

Cambios en la calidad de suelos Pardos Sialíticos de acuerdo con el manejo agrícola

Changes in the quality of Sialitic Brown soils under different agricultural management practices

Elein Terry Alfonso ^{1,5}, Yoandris Socarrás Armenteros  ^{2,6}, Lucía Fernández Chuairey  ^{3,7}, Hugo Armando Morales Morales  ^{4,8}.

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de las Lajas, Cuba. ²Universidad de Cienfuegos (UCF). Cienfuegos, Cuba.

³Universidad Agraria de la Habana (UNAH). San José de las Lajas, Cuba. ⁴Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Chihuahua México. ⁵✉ terry@inca.edu.cu; ⁶✉ ysocarras@ucf.edu.cu; ⁷✉ lucia@unah.edu.cu; ⁸✉ hmorales@uach.mx



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n2.115283>

2024 | 73-2 p 220-227 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-06-25 Acep.: 2025-07-10

Resumen

Las prácticas de manejo inadecuadas en los suelos pueden provocar modificaciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas; por tanto, evaluar los cambios que afectan su calidad es de vital importancia para aplicar técnicas agrícolas que contribuyan a su recuperación. Bajo este criterio, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar las modificaciones de las propiedades químicas, físicas y biológicas según el manejo agrícola y su influencia en las modificaciones de la calidad del suelo Pardo Sialítico. La investigación se realizó en un agroecosistema de Cienfuegos, Cuba, entre los meses de mayo y junio de 2022. Se seleccionaron 3 sitios: suelo bajo bosques, más de 50 años (considerado de referencia); conservados, pastos de 10 a 20 años; agrogénicos, bajo caña de azúcar por más de 60 años y en la actualidad con cultivos de granos, hortalizas y viandas. Para la evaluación de los indicadores de calidad del suelo, se tuvieron en cuenta las propiedades más sensibles a modificación según el manejo, y fueron escogidos a través de las características químico-físicas y biológicas. Los resultados mostraron 13 variables edáficas identificadas como indicadores potenciales para determinar la calidad del suelo. Una estructura de correlación mostró una relación positiva y directa entre pHMO; pH-RCO; pH-PT; NI-pH; PT-MO; NI-MO; Keh-SCC; y RCO-NI, todos con coeficiente de correlación superior a 0.99. La variante de suelo bajo bosque tuvo mayor índice de calidad (0.90), contrario al suelo agrogénico, en el que se evidencia que la acción del ser humano deterioró el sistema del suelo con un índice de 0.63.

Palabras clave: agroecosistemas, degradación, edafología, índice, propiedades del suelo.

Abstract

Inappropriate soil management practices can alter its physical, chemical, and biological properties. Therefore, evaluating the changes that affect soil quality is vital for implementing agricultural techniques that contribute to its recovery. On that basis, the present study was conducted to evaluate the influence of different agricultural management practices on the chemical, physical, and biological properties of Sialitic Brown soil. The research was carried out in an agroecosystem located in Cienfuegos, Cuba, between May and July 2022. Three sites were selected: soil under forest (more than 50 years old) as reference; preserved soil (with pastures between 10 and 20 years old); and Agrogenic Soil (cultivated with sugar cane for more than 60 years, and currently with grain, vegetable and root crops). Soil quality indicators were evaluated based on properties most sensitive to changes due to management, selected through their chemical, physical, and biological characteristics. 13 edaphic variables were identified as potential soil quality indicators. The correlation structure revealed a positive and direct relationship between the following variables: pH - OM; pH - RCO; pH - PT; NI - pH; PT - MO; NI - MO; Keh - SCC; and RCO - NI, all with correlation coefficients greater than 0.99. The low forest soil variant exhibited a higher quality index (0.90), in contrast to the Agrogenic Soil, where human activity has clearly deteriorated the soil system, resulting in a lower index of 0.63.

Keywords: Agroecosystem, degradation, edaphology, index, soil properties.

Introducción

Se reconoce que el suelo es un recurso natural no renovable, además de ser imprescindible para los individuos y el medio ambiente en general. Este proporciona servicios ecosistémicos que son necesarios para el equilibrio terrestre. Por lo anterior, la evaluación de la fertilidad del suelo de un área o región es una herramienta básica que ayuda a cuantificar las propiedades químicas, físicas y biológicas para realizar el manejo sostenible de sus nutrientes (Echeverría et al., 2023); esto permite lograr una adecuada producción agrícola, así como la necesaria seguridad y sostenibilidad alimentaria y ecológica.

Según la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo se considera como *calidad del suelo* a la capacidad que este tiene para realizar funciones dentro de ciertos límites que imponen la naturaleza y el ser humano, y debe respaldar la producción de cultivos y la producción animal, conservar la calidad del aire y del agua, así como garantizar la salud de las plantas, los animales y el ser humano (Hernández et al., 2017). Por otra parte, Amorin et al. (2020) propusieron el término *multifuncionalidad del suelo*, el cual, además de las relaciones de producción, abarca otras funciones tales como la captura de carbono, la conservación de la biodiversidad y la regulación del ciclo hidrológico, entre otras.

Los cambios en el funcionamiento del suelo pueden estar relacionados con las formas de uso, las tecnologías de cultivos y sus prácticas de manejo, así como el empleo de fertilizantes minerales y plaguicidas, lo cual conlleva la necesaria evaluación y monitoreo de las modificaciones que en ellos se producen. Para ello, la aplicación de índices de calidad (IC) constituye una herramienta factible para evaluar la capacidad agroproductiva de un suelo (Ojeda et al., 2018).

Estos IC pueden constituir una valiosa herramienta para la toma de decisiones en cuanto al uso y manejo del suelo, ya sea a nivel de país o de región. Vallejo et al. (2020) plantean que estos índices pueden reflejar los cambios edáficos en función de los procesos que tienen lugar en él.

Es posible crear relaciones entre propiedades edáficas que resulten sensibles a las modificaciones y que, a la vez, tengan una relación estrecha con las funciones del suelo, de manera que constituyan un indicativo de la recuperación o de su estado degradativo (Rutigliano et al., 2023). Autores como Cruz et al. (2020) expresaron como esenciales en la evaluación de los sistemas agrícolas las propiedades químicas y físicas. También refirieron que la vida microbiana del suelo es fundamental, entre lo que destacan el carbono en la biomasa microbiana, los cocientes metabólicos y microbianos y la eficiencia metabólica, así como la microbiota del suelo.

En el caso específico de Cuba, los suelos Pardos Sialíticos son representativos de la región central del país y se ha demostrado que estos están sometidos a un proceso de degradación que se refleja en serios problemas de erosión y degradación biológica (Hernández, 2021). Por tanto, el reto actual está en monitorear la calidad del suelo, teniendo en cuenta que la degradación de la tierra es uno de los problemas ambientales que inciden en la producción de alimentos y que son originados por la acción antrópica y la incidencia de eventos climáticos extremos (Rodríguez et al., 2023). De ahí la necesidad de aplicar técnicas agrícolas que permitan su recuperación agroproductiva.

A partir de estos antecedentes, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar las modificaciones de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo según el manejo agrícola y su influencia en la calidad del tipo Pardo Sialítico.

Materiales y métodos

El trabajo fue ejecutado en suelos Pardos Sialíticos (Hernández, 2021) de la provincia Cienfuegos, Cuba, ubicada al sur de la región central, entre los 21°22' y los 23°55' de latitud norte y entre los 80°20' y 81°10' de longitud oeste, en el periodo de mayo a junio del 2022. Se seleccionaron 3 agroecosistemas con diferentes formas de manejo: suelo bajo bosques, más de 50 años (considerado de referencia), sin disturbio; conservados, bajo pastos de 10 a 20 años; y agrogénicos, bajo caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) por más de 60 años, y en la actualidad con cultivos continuados de granos, hortalizas y viandas, que corresponde a la finca Aeropuerto del municipio de Cienfuegos (Figura 1).

Para determinar los indicadores de calidad del suelo (Tabla 1) se realizaron muestreos al azar en diferentes localizaciones y de forma longitudinal, tomando 3 muestras de suelo por cada manejo, al mismo tiempo y con iguales condiciones. Para determinar los indicadores de calidad se tuvieron en cuenta aquellas variables más sensibles a los cambios según el manejo, las cuales fueron seleccionadas a través del estudio de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

Para la caracterización química y física las muestras se tomaron en las diferentes áreas (referencia, conservado y agrogénico), a una profundidad de 0-20 cm; además, se tomaron 5 muestras simples para conformar una muestra compuesta. Estas fueron analizadas en el laboratorio de suelo y foliar del Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA). Para la realización de estos análisis se utilizó el manual de técnicas analíticas para suelo, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (Panque et al., 2002).



Figura 1. Representación del agroecosistema estudiado (finca Aeropuerto), con los diferentes manejos de suelo, municipio de Cienfuegos.
Fuente: imagen propia satelital a escala 1:10 000.

Tabla 1. Indicadores químicos, físicos y biológicos seleccionados para evaluar la calidad del suelo Pardo Sialítico de la provincia Cienfuegos, Cuba.

Indicador	Indicadores estudiados
Propiedades químicas	Suma de cationes cambiables (SCC), fósforo (P), pH, reserva de carbono orgánico (RCO) y materia orgánica (MO)
Propiedades físicas	Humedad (H), porosidad total (PT), densidad real (Dr), densidad aparente (Da), índice de estabilidad estructural (les), estabilidad estructural en seco (Kes) y estabilidad estructural en húmedo (Keh)
Propiedades biológicas	Número de insectos (NI) y respiración basal (RB)

Fuente: elaboración propia.

Análisis químico del suelo

Se obtuvo el pH (H_2O) por potenciometría, relación suelo-agua: 1:2,5; carbono total (g kg^{-1} - combustión húmeda, Walkley y Black); fósforo asimilable (mg kg^{-1} - extracción con H_2SO_4 0.1 mol l^{-1} y determinación colorimétrica); cationes intercambiables (cmolc kg^{-1} - extracción con NH_4Ac 1 mol l^{-1} a pH 7); y reserva de carbono orgánico (mg ha^{-1}) calculado por el método de la masa de suelo.

Análisis físico del suelo

En el análisis de las propiedades físicas se realizó la medición de la humedad por el método gravimétrico Kaurichev; la densidad aparente del suelo se determinó utilizando cilindros de 100 cm^3 de volumen; la densidad real por el método del terrón con parafina; la estabilidad estructural se hizo por el método de Savinov, tanto en tamiz seco como en tamiz húmedo, según la metodología descrita por Bernal y Hernández (2017).

Análisis biológico del suelo

Para el conteo del número de insectos de la macrofauna edáfica (depredadores, detritívoros y herbívoros), los muestreos se realizaron entre las 7:00 y 9:00 a. m., en los sitios representativos de cada agroecosistema. Se seleccionaron transeptos cuyo punto de origen y dirección se determinó al azar. Para el estudio se excavaron 10 monolitos de 25 x 25 x 20 cm, los cuales se dividieron en 3 estratos: hojarasca, 0-10 cm y de 0-20 cm de profundidad. Cada monolito estuvo separado por una distancia de 5 m. Se utilizó la metodología del programa de investigación internacional Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (Anderson e Ingram, 1993).

Las lombrices se conservaron en formaldehído al 4 % y los invertebrados restantes en alcohol al 70 % para su posterior identificación en el Laboratorio de Sanidad Vegetal de la provincia de Cienfuegos. La medición de respiración basal (RB) se realizó a partir del humedecimiento de 25 g de suelo al 60 % de la capacidad máxima de retención de humedad y la determinación del CO_2 se evaluó al cabo de 24 horas de incubación a 30 °C (Cabrera, Sánchez y Ponce de León, 2022).

Los datos obtenidos de los análisis químico, físico y biológico se emplearon en la estimación del índice de calidad del suelo (ICS), utilizando el software SENCAZ para la obtención de un rango de calidad entre 0 y 1, en el cual el 1 es el estado ideal del suelo (Ojeda, 2018).

Para el análisis estadístico de los resultados, se realizó un análisis de varianza (Tukey 0.05) y análisis multivariado de componentes principales, para agrupar los mejores tratamientos por similitud en sus

valores medios para cada propiedad. Fue realizado un análisis Biplot, para agrupar las variables que más contribuyeron al tipo de manejo del suelo. Para el procesamiento estadístico se utilizaron los paquetes SPSS 13.0 y Statgraphics Centurión (2012).

Resultados

Un total de 14 variables químico-físicas y biológicas fueron identificadas entre los principales indicadores que pueden aportar a la calidad de estos suelos Pardos sialíticos (Tabla 2). En este caso se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p<0.05$) en la mayoría de las propiedades analizadas, excepto la densidad real (Dr), que no presentó diferencias significativas.

Por tanto, únicamente 13 variables fueron incluidas con el objetivo de ser evaluadas a través del análisis de componentes principales (ACP), lo cual permite reducir la redundancia de los indicadores y seleccionar las variables a incluir para el cálculo del índice de calidad del suelo (ICS).

Como se observa en la Tabla 3, la selección de 2 componentes (autovalores por encima de 1), con las 2 primeras se explicó el 100 % de la variabilidad total.

El número 1 está caracterizado fundamentalmente por las variables pH, MO, RCO, PT, RB, NI, P y la Da, mientras que el componente 2 se caracteriza por SCC, Ies, humedad, Keh y Kes (Tabla 4).

El ACP evidenció un efecto significativo del manejo agrícola en las propiedades edáficas, lo que permitió confirmar que las variables escogidas mostraron la variabilidad total de los indicadores y, de esta manera, expusieron las diferencias entre los sistemas de manejo A y B ($p<0.05$). Mediante la gráfica de ordenación (Figura 2) se identificó la

separación entre los grupos comparados (manejos), lo que mostró una mayor diferencia entre el bosque, el suelo conservado y el agrogénico.

La representación de la Figura 2 reafirma el comportamiento de dichas variables e indica que el sistema de bosque es el que mejor responde a este tipo de comportamiento. Ello pudiera estar explicado, entre otros aspectos, a que en este sistema, debido al aporte de la hojarasca, la acumulación de carbono orgánico (CO) en suelo es alta.

En el caso del componente 2, a medida que aumentan los valores de SCC, humedad, Keh e Ies disminuye la estabilidad estructural en seco (Kes) (Tabla 4). Igualmente se refleja en el gráfico de Biplot (Figura 3) que el agroecosistema de suelos conservados es el que más se asocia a este comportamiento, lo que indica que la permanencia de estas especies (pastos) sobre el suelo, incrementa la fertilidad y se mejora su estructura.

A partir de los resultados anteriores, se procedió a evaluar el índice de calidad del suelo (ICS) para cada uno de los sistemas estudiados. Por otra parte, Font (2008), citado por Ojeda et al. (2018), plantea que el ICS oscila entre 0 y 1 y que, a medida que este se acerque más a uno, mayor será la calidad del suelo. Los resultados obtenidos indican que el suelo bajo bosque tiene mayor ICS (Tabla 5), lo que demuestra que la permanencia de especies de plantas que cubren el suelo contribuye a mejorar la fertilidad de manera significativa con respecto a los demás sistemas de manejo.

Dada la estrecha relación entre las propiedades químicas, físicas y biológicas, se realiza a continuación la discusión general de los resultados obtenidos, de manera que se aborde de forma integral la estrecha relación que existe entre las propiedades edáficas.

Tabla 2. Valores promedios de las variables físicas, químicas y biológicas de suelos Pardos Sialíticos con diferentes manejos, en el municipio de Cienfuegos, Cuba

Manejo	Indicadores estudiados						
	pH H ₂ O	MO (g kg ⁻¹)	SCC (cmolc kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	RCO (mg ha ⁻¹)	PT (%)	H (%)
Bosque	8.12a	37.5a	39.82b	28.52c	61.13a	50.10a	39.05c
Pasto	7.77b	27.6b	53.79a	30.88b	46.10b	37.10b	59.04a
Cultivo continuado	7.25b	25.5c	35.91c	33.74a	43.07c	33.55c	46.05b
ESx	0.06*	0.09*	0.01*	0.01*	0.03*	0.15*	0.017*
Manejo	Ies	Kes (%)	Keh (%)	Da (mg m ⁻³)	Dr (mg m ⁻³)	RB (mg CO ₂ 100 g ⁻¹)	NI
Bosque	0.61b	0.71b	0.52b	1.28a	2.67ns	65.2a	60.0a
Pasto	0.82a	0.66c	1.58a	1.65b	2.65ns	32.4b	38.6b
Cultivo continuado	0.40c	1.14a	0.27c	1.74c	2.54ns	14.5c	37.0b
ESx	0.009*	0.007*	0.010*	0.012*	0.02ns	0.11*	0.01*

Medias con letras distintas en la misma columna difieren entre sí, según prueba de Tukey ($p<0.05$). MO (materia orgánica); SCC (suma de cationes cambiables); P (fósforo); RCO (reserva de carbono orgánico); PT (porosidad total); H (humedad); Ies (índice de estabilidad estructural); Keh (estabilidad estructural en húmedo); Kes (estabilidad estructural en seco); da (densidad aparente); Dr (densidad real); RB (respiración basal); y NI (número de insectos). Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Número de componentes principales a partir de criterios de autovalor y porcentaje

Número de componentes	Valores	Varianza (%)	Porcentaje acumulado
1	8.61382	66.260	66.260
2	4.38618	33.740	100.000

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Ubicación de las propiedades edáficas

Indicadores	Componente 1	Componente 2
pH	0.338688	-0.0521128
Materia orgánica (MO)	0.340165	-0.0273209
Fósforo (P)	-0.319623	-0.16542
Suma de cationes cambiables (SCC)	-0.306548	0.475545
Reserva de carbono orgánico (RCO)	0.339958	-0.0319922
Porosidad total (PT)	0.340661	-0.00918339
Humedad (H)	-0.206627	0.379661
Índice de estabilidad estructural (les)	0.0769396	0.465149
Estabilidad estructural en seco (Kes)	-0.205966	-0.380366
Estabilidad estructural en húmedo (Keh)	-0.0400503	0.474172
Densidad aparente (Da)	-0.340497	0.0174043
Respiración basal (RB)	0.337767	0.0627639
Número de insectos (NI)	0.334952	-0.0875092

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Valores del ICS Pardo Sialítico bajo diferentes sistemas de manejo agrícola

Manejo	ICS
Bosque	0.90
Conservado	0.88
Agrogénico	0.63

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Un efecto significativo del manejo agrícola se aprecia sobre las propiedades químico-físicas y biológicas, lo cual permite reconocer que los indicadores seleccionados explican apropiadamente su variabilidad total y exponen las diferencias entre los manejos estudiados.

El resultado obtenido, en cuanto a la Dr, se relaciona con el volumen real ocupado por las partículas y la masa del material sólido seco, de lo cual se infiere que esta es una propiedad inherente al

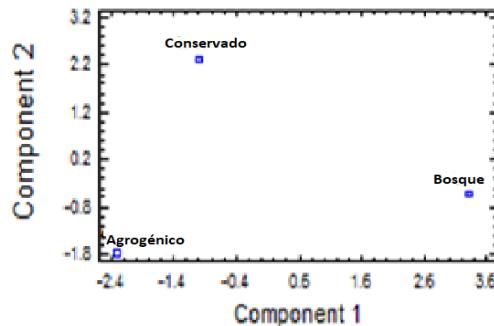


Figura 2. Análisis gráfico del comportamiento de los agroecosistemas según el manejo. Fuente: elaboración propia.

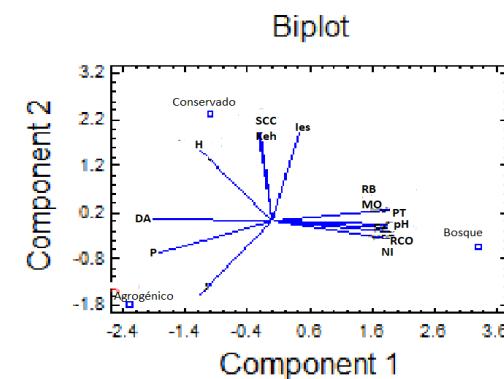


Figura 3. Agrupamiento de los indicadores edáficos según el manejo del suelo. Fuente: elaboración propia.

tipo de suelo, donde las partículas se asocian según su tamaño y se agregan estructuralmente formando una masa estable que tipifica el tipo de suelo condicionado por el desarrollo geológico y evolutivo (Hernández, 2021).

En suelos pardos agrogénicos con diferentes manejos, Socarrás et al. (2019) obtuvieron resultados similares a los de esta investigación, en la cual la suma de bases cambiables es alta en la parte superior del perfil de pasto y cultivos, y muy alta en el horizonte superior del perfil de bosque, por su parte, el contenido de materia orgánica fue mayor en el perfil de bosque en los horizontes superiores. Estudios realizados por Vallejo et al. (2020) demostraron cómo incide el número mínimo de datos en la información certera sobre la fertilidad de un suelo; esto, a su vez, contribuye a alertar sobre la calidad edáfica y, con base en ello, adoptar las medidas correspondientes.

Vargas et al. (2023), al comparar diferentes tipos de hojarascas (encino y pino) demostraron que aportan cantidades considerables al suelo, con una media de 8475 mg ha⁻¹. Resultado similar fue obtenido por Contreras et al. (2023), quienes demostraron que la presencia de árboles en los sistemas agrícolas mejora la calidad del suelo, lo que conlleva la captura de carbono en más de 19 %. En suelos ferralíticos rojos lixiviados de Cuba, se establecieron los cambios en el

CO₂ bajo diferentes coberturas (arboledas, pastizales y áreas de cultivo); con ello se determinó mayor contenido en las arboledas, seguidas de los pastizales y las más bajas se registraron en las áreas de cultivo continuado (Hernández et al., 2017).

Por otra parte, Núñez et al. (2023) destacan que entre los factores que influyen en la respiración del suelo se encuentran, entre otros, la estructura, la porosidad, la disponibilidad de oxígeno, los sistemas agrícolas en particular, el manejo, el tipo de cultivo y la composición bioquímica de los residuos de cultivo que ingresan en el suelo. Asimismo, el pH es una de las propiedades más importantes para determinar la calidad edáfica, a partir de su influencia en la disponibilidad de nutrientes, en las reacciones químicas del suelo y en la actividad de los microorganismos (Vallejo et al., 2020).

En este estudio se demostró que el periodo de descanso en los pastizales contribuye al mejoramiento de la fertilidad del suelo a través del reciclaje de nutrientes y la fijación de nitrógeno realizada por algunas especies; así como a la regulación del balance hídrico al conservar agua y reducir la evaporación; y también contribuye a la fijación de CO₂ (Roca et al., 2023). Además, los periodos largos de bárbechos con pastos hacen que las raíces de estas especies mejoren algunas propiedades del suelo, ya sea como cobertura vegetal o por defoliación a causa del pastoreo, lo que hace que el carbono se incorpore al suelo incrementando la materia orgánica; ello contribuye a una mejor calidad del suelo.

El sistema de cultivo continuado demuestra un efecto perjudicial del manejo agrícola en las propiedades que fueron evaluadas. La preparación intensiva del suelo y su cultivo intensivo durante un periodo largo pueden provocar el deterioro de la fertilidad del suelo. La no aplicación de prácticas agroecológicas, como el uso de los residuos de las cosechas, el intercalamiento de cultivos, las barreras vivas o muertas, entre otras, podría provocar la degradación del recurso suelo.

Un estudio realizado en suelo Pardo bajo diferentes manejos demostró que la humedad del suelo presenta los valores mayores en las profundidades de 0-13 cm en el suelo de bosque, de 18-42 cm en el suelo cultivado y de 25-45 cm en suelo de pasto. En el perfil de suelo bajo bosque la porosidad total fluctuó entre satisfactorio a excelente con 57 % de poros, mientras los perfiles bajo pastos y cultivo continuado mostraron valores muy bajos, además, se originaron alteraciones en la densidad aparente y real, la porosidad y en la estabilidad estructural (Socarrás et al., 2022).

Por otra parte, las propiedades bioquímicas y biológicas del suelo se modifican rápidamente, por ello constituyen un llamado de alerta frente su degradación agroproductiva (Zhijun et al., 2018). Este criterio se vio reflejado en las modificaciones

de las propiedades del suelo conservado con respecto al cultivo continuado, donde la presencia de microorganismos en el suelo fue baja. Así mismo, la presencia de insectos es también un indicador del estado de salud de un suelo, ya que su población depende de la disponibilidad de recursos nutricionales para su supervivencia.

Resultados obtenidos por Dagatti et al. (2024), al evaluar el impacto de 2 sistemas de producción (convencional y agroecológico) sobre la comunidad de insectos, colémbolos y arañas, demuestran que en el sistema agroecológico existe una distribución más equitativa en los distintos grupos funcionales. La disminución de la presencia de insectos en el sistema agrogénico pudiera deberse a la aplicación de fertilizantes minerales, el uso de plaguicidas y herbicidas que han tenido lugar por largos períodos, lo cual ha podido influir en pérdida de la vida microbiana del suelo.

Sobre este tema, estudios realizados por Cabrera et al. (2022) consideraron que la macrofauna edáfica agrupa los invertebrados mayores de 2 mm de diámetro, las termitas y las hormigas; estos tienen la función de actuar como ingenieros del suelo al incidir en la formación de poros, la humificación y mineralización de la materia orgánica, y la infiltración del agua. Lo anterior se corrobora en observaciones realizadas durante los muestreos, en las que se hallaron ejemplares de la macrofauna, tales como detritívoros, depredadores, herbívoros e ingenieros del suelo, que fueron muy escasos en el suelo agrogénico (menos del 20 % de individuos).

Un importante atributo asociado a los procesos microbiológicos lo constituye la respiración basal, la cual está relacionada con la transformación de la MO, el secuestro de carbono y la disponibilidad de nutrientes (Acosta et al., 2024). De esta manera, los resultados descritos en esta investigación corroboran el criterio de mejor funcionamiento biológico del suelo en aquel sistema que se mantiene en equilibrio (bosque) y donde el ser humano no ha intervenido con acciones que han llevado procesos de degradación progresiva (agrogénico).

Estudios realizados por Somoza y Vázquez (2023) evidenciaron que la agriculturización resulta un motor clave en el deterioro de la capacidad del suelo para mantener la provisión de servicios ecosistémicos asociados. Por otra parte, investigaciones realizadas por García et al. (2024) demostraron que la densidad aparente, el pH (KCl), el contenido de materia orgánica, el carbono orgánico total, el nitrógeno mineral y los grupos microbianos (bacterias, hongos y actinomicetos) resultaron indicadores de calidad para la evaluación de los suelos.

Los indicadores físicos, químicos y biológicos no determinan por sí solos la calidad edáfica; en contraste, varios estudios concuerdan en que la MO constituye el principal indicador de la degradación

de un suelo (Ojeda et al., 2018). Los resultados de este estudio indican que los valores del ICS fueron superiores en el sistema bajo bosque de más de 50 años y fue inferior para el sistema donde el factor humano incidió con sus prácticas inadecuadas (agrogénico). Por otra parte, al ser este sistema muy dependiente de insumos químicos (fertilizantes, plaguicidas y herbicidas) así como del uso de maquinaria agrícola, se produce un impacto negativo en la calidad del suelo.

Un resultado intermedio se obtuvo para el sistema conservado (pastizal), el cual está más próximo al estado de calidad ideal (bosque), lo que podría estar relacionado con el periodo de barbecho, lo cual favorece el descanso del suelo y, con ello, su recuperación. Investigaciones realizadas para evaluar el efecto de la presencia o no del marabú (*Dichrostachys cinerea* L.) en suelos pardos sialíticos degradados, demostraron que el suelo cubierto con esta especie mejora sus indicadores químicos, físicos y biológicos (Rutigliano et al., 2023).

Los ICS mostraron que existen indicadores capaces de reflejar los cambios ocasionados por las prácticas de manejo en este tipo de suelo, entre ellos, la materia orgánica (MO) y la respiración basal (RB), esta última considerada como un indicador directo de la actividad microbiana e indirecta de los contenidos de MO del suelo. Por tanto, se hace necesaria la implementación de prácticas de conservación de suelos como el uso de plantas de coberturas, el empleo de abonos orgánicos, la rotación e intercalamiento de cultivos, la mínima o cero labranza, las cuales, en su conjunto, contribuyen a mejorar y mantener la calidad agroproductiva del suelo.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron demostrar la degradación de los suelos agrogénicos, ya que alcanzaron un bajo índice de calidad, el cual, en contraste, es alto bajo las condiciones de bosque, lo que evidencia el efecto de las inadecuadas prácticas agrícolas sobre el suelo. Las variables edáficas como materia orgánica, respiración basal, pH, reserva de carbono orgánico y presencia de insectos resultaron buenos indicadores para evaluar la calidad del suelo y permitieron detectar los cambios producidos en los diferentes sistemas de manejo a partir de la transformación que sufren de bosque>conservado>cultivo continuado.

Referencias

- Acosta, L. L.; Salcedo, E.; Benedicto, G. S.; Gallardo, J. F.; Zamora, J. F. y Casas, J. (2024). Bagazo y composta de bagazo de agave tequilero en suelos contrastantes: 3. Respiración del suelo y emisiones de gases efecto invernadero. *Biotecnia*, 26, 222-232. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2178>
- Amorin, S. H.; Ashworth, J. A.; Wiemhold, J. B.; Savin, M.; Allen, F.; Saxton, A.; Owens, P. y Curi, N. (2020). Soil quality indices based on long-term conservation cropping system management. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1), e20036. <https://doi.org/10.1002/agg2.20036>
- Anderson, J. M. e Ingram, J. S. (1993). Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2º Ed. CAB International. http://www.researchgate.net/publication/232141777_Tropical_Soil_Biology_and_Fertility_A_Handbook_of_Methods
- Bernal, A. F. y Hernández, A. J. (2017). Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura. *Cultivos Tropicales*, 2017, 38(4), 50-57. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n4/ctr10417.pdf>
- Cabrera, G. C.; Sánchez, J. A y Ponce de León, D. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221, 1-21. <https://cu-id.com/2402/v22e01>
- Contreras, J. L.; Martínez, J.; Rodríguez, J. L.; Barragán, W.; Garrido, J. y Falla, C. K. (2023). Índice de calidad del suelo bajo sistemas agropecuarios en el bosque seco tropical-Colombia. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-18. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1694>
- Cruz, G.; Guerra, E. A.; Valderrábano, J. M. y Campo, J. (2020). Indicadores de calidad de suelos en bosques templados de la Reserva de la Biosfera los Volcanes, México. *Terra Latinoamericana*, 38, 781-793. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.421>
- Dagatti, C. V.; Fernández, C. F.; González, M. F.; Mazzitelli, M. E.; Marcucci, B.; Solís, S. E.; Bonfanti, S. y Uliarte, E. M. (2024). Diversidad de insectos, colémbolos y arañas en viñedos bajo diferentes sistemas de producción, convencional y agroecológico, en Mendoza, Argentina. *Ecología Austral*, 34(1), 141-158. <https://doi.org/10.25260/EA.24.34.1.0.2272>
- Echeverría, E. G.; Castañeda, E.; Robles, C.; Martínez, V.; Santiago, G. M. y Rodríguez, G. (2023). Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(1), 49-67. <https://doi.org/10.60158/rma.v10i1.376>
- García, C.; Martínez, F.; Rivero, B.; Morales, A. N.; Dueña, G.; Carabaloso, A.; Oliva, D. y Oliva, D. (2024). Evaluación de indicadores de calidad de suelos en la finca "Los Olivas", provincia Matanzas. *Ingeniería Agrícola*, 14(2). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAGRIC/article/view/1860>
- Hernández, J. A. (2021). Área que ocupan los agrupamientos y tipos genéticos de los suelos en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 42(3), e13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000300013&lng=es&tlang=es
- Hernández, A.; Vargas, D.; Bojórquez, J. I.; García, J. D.; Madueño, A. y Morales, M. (2017). Carbon losses and soil property changes in Ferralic Nitisols from Cuba under different coverages. *Scientia Agricola*, 74(4), 311-316. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0117>
- Nuñez, P. J. L., Pérez, N. J., & Prado, H. J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6), e3148. Epub 30 de octubre de 2023. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- Ojeda, L. J.; Machado, Y.; Bernal, Y.; Hernández, M. E.; Font, L.; Hernández, C. y Casanovas, E. (2018). Índice de calidad del suelo en la Empresa Pecuaria El Tablón (Cienfuegos, Cuba). *Pastos y Forrajes*, 41(1), 13-20. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000100002

- Paneque, M.; Calaña, M. J.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, C. T. y Caruncho, M. (2002). Manual de técnicas analíticas para el análisis de las aguas residuales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas - INCA. [manual-de-tecnicas-analiticas-para-el-analisis-de-las-aguas-residuales-5df2a1876ce26 \(xdoc.mx\)](https://manual-de-tecnicas-analiticas-para-el-analisis-de-las-aguas-residuales-5df2a1876ce26 (xdoc.mx))
- Roca, J. A.; Vera, J. C.; Coveña, F. A. y Rivadeneira, R. T. (2023). Revisión bibliográfica de la arborización en sistemas de pastoreo racional sobre efecto del estrés calórico en vacas. *Maestro y Sociedad*, 20(4), 959-966. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6179>
- Rodríguez, I.; González, F.; Reyes, N. y Betancourt, I. (2023). Principales problemas ambientales en la finca La Victoria del municipio Guisa, Granma, Cuba. *Chone, Ciencia y Tecnología*, 1(02). <https://www.cct-uleam.info/index.php/chone-ciencia-y-tecnologia/article/view/62>
- Rutigliano, F. A.; Marzaioli, R.; Grilli, E.; Coppola, E. y Castaldi, S. (2023). Microbial, physical and chemical indicators together reveal soil health changes related to land cover types in the southern European sites under desertification risk. *Pedobiología*, 99-100, 150894. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2023.150894>
- Socarrás, Y.; Hernández, A.; Terry, E.; González, P. J.; Sánchez, Á. L. y Delgado, O. (2019). Changes in the morphological properties of sialitic Brown soils subjected to different agricultural management in Cuba. *Idesia (Arica)*, 37(3), 47-53. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000300047>
- Socarrás, Y.; Olivera, D.; Terry, E.; Hernández, A.; Bernal, A. y González, P., J. (2022). Efectos de diferentes sistemas de manejo sobre las propiedades físicas de un Cambisol tropical, Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S1), 565-571. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2667>
- Somoza, A. y Vázquez, P. (2023). Variación espacio temporal del stock de carbono orgánico y su relación con los cambios en el uso del suelo. Partido de Tandil, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, 1(70), 476-513. <https://doi.org/10.15359/rgac.70-1.18>
- Vargas, B.; Amezcua, M.; López, J. O.; Cueto, J. A.; Cruz, F.; Nájera, J. A. y Aguirre, C. G. (2023). Estimación de los almacenes de carbono orgánico en el suelo en tres tipos de bosque templado en Durango, México. *Botanical Sciences*, 101(1), 90-101. <https://doi.org/10.17129/botsci.3094>
- Vallejo, Q. V. E., Afanador, B. L. N., Coca, P. D. A., Vargas, G. A. F., Bautista, M. M. F., y Mendoza, H. A. (2020). Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos. *Colombia forestal*, 23(1), 35-50. <https://doi.org/10.14483/2256201X.14856>
- Zhijun, H.; Selvalakshmi, S.; Vasu, D.; Liu, Q.; Cheng, H.; Guo, F. y Ma, X. (2018). Identification of indicators for evaluating and monitoring the effects of Chinese fir monoculture plantations on soil quality. *Ecological Indicators*, 93, 547-554. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.034>