofertilizantes (Figura 1). En las prácticas agroecológicas comunes a ambos sistemas productivos, no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$).

Tabla 2. Tipo de fertilizante químico, frecuencia de aplicación y tiempo de uso en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Hopelchén, Campeche.

Característica	Sistema agrícola <i>n</i> (%)	Sistema pecuario <i>n</i> (%)	P-valor
Tipo de fertilizante			
Fosfato diamónico (DAP)	16 (72.7)	7 (31.8)	0.0148
Urea	13 (59.1)	13 (59.1)	1.0000
Triple 16	2 (9.1)	1 (4.6)	0.4884
No aplica	1 (4.6)	1 (4.6)	1.0000
Frecuencia de aplicación			
1 vez año ⁻¹	17 (77.3)	21 (95.5)	0.1853
2 veces año ⁻¹	4 (18.2)	0 (0.00)	0.2326
Años aplicando fertilizantes	20.68 (± 3.02)	16.27 (± 2.86)	0.3395

Media ± error estándar. P-valor ≤ 0.05 indica diferencia estadística.

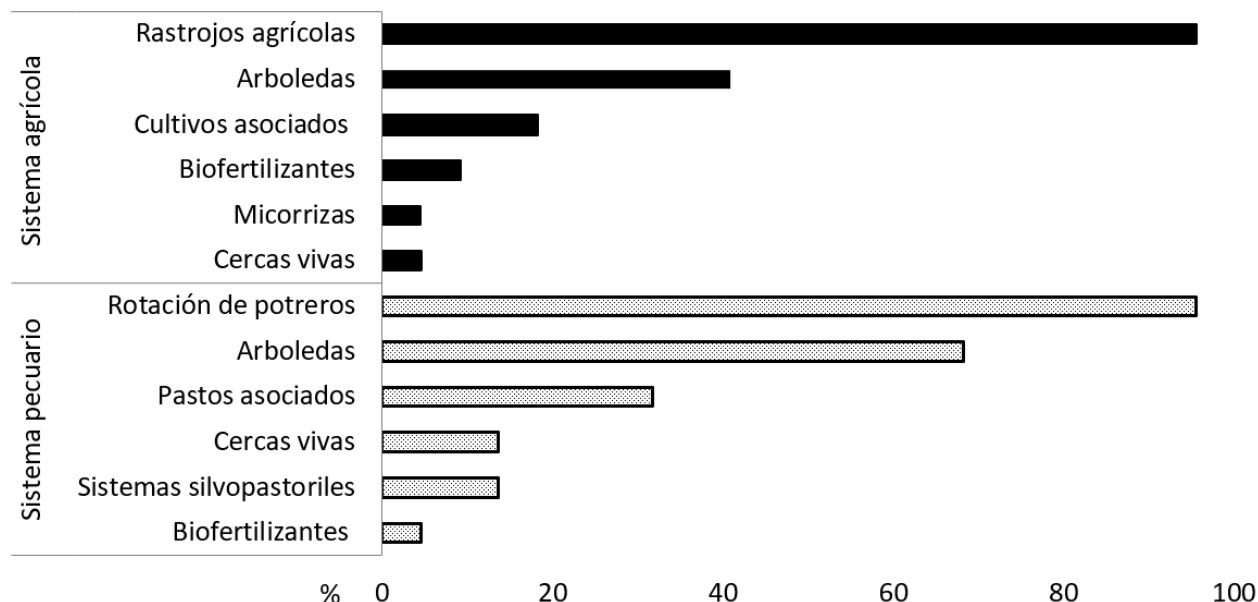


Figura 1. Prácticas agroecológicas implementadas en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Hopelchén, Campeche.

Propiedades edáficas del suelo

Las clases texturales predominantes en los suelos de ambos sistemas de producción fueron arcillosa (66%) y arcillo-arenosa (23%). Las clases menos frecuentes fueron franco arcillo arenoso y franco arcilloso (Figura 2). Para las propiedades químicas del suelo, se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre los sistemas agrícola y pecuario para el contenido de fósforo y pH (Tabla 3). Para el resto de las propiedades edáficas no se observaron diferencias significativas entre los sistemas ($P > 0.05$).

El fósforo presentó valores mayores en el sistema agrícola respecto al sistema pecuario ($P = 0.0026$). En contraste, el pH fue superior en el sistema pecuario en comparación con el agrícola ($P = 0.0002$). De acuerdo con los criterios de clasificación establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000, el contenido de fósforo correspondió a una categoría baja en el sistema agrícola y muy bajo en el sistema pecuario. El pH de los suelos agrícolas se clasificó como neutro y el de los pecuarios como

medianamente alcalino. En ambos sistemas de producción, los contenidos de materia y carbono orgánico total se categorizaron como medios, la CE se clasificó como baja, el nitrógeno total y el potasio altos.

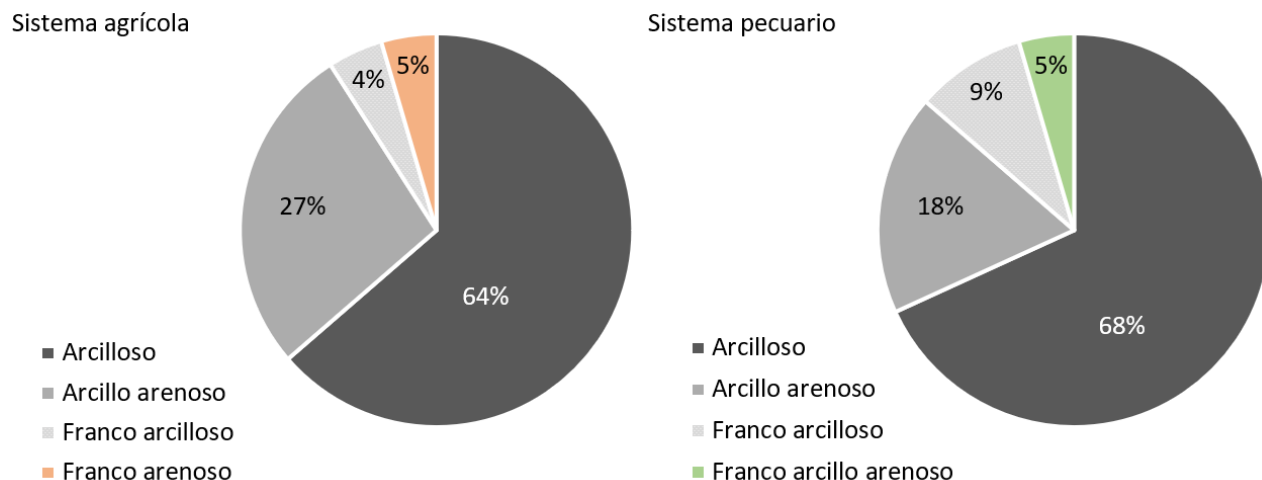


Figura 2. Clase textural del suelo en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Hopelchén, Campeche.

Tabla 3. Valores medios de propiedades químicas del suelo en sistemas agrícolas y pecuarios de Xculoc, Hopelchén, Campeche.

Propiedad del suelo	Sistema agrícola (n = 22)	Sistema pecuario (n = 22)	P-valor
Arcilla (%)	48.99 (±3.57)	51.50 (±3.31)	0.6082
Arena (%)	38.88 (± 3.49)	35.52 (±3.17)	0.4794
Limo (%)	12.14 (± 0.79)	12.98 (±1.22)	0.5643
Nitrógeno total (%)	0.21 (± 0.01)	0.25 (± 0.02)	0.0686
Fósforo (mg kg ⁻¹)	7.44 (± 1.12)	3.36 (± 0.53)	0.0026
Potasio (mg kg ⁻¹)	574.28 (± 48.32)	696.50 (± 62.25)	0.1284
Carbono orgánico total (%)	1.81 (± 0.03)	1.75 (± 0.07)	0.3739
Materia orgánica total (%)	2.07 (± 0.06)	2.24 (± 0.09)	0.1317
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.16 (± 0.02)	0.12 (± 0.03)	0.0713
pH	6.85 (± 0.06)	7.48 (± 0.08)	0.0002

Medias (± Error estándar). P-valor ≤ 0.05 indica diferencia estadística.

Asociación entre prácticas agrícolas y pecuarias con las propiedades del suelo

El rastro se relacionó positivamente con el nitrógeno total ($r_{pb} = 0.44$, $P = 0.0438$). El uso de DAP presentó correlaciones negativas con la proporción de arcilla ($r_{pb} = -0.47$, $P = 0.0271$) y positivas con la proporción de arena ($r_{pb} = 0.51$, $P = 0.0153$), CO ($r_{pb} = 0.50$, $P = 0.0185$) y MO ($r_{pb} = 0.49$, $P = 0.0214$). El fertilizante Triple 16 se asoció positivamente con N ($r_{pb} = 0.45$, $P = 0.0362$) y negativamente con CO ($r_{pb} = -0.51$, $P = 0.0161$) (Tabla 4).

En el sistema pecuario, el control químico de arvenses se relacionó positivamente con N ($r_{pb} = 0.58$, $P = 0.0045$) y pH ($r_{pb} = 0.44$, $P = 0.0402$). El uso de urea presentó asociaciones negativas con la proporción de arcilla ($r_{pb} = -0.56$, $P = 0.0071$) y positivas con la proporción de arena ($r_{pb} = 0.45$, $P = 0.0366$). La presencia de arboledas mostró asociaciones negativas con limo ($r_{pb} = -0.54$, $P = 0.0102$),

K ($r_{pb} = -0.53$, $P = 0.0120$) y CE ($r_{pb} = -0.44$, $P = 0.0472$). El resto de las prácticas no presentaron correlaciones significativas (Tabla 5).

Tabla 4. Asociación entre prácticas agrícolas y propiedades del suelo de Xculoc, Hopelchén, Campeche.

Práctica	Arcilla	Arena	Limo	N	P	K	CO	MO	CE	pH
Antes del establecimiento del cultivo										
Limpieza manual	0.38	-0.38	-0.02	-0.27	-0.14	0.05	0.24	-0.13	-0.07	0.14
Rastreo	-0.21	0.22	-0.02	0.44*	-0.17	-0.04	-0.22	-0.04	0.10	-0.26
Arado	0.17	-0.18	0.03	-0.12	-0.15	-0.14	-0.13	0.12	0.31	-0.06
Fertilización química	0.19	-0.19	-0.04	0.40	-0.16	0.09	-0.27	-0.05	0.32	-0.24
Durante el desarrollo del cultivo										
Limpieza manual	-0.02	-0.08	0.43	-0.01	-0.17	0.14	0.20	-0.01	0.01	0.40
Fertilización química	-0.11	0.19	-0.33	0.05	0.05	-0.12	-0.18	0.07	0.12	0.03
Control químico de arvenses	-0.11	0.19	-0.33	0.05	0.05	-0.12	-0.18	0.07	0.12	0.03
Control químico de enfermedades	0.26	-0.31	0.2	0.37	-0.01	-0.32	-0.36	-0.03	-0.03	0.04
Fertilizante										
Fosfato diamónico (DAP)	-0.47*	0.51*	-0.13	-0.26	0.03	0.2	0.50*	0.49*	-0.10	0.21
Urea	0.01	-0.01	0.01	-0.12	0.18	-0.11	-0.04	0.01	-0.15	-0.12
Triple 16	0.20	-0.16	-0.23	0.45*	-0.16	-0.39	-0.51*	-0.28	0.09	-0.01
Práctica agroecológica										
Rastrojos agrícolas	0.10	-0.08	-0.01	0.19	-0.03	0.12	0.07	-0.01	0.07	0.33
Cultivos asociados	0.23	-0.21	-0.11	0.02	-0.01	-0.34	-0.06	-0.14	-0.27	-0.01
Arboledas	0.13	-0.13	-0.02	0.17	-0.03	0.03	-0.16	-0.07	0.05	0.41
Biofertilizantes	0.27	-0.26	-0.08	-0.20	-0.16	0.42	0.20	0.14	0.01	0.08
Micorrizas	-0.01	-0.02	0.13	-0.18	-0.02	0.03	-0.10	-0.21	-0.28	0.01
Cercas vivas	0.11	-0.19	0.33	-0.05	-0.05	0.12	0.18	-0.07	-0.12	-0.03

* Correlación estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). N: Nitrógeno total. P: Fósforo. K: Potasio. CO: Carbono orgánico total. MO: Materia orgánica total. CE: Conductividad eléctrica.

DISCUSIÓN

Prácticas culturales en los sistemas agrícolas y pecuarios

Antes del establecimiento del pastizal, el sistema pecuario presentó una mayor frecuencia de limpieza manual y una mayor proporción de productores que no realizaron prácticas de preparación del suelo en comparación con el sistema agrícola. Estos resultados sugieren un manejo previo al establecimiento con menor intervención mecánica del suelo en el sistema pecuario. Este comportamiento puede relacionarse con las características de la producción ganadera de la región, donde el manejo se concentra principalmente en el mantenimiento de las áreas de pastoreo y en las actividades asociadas al ganado. Estos resultados coinciden con Gordillo-Chávez *et al.* (2025), quienes describen que la ganadería extensiva en Campeche mantiene una fuerte dependencia de prácticas tradicionales y presenta una incorporación limitada de tecnologías y prácticas sustentables. En este contexto, también es importante señalar que la menor preparación mecánica

observada en el sistema pecuario no debe interpretarse necesariamente como una práctica de conservación, sino que sería conveniente revisar el contexto del sistema de manera integral.

Tabla 5. Asociación entre prácticas pecuarias y propiedades del suelo en Xculoc, Hopelchén, Campeche.

Práctica	Arcilla	Arena	Limo	N	P	K	CO	MO	CE	pH
Antes del establecimiento del pastizal										
Limpieza manual	0.04	-0.02	-0.04	-0.16	0.27	-0.23	0.12	-0.18	-0.12	-0.11
Control químico de arvenses	-0.15	0.18	-0.06	0.58*	-0.12	-0.05	-0.09	0.21	0.05	0.44*
Durante el desarrollo del pastizal										
Limpieza manual	-0.13	0.10	0.11	-0.26	-0.01	0.11	0.30	-0.36	0.26	-0.11
Fertilización química	-0.30	0.37	-0.15	-0.13	0.39	-0.09	0.04	-0.21	-0.16	0.04
Control químico de arvenses	-0.32	0.34	-0.03	0.28	0.03	0.02	0.17	0.37	0.09	-0.07
Control químico de enfermedades	0.23	-0.12	-0.29	-0.01	-0.30	-0.18	-0.13	0.15	-0.13	-0.40
Fertilizante										
Fosfato diamónico (DAP)	0.34	-0.29	-0.16	0.09	-0.31	0.13	-0.11	-0.37	-0.16	0.17
Urea	-0.56*	0.45*	0.35	-0.28	0.41	0.01	0.15	0.13	0.19	0.04
Triple 16	-0.01	0.08	-0.18	-0.08	-0.13	0.01	0.07	-0.14	-0.07	-0.33
Práctica agroecológica										
Arboledas	0.15	0.05	-0.54*	0.35	-0.07	-0.53*	-0.35	0.36	-0.44*	0.07
Biofertilizantes	-0.38	0.41	-0.05	0.18	0.04	0.09	0.33	0.33	0.40	0.19
Cercas vivas	0.01	-0.02	0.04	0.23	-0.24	-0.12	-0.40	-0.05	-0.25	0.35
Rotación de potreros	0.16	-0.20	0.10	-0.01	-0.41	0.03	-0.16	-0.29	-0.01	0.15
Pastos asociados	0.30	-0.38	0.17	-0.14	0.40	0.18	-0.10	-0.25	-0.22	-0.04
Sistemas silvopastoriles	0.01	-0.02	0.04	0.23	-0.24	-0.12	-0.40	-0.05	-0.25	0.35

* Correlación estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). N: Nitrógeno total. P: Fósforo. K: Potasio. CO: Carbono orgánico total. MO: Materia orgánica total. CE: Conductividad eléctrica.

En contraste, en el sistema agrícola predominó el rastreo y, en menor proporción, el arado, lo que evidencia una mayor utilización de prácticas de preparación mecánica del suelo. Estas diferencias son consistentes con la naturaleza de cada sistema productivo, ya que la agricultura generalmente requiere labores de preparación del suelo para el establecimiento del cultivo. Estas prácticas pueden favorecer temporalmente la conformación de una cama de siembra adecuada y facilitar el establecimiento inicial del cultivo. Sin embargo, Leuther *et al.* (2025) mencionan que cuando se realizan con alta frecuencia o intensidad pueden modificar la estructura y distribución de poros, favorecer la ruptura de agregados y alterar la conectividad del sistema poroso. Asimismo, la perturbación recurrente del suelo puede modificar las condiciones que regulan la actividad microbiana y la dinámica de la materia orgánica.

Durante el desarrollo del cultivo o pastizal, la fertilización química presentó una frecuencia significativamente mayor en el sistema agrícola, aunque el control químico de arvenses mostró una frecuencia similar entre ambos sistemas. La alta utilización de fertilizantes y productos para el control de arvenses evidencia una importante dependencia de insumos externos en ambos sistemas productivos. Esta situación es relevante desde el punto de vista de la sostenibilidad, debido a que el efecto de estos insumos depende de factores como la fuente utilizada, dosis, momento de aplicación, características del suelo y requerimientos del cultivo o pastizal.

El uso de fertilizantes químicos fue frecuente en ambos sistemas, principalmente DAP y urea. Sin embargo, el DAP fue utilizado por una mayor proporción de productores agrícolas. Esto indica que su uso puede relacionarse con las necesidades nutricionales de los cultivos y con la disponibilidad de fertilizantes para los productores. En este sentido, en México, el programa Fertilizantes para el Bienestar ha facilitado el acceso de productores a fertilizantes nitrogenados y fosfatados, entre ellos urea y DAP (Gobierno de México 2023). Sin embargo, la disponibilidad del insumo no necesariamente implica que su aplicación responda a un diagnóstico de fertilidad del suelo.

Para la frecuencia de aplicación y los años de utilización no se encontraron diferencias entre sistemas, aunque la mayoría de los productores indicó aplicar fertilizantes una vez al año. Esta información es exploratoria y no permite determinar si el manejo es adecuado, debido a que su pertinencia depende de la dosis, momento de aplicación, rendimiento, extracción de nutrientes y disponibilidad de estos en el suelo. Por ejemplo, en el caso del maíz, el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada puede mejorar la sincronización entre la disponibilidad de nitrógeno y la demanda del cultivo (Ojeniyi *et al.* 2024). En pasturas tropicales, Pereira *et al.* (2022) señalan que el manejo del nitrógeno debe ajustarse a las condiciones del suelo, clima y respuesta del pastizal.

Prácticas agroecológicas en los sistemas agrícolas y pecuarios

Las prácticas agroecológicas presentaron patrones diferenciados entre los sistemas productivos. En el sistema agrícola, el uso de rastrojos fue la práctica predominante, mientras que en el sistema pecuario destacó la rotación de potreros. En la agricultura, la permanencia de los rastrojos de cosecha representa una estrategia para aprovechar la biomasa generada en la propia parcela y favorece la protección superficial y el reciclaje de nutrientes (Bustos *et al.* 2023). En este sentido, la alta frecuencia observada representa una práctica con potencial para fortalecer la conservación del suelo, sobre todo donde también se identificó una utilización frecuente de fertilización y control químico de arvenses. Sin embargo, es importante remarcar que su contribución depende de la cantidad de residuos, composición, permanencia y manejo posterior.

En el sistema pecuario, una presencia mayor de la práctica de rotación de potreros podría favorecer la recuperación de la cobertura vegetal y reducir la presión continua del pastoreo, para contar con una cobertura vegetal más estable que pueda reducir la exposición del suelo a procesos erosivos; favorecer la incorporación de residuos vegetales y mantener el aporte de carbono y nutrientes (Meléndez-Aldana *et al.* 2025). Aun así, los beneficios de esta práctica dependen de elementos como la duración de los periodos de ocupación y descanso, carga animal, disponibilidad de forraje y condición del pastizal.

Se registraron arboledas en ambos sistemas productivos, aunque con mayor proporción en el sistema pecuario. Este resultado puede estar relacionado con las características espaciales y productivas de las áreas destinadas a la ganadería, donde los árboles pueden conservarse como parte de la vegetación existente. En términos funcionales, los árboles pueden contribuir al aporte de hojarasca y biomasa, favoreciendo la incorporación y el reciclaje de nutrientes en el suelo (Magalhães 2023). Asimismo, los cultivos y pastos asociados pueden incrementar la diversidad vegetal y contribuir a mejorar la cobertura del suelo y reducir la vulnerabilidad del sistema ante perturbaciones.

Por otra parte, prácticas como biofertilizantes, micorrizas, cercas vivas y sistemas silvopastoriles presentaron menor presencia en los sistemas. Esta baja frecuencia podría indicar una adopción todavía limitada de estrategias orientadas a la diversificación productiva y a la reducción de la dependencia de insumos externos. No obstante, su implementación puede estar condicionada por factores económicos, el nivel de conocimiento técnico de los productores y la disponibilidad de los insumos necesarios.

Propiedades edáficas del suelo

La textura estuvo dominada por las clases arcillosa y arcillo arenosa en ambos sistemas. Esta distribución es consistente con las características edáficas de la región de la península de Yucatán, donde la presencia de materiales calcáreos y procesos de acumulación de arcillas contribuyen a la formación de suelos con una importante fracción fina (Bautista 2021). La textura constituye una propiedad relativamente estable del suelo (Silva *et al.* 2020) y, por tanto, no es esperable que las diferencias de manejo entre sistemas de producción modifiquen sustancialmente las proporciones de arcilla, arena y limo.

Entre los sistemas no se observaron diferencias en nitrógeno total, potasio, carbono orgánico, materia orgánica y conductividad eléctrica. Los niveles medios de carbono y materia orgánica podrían relacionarse con el aporte continuo de biomasa en ambos sistemas, aunque mediante fuentes diferentes. En el sistema agrícola, los rastrojos, raíces y exudados constituyen fuentes importantes de carbono, particularmente cuando los residuos de cosecha son reincorporados al suelo. En el sistema pecuario, la vegetación de los potreros, las raíces y el retorno de materia orgánica mediante estiércol y orina representan vías importantes de incorporación de carbono y nutrientes (Cotrufo y Lavalley 2022). De manera semejante, el nitrógeno puede incorporarse mediante fertilización y residuos vegetales en el sistema agrícola, mientras que en el pecuario interviene además el reciclaje mediante excretas. Ramírez-Sandoval *et al.* (2022) documentaron incrementos del 42% en el contenido de nitrógeno en áreas donde se depositan orina y estiércol, lo que evidencia la importancia de estos mecanismos de reciclaje dentro de los sistemas ganaderos.

El fósforo constituyó una de las principales diferencias entre sistemas. Su concentración fue mayor en el agrícola que en el pecuario, aunque ambos valores fueron clasificados como bajo y muy bajo, respectivamente. Este resultado coincide con el reportado por Caamal-Catzin *et al.* (2025) en zonas ganaderas con sistemas convencionales y silvopastoriles del sureste de Campeche. La mayor concentración en el sistema agrícola podría estar relacionada con la mayor utilización de DAP y con el reciclaje de nutrientes mediante los rastrojos; sin embargo, debido al carácter observacional del estudio, no se puede atribuir la diferencia a una práctica específica. En el sistema pecuario, la menor disponibilidad podría relacionarse con una menor incorporación de fuentes fosfatadas y con la extracción continua de nutrientes por la vegetación, mientras que el retorno de nutrientes por medio de excretas puede presentar una distribución espacial heterogénea. Esta baja disponibilidad de fósforo resulta particularmente relevante en suelos de origen calcáreo como los de la península de Yucatán, donde el calcio y los carbonatos pueden favorecer la retención del fósforo en formas poco disponibles. Wahid *et al.* (2020) señalan que en suelos calcáreos hasta 80% del fósforo puede encontrarse asociado con formas de fosfato de calcio de baja disponibilidad.

El pH se clasificó como neutro en el sistema agrícola y medianamente alcalino en el pecuario. El pH agrícola podría relacionarse parcialmente con el uso recurrente de fertilizantes nitrogenados, aunque la magnitud de este efecto depende de la fuente, dosis, frecuencia y capacidad amortiguadora del suelo. Por otra parte, se reporta que la incorporación de residuos vegetales puede ejercer un efecto amortiguador sobre los cambios de pH (Cheng *et al.* 2025). En el sistema pecuario, el mayor pH puede estar vinculado con el reciclaje de nutrientes mediante las excretas y la vegetación. Las excretas pueden aportar Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , elementos que participan en el equilibrio de las cargas del suelo y pueden contribuir al mantenimiento de condiciones menos ácidas. Dong *et al.* (2021) destacan que el manejo del pastoreo y la distribución de las excretas influyen en los procesos de transformación de nutrientes y en las condiciones químicas del suelo.

El pH cercano a la neutralidad y ligeramente alcalino encontrado en los sistemas resulta relevante para la dinámica del fósforo. Aunque un pH cercano a la neutralidad generalmente favorece una mayor disponibilidad de fósforo que condiciones fuertemente alcalinas, en suelos calcáreos la presencia de carbonatos y calcio puede mantener una importante fracción del fósforo en formas poco solubles (Lizcano-Toledo *et al.* 2021). Esto ayuda a explicar por qué el sistema agrícola, a pesar de presentar un pH neutro y una concentración de fósforo significativamente mayor que el sistema pecuario, continúa dentro de la categoría baja. En consecuencia, el problema del fósforo en estos suelos no parece depender únicamente de la cantidad incorporada, sino también de los procesos de retención y transformación que controlan su disponibilidad.

El potasio presentó concentraciones altas en ambos sistemas y no mostró diferencias significativas. Su comportamiento puede estar relacionado con el reciclaje de biomasa vegetal en la agricultura (Andrews *et al.* 2021) y con el retorno mediante heces y orina en la ganadería. Asimismo, la conductividad eléctrica fue baja en ambos sistemas, esta condición indica que los suelos evaluados no presentan evidencias de acumulación importante de sales en el momento del muestreo que pueda representar una limitación general para el desarrollo de los cultivos o la vegetación.

Asociación entre las prácticas de manejo y las propiedades del suelo agrícola

En este sistema, el rastreo se relacionó positivamente con el nitrógeno total. Este tipo de laboreo puede incrementar temporalmente la aireación y el contacto entre los residuos orgánicos y los microorganismos, favoreciendo procesos de descomposición y mineralización que pueden modificar las formas de nitrógeno presentes en el suelo. Tang *et al.* (2024) señalaron que los sistemas con mayor disturbio del suelo pueden incrementar temporalmente la disponibilidad de nitrógeno mediante cambios en la actividad microbiana y enzimática. Sin embargo, esta asociación no demuestra que el rastreo incremente permanentemente el nitrógeno del suelo, ya que una mayor mineralización también puede favorecer pérdidas de nitrógeno.

El DAP presentó una relación negativa con la proporción de arcilla y positiva con la proporción de arena. Debido a que la textura es una propiedad relativamente estable y difícilmente modificable por una práctica de fertilización en periodos cortos, este resultado podría estar influenciado por la aplicación de DAP por parte de los productores en suelos de textura relativamente más arenosa. En contraste, el DAP mostró asociaciones positivas con el carbono y la materia orgánica. Este fertilizante favorece el crecimiento de los cultivos y, consecuentemente, puede incrementar la producción de biomasa, raíces y exudados. El retorno de estos materiales al suelo podría constituir

una fuente de materia orgánica y carbono. Al respecto, Naab *et al.* (2015) señalaron que el suministro de nutrientes químicos puede favorecer la producción de biomasa y el retorno de residuos al suelo. Por tanto, la asociación positiva observada en este estudio podría estar relacionada no solamente con la aplicación del fertilizante, sino con el manejo conjunto de la fertilización y la reincorporación de residuos agrícolas.

El uso del fertilizante Triple 16 mostró una asociación positiva con nitrógeno y negativa con carbono orgánico. La primera es consistente con el aporte de nitrógeno del fertilizante, por lo que su uso constituye una fuente directa de nitrógeno para el sistema. Sin embargo, la asociación negativa con el carbono orgánico debe interpretarse con cautela. La aplicación de fertilizantes minerales puede modificar la actividad microbiana y la velocidad de descomposición de los residuos, pero la dirección y magnitud de estos efectos dependen de la disponibilidad de carbono, la dosis de fertilización, las condiciones de humedad y las características del suelo. El estudio de Okolo *et al.* (2023) señala que la fertilización mineral puede modificar la dinámica del carbono mediante cambios en la actividad microbiana. Por tanto, el resultado observado podría indicar que las parcelas donde se utiliza Triple 16 presentan menores reservas de carbono. La diferencia entre las asociaciones observadas para DAP y Triple 16 también pone de manifiesto que no todos los fertilizantes minerales tienen el mismo comportamiento dentro del sistema. Por ello, el efecto de la fertilización debe analizarse dentro de un contexto de manejo integral del sistema.

Asociación entre las prácticas de manejo y las propiedades del suelo pecuario

En el sistema pecuario, el control químico de arvenses antes del establecimiento del pasto presentó una correlación positiva con el nitrógeno total y con el pH. La asociación con nitrógeno podría estar relacionada con la eliminación de la vegetación no deseada y con cambios en la dinámica de la biomasa vegetal y del nitrógeno disponible durante el establecimiento del pastizal. La eliminación de la cobertura vegetal también puede modificar la actividad microbiana y la descomposición de los residuos, procesos que intervienen en la transformación del nitrógeno orgánico hacia formas minerales (Uwamahoro *et al.* 2023). No obstante, al igual que en el sistema agrícola, el contenido de nitrógeno no solo está relacionado con el control químico de arvenses, sino que puede estar relacionado con otras características de las parcelas donde se realiza esta práctica, como la historia de manejo, el establecimiento del pasto, la cantidad de biomasa incorporada o la fertilización posterior.

La asociación positiva entre el control químico de arvenses y el pH es relevante considerando que la eliminación de la vegetación puede modificar las entradas de residuos y la actividad biológica del suelo. Hao *et al.* (2024) reportan que la eliminación de hojarasca y raíces incrementó el pH hasta 8.8% y redujo el carbono orgánico, por una menor producción de ácidos orgánicos durante la descomposición, favoreciendo una mayor alcalinidad del suelo. Por ello, una reducción prolongada de la cobertura vegetal podría modificar los procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes. No obstante, el pH también está determinado por el material parental, la mineralogía y el clima. Estos factores son especialmente importantes en los suelos de la región de estudio, donde la naturaleza calcárea puede conferir una elevada capacidad amortiguadora frente a cambios de acidez. Entre los fertilizantes evaluados, la urea presentó relación negativa con la arcilla y positiva con la arena. La textura es una propiedad relativamente estable a escala de manejo y no se modifica

de manera sustancial por la aplicación convencional de fertilizantes. Por tanto, es probable que la utilización de urea esté relacionada con parcelas con características texturales determinadas.

La presencia de arboledas mostró asociaciones negativas con limo, potasio y conductividad eléctrica. La relación negativa con el limo, al tratarse de una fracción textural relativamente estable, podría reflejarse como una asociación de la presencia de árboles con determinados ambientes edáficos o antecedentes de uso de la tierra. La asociación negativa con el potasio puede estar relacionada con la extracción de este nutriente por parte de la vegetación. El potasio participa en procesos fisiológicos fundamentales, entre ellos la regulación osmótica, el equilibrio hídrico y la activación enzimática, por lo que puede ser absorbido en cantidades considerables durante el crecimiento vegetal (Shen *et al.* 2020). Es importante considerar que la presencia de árboles puede aportar hojas, ramas y raíces que constituyen posteriormente fuentes potenciales de retorno de nutrientes al suelo.

De manera similar, la relación negativa entre la presencia de arboledas y la conductividad eléctrica. Al respecto, Wu *et al.* (2023) señalaron que la cobertura vegetal puede contribuir a reducir la acumulación de sales mediante modificaciones en la evaporación y en el movimiento del agua. Sin embargo, dado que la CE fue baja en ambos sistemas, esta última relación representa una asociación localizada y no evidencia un problema de salinidad. La ausencia de correlaciones significativas en otras prácticas no implica que las prácticas carezcan de efectos sobre el suelo, ya que estos pueden depender de varios factores como la intensidad, frecuencia, tiempo de implementación, continuidad y combinación. Además, sus efectos podrían requerir mayor tiempo para reflejarse en variables químicas del suelo.

CONCLUSIONES

Los sistemas agrícola y pecuario mostraron una alta dependencia de insumos químicos, particularmente para el control de arvenses, aunque también se identificaron como principales prácticas agroecológicas el uso de rastrojos, la rotación de potreros y la presencia de arboledas. Se identificaron asociaciones exploratorias entre algunas prácticas de manejo y las propiedades del suelo para cada sistema. En el agrícola, destacaron el rastreo y la fertilización química, mientras que en el pecuario sobresalieron el control químico de arvenses, el uso de urea y la presencia de arboledas. El fósforo constituyó la principal limitante de fertilidad del suelo, con concentraciones bajas en el sistema agrícola y muy bajas en el pecuario.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por el financiamiento de esta investigación a través del proyecto “Prácticas de manejo que influyen en la calidad del suelo de sistemas agrícolas de maíz (*Zea mays*) y ganaderos en Hopelchén, Campeche” (Convocatoria 2025-05), enfocada en acciones de adaptación y mitigación al cambio climático y reducción de la huella hídrica. También a los productores participantes, cuya participación fue fundamental para el desarrollo del estudio.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Abdu A, Laekemariam F, Gidago G, Getaneh L (2023) Explaining the soil quality using different assessment techniques. *Applied and Environmental Soil Science* 2023 (1): 1-15. <https://doi.org/10.1155/2023/6699154>
- Alaminos CA (2006) El muestreo en la investigación social. En: Alaminos CA, Castejón JL (eds) *Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión*. Editorial Marfil. España. pp. 41-55.
- Andrews EM, Kassama S, Smith EE, Brown PH, Khalsa SDS (2021) A review of potassium-rich crop residues used as organic matter amendments in tree crop agroecosystems. *Agriculture* 11(7): 580. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070580>
- Bautista F (2021) Clasificación de suelos de la península de Yucatán. En: Butista F (comp.) *Los territorios kársticos de la península de Yucatán: Caracterización, manejo y riesgos*. Asociación Mexicana de Estudios sobre Karst A. C. México. pp. 25-38.
- Bautista-Robles V, Ken Rodríguez CA, Keita H (2020) El papel de la agricultura en la seguridad alimentaria de las comunidades rurales de Quintana Roo: Un ciclo autosostenido. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional* 30(56): 1-31. <https://doi.org/10.24836/es.v30i56.987>
- Bustos T, Dec D, Valle S, Clunes J, Dörner J (2023) Evaluación de las propiedades estructurales de un andisol sometido a distintos métodos y profundidades de incorporación de rastrojo en el suelo. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 39(1): 90-106. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaa39-septj50008>
- Caamal-Catzin JI, Rosales-Martínez V, Bautista-Ortega J, Soto-Barajas MC, Fraire-Cordero S (2025) Calidad física y química del suelo en sistemas convencionales y silvopastoriles en Escárcega y Champotón, Campeche, México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 28: 1-8. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2025.745>
- Cheng J, Yang CZ, Zhang L, Lin ZJ, Dang YP, Zhao X, Zhang HL (2025) The competitive effects of crop straw return and nitrogen fertilization on soil acidification. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 388: 109638. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109638>
- Cotrufo MF, Lavalley JM (2022) Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration. *Advances in Agronomy* 172: 1-66. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.11.002>
- Dong L, Martinsen V, Wu Y, Zheng Y, Liang C, Liu Z, Mulder J (2021) Effect of grazing exclusion and rotational grazing on labile soil organic carbon in north China. *European Journal of Soil Science* 72(1): 372-384. <https://doi.org/10.1111/ejss.12952>
- El Behairy RA, El Arwash HM, El Baroudy AA, Ibrahim MM, Mohamed ES, Kucher DE, Shokr MS (2024) How can soil quality be accurately and quickly studied? A review. *Agronomy* 14(8): 1682. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081682>
- Gobierno de México (2023) Fertilizantes para el Bienestar: Aumenta la producción e ingresos en el campo. Programas para el Bienestar. <https://programasparaelbienestar.gob.mx/fertilizantes-para-el-bienestar-aumenta-la-produccion-e-ingresos-en-el-campo/>. Fecha de consulta: 13 de septiembre 2025.

- Gordillo-Chávez E, Reyna-Hurtado R, Calmé S (2025) Evaluation of livestock management practices and their relationship with predators in Campeche, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 28(1): 34. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.6008>
- Hamadani H, Mudasar-Rashid S, Parrah JD, Khan AA, Dar KA, Ganie AA, Gazal A, Dar RA, Ali A (2021) Traditional farming practices and its consequences. In: Dar GH, Bhat RA, Mehmood MA, Hakeem KR (eds) *Microbiota and biofertilizers Vol. 2*. Springer. India. 2: 119-128. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_6
- Hao Z, Li P, Le Q, He J, MA J (2024) Litter and root removal modulates soil organic carbon and labile carbon dynamics in larch plantation ecosystems. *Forests* 15(11): 1958. <https://doi.org/10.3390/f15111958>
- IBM (2026) IBM SPSS Statistics for Windows, version 32. International Business Machines Corp., Armonk, NY, EE. UU.
- INEGI (2010) Compendio de información geográfica municipal (2010). Hopelchén, Campeche 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/04/04009.pdf. Fecha de consulta: 18 de junio de 2025.
- INEGI (2020) Principales resultados por localidad (ITER). Censo de Población y Vivienda 2020-2021. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/?ps=microdatos>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2025.
- ISO (1995) Soil quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion. <https://www.iso.org/standard/18782.html>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2025.
- Jolivet C, Ratie C, Chavrit D, Soler-Domiguez N, Bispo A (2023) Handling of soil samples in the field, in transport to the laboratory and in the laboratory. In: Goss MJ, Oliver M (eds). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Second Edition. Academic Press 4: 551-567. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00224-X>
- Leuther F, Fischer D, Nunan N, Meurer KH, Herrmann AM (2025) Soil structural indicators as predictors of biological activity under various soil management practices. *Geoderma* 457: 117290. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117290>
- Lizcano-Toledo R, Reyes-Martín MP, Celi L, Fernández-Ondoño E (2021) Phosphorus dynamics in the soil-plant-environment relationship in cropping systems: A review. *Applied Sciences* 11(23): 11133. <https://dx.doi.org/10.3390/app112311133>
- Magalhães TM (2023) Trees in agricultural landscapes maintain soil organic carbon following miombo woodland conversion to shifting cultivation. *Geoderma* 429: 116241. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116241>
- McLaren TI, Guppy CN, Tighe MK, Moody P, Bell M (2014) Dilute acid extraction is a useful indicator of the supply of slowly available phosphorus in vertisols. *Soil Science Society of America Journal* 78(1): 139-146. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.05.0188>
- Meléndez-Aldana MA, Flores-Renteria D, Ramírez FJP, Huerta-Martínez FM, Salcedo-Pérez E (2025) Assessing soil health under contrasting livestock grazing management systems and environmental conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 393: 109862. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109862>
- Naab JB, Mahama GY, Koo J, Jones JW, Boote KJ (2015) Nitrogen and phosphorus fertilization with crop residue retention enhances crop productivity, soil organic carbon, and total soil nitrogen concentrations in sandy-loam soils in Ghana. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 102: 33-43. <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9675-8>

- Núñez-Peñaloza JL, Pérez-Nieto J, Prado-Hernández JV (2023) Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14(6): e3148. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- Ojeniyei K, Ngonidzashe C, Devkota K, Madukwe D (2024) Optimizing split-fertilizer applications for enhanced maize yield and nutrient use efficiency in Nigeria's Middle-belt. *Heliyon* 10(19): e37747. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37747>
- Okolo CC, Gebresamuel G, Zenebe A, Haile M, Orji JE, Okebalama CB, Eze PN (2023) Soil organic carbon, total nitrogen stocks and CO₂ emissions in top-and subsoils with contrasting management regimes in semi-arid environments. *Scientific Reports* 13(1): 1117. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28276-x>
- Palma-López D, Zavala-Cruz J, Bautista-Zúñiga F, Morales-Garduza M, López-Castañeda A, Shirma-Torres E, Tinal-Ortiz S (2017) Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agroproductividad* 10(12): 71-78. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/40>
- Pereira LET, Herling VR, Tech ARB (2022) Current scenario and perspectives for nitrogen fertilization strategies on tropical perennial grass pastures: A review. *Agronomy* 12(9): 2079. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092079>
- Ramírez-Sandoval M, Pinochet D, Rivero MJ (2022) Soil dynamics and nitrogen absorption by a natural grassland under cow urine and dung patches in an andisol in Southern Chile. *Agronomy* 12(3): 719. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030719>
- Romero AME, Faye A, Betancur-Corredor B, Baumüller H, Von Braun J (2025) Productivity effects of agroecological practices in Africa: insights from a systematic review and meta-analysis. *Food Security* 17(1): 207-229. <https://doi.org/10.1007/s12571-024-01504-6>
- SEMARNAT (2002) NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2175822yfecha=31/12/2002. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2023.
- Shen Y, Yu Y, Lucas-Borja ME, Chen F, Chen Q, Tang Y (2020) Change of soil K, N and P following forest restoration in rock outcrop rich karst area. *Catena* 186: 104395. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104395>
- Sierra BR (1995) Técnicas de investigación social. Teoría y ejercicios. Ediciones Paraninfo. Madrid, España. 720 p.
- Silva PA, Rodríguez RBA, Vargas AN (2020) Análisis textural en la regulación de funciones ecosistémicas en sistemas agroforestales de un oxisol de Piedemonte Llanero en época seca, Colombia. *Idesia Arica* 38(3): 43-51. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300043>
- Tang H, Shi L, Wen L, Cheng K, Li C, Li W, Xiao X (2024) Effects of tillage management on soil organic carbon mineralization under double cropping rice system of southern China. *Scientific Reports* 14(1): 21146. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72042-6>
- Torres LA, González-Pedraza A, Castellanos LA (2024) Impacto de diferentes prácticas agrícolas sobre las características fisicoquímicas del suelo: un análisis crítico. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo* 15(1): 90-105. <https://doi.org/10.24054/raaas.v15i1.2916>
- Trejo-Sánchez EDJ, Valdiviezo-Ocampo GS (2025) La percepción campesina y los retos de la transición agroecológica en La Trinitaria, Chiapas. *EntreDiversidades. Revista de ciencias sociales y humanidades* 22: 1-27. <https://doi.org/10.31644/ed.iei.v22.2025.a10>
- Uwamahoro H, Kpombekou AK, Mortley D, Quarcoo F (2023) Organic vegetable crop residue decomposition in soils. *Heliyon* 9(3): e14529. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14529>

- Wahid F, Fahad S, Danish S, Adnan M, Yue Z, Saud S, Siddiqui MH, Brtnicky M, Hammerschmidt T, Datta R (2020) Sustainable management with mycorrhizae and phosphate solubilizing bacteria for enhanced phosphorus uptake in calcareous soils. *Agriculture* 10(8): 334. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080334>
- Wu Y, Wang W, Wang Q, Zhong Z, Wang H, Yang Y (2023) Farmland shelterbelt changes in soil properties: soil depth-location dependency and general pattern in Songnen Plain, Northeastern China. *Forests* 14(3): 584. <https://doi.org/10.3390/f14030584>