

23

EFEECTO ANTRÓPICO

**EN PROPIEDADES DEL SUELO EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN LA GRANJA SANTA INÉS**

EFECTO ANTRÓPICO

EN PROPIEDADES DEL SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN LA GRANJA SANTA INÉS

ANTHROPIC EFFECT ON SOIL PROPERTIES IN AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS IN SANTA INÉS FARM

Gustavo Gonzalo Pilco-Machoa¹

E-mail: gpilco1@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7537-8584>

Rosa Victoria Castro-Chamba¹

E-mail: rcastro3@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7928-4738>

Irán Rodríguez-Delgado¹

E-mail: irodriguez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

Hipólito Israel Pérez-Iglesias¹

E-mail: hperez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-8716>

Rigoberto Miguel García-Batista¹

E-mail: rmgarcia@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>

¹Universidad Técnica de Machala. El Oro. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Pilco-Machoa, G. G., Castro-Chamba, R. V., Rodríguez-Delgado, I., Pérez-Iglesias, H. I., & García-Batista, R. M. (2024). Efecto antrópico en propiedades del suelo en sistemas de producción agrícola en la granja Santa Inés. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 7(3), 240-250.

RESUMEN

El suelo es el elemento principal para la salud de agroecosistemas, sin embargo, las actividades agrícolas han alterado las propiedades del suelo, afectándose la calidad del recurso natural no renovable. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto antropogénico del manejo agrícola en las propiedades físicas, químicas y biológica del suelo en sistemas de producción de la granja Santa Inés, para ello, fueron seleccionados de forma aleatoria puntos permanentes de muestreo en cinco agroecosistemas (cacao, banano, maíz, pastos y bosque) pertenecientes a la granja Santa Inés. El efecto antropogénico en la agricultura ha transformado significativamente las propiedades del suelo, causado por el uso intensivo de labranza agrícola, fertilizantes y pesticidas los que han provocado cambios notables en la densidad aparente, porosidad, contenido de arena, arcilla y nutrientes. Las modificaciones ocurridas en las propiedades físicas, químicas y biológica del suelo Inceptisol reflejan la influencia directa de las prácticas agrícolas en la degradación del suelo y su capacidad para mantener cosechas sostenibles.

Palabras clave:

Impacto antropogénico, degradación del suelo, agroecosistema, pH, CIC, materia orgánica.

ABSTRACT

Soil is the main element for the health of agroecosystems; however, agricultural activities have altered the properties of the soil, affecting the quality of the non-renewable natural resource. The objective of the work was to determine the anthropogenic effect of agricultural management on the physical, chemical, and biological properties of the soil in production systems of the Santa Inés farm. For this, permanent sampling points were randomly selected in five agroecosystems (cocoa, banana, corn, pastures, and forest) belonging to the Santa Inés farm. The anthropogenic effect in agriculture has significantly transformed the properties of the soil, caused by the intensive use of agricultural tillage, fertilizers, and pesticides which have caused notable changes in apparent density, porosity, sand content, clay, and nutrients. The modifications that occurred in the physical, chemical, and biological properties of the Inceptisol soil reflect the direct influence of agricultural practices on soil degradation and its ability to maintain sustainable crops.

Keywords:

Anthropogenic impact, soil degradation, agroecosystem, pH, CIC, organic matter.

INTRODUCCIÓN

La agricultura surge de la necesidad de alimentarse, lo que facilita la transición de un estilo de vida nómada a uno sedentario. Esto se convierte en una de las principales actividades que permiten la evolución de una agricultura tradicional hacia una agricultura sostenible (Fonseca et al., 2019).

El sector agrícola deberá producir alimentos para más de 7,000 millones de personas para el 2030. Durante los últimos dos siglos, la agricultura ha experimentado numerosos cambios para satisfacer la demanda alimentaria (Sobalvarro et al., 2018).

El hombre con el objetivo de incrementar la producción de cultivos ha buscado alternativas que le permitan aumentar de manera significativa la producción de alimentos, dando origen al uso de máquinas que realicen labores de forma rápida y eficiente, por lo tanto, permite reducir costos mientras se incrementa la extensión de terreno empleado para la producción de alimento (Pérez et al., 2017).

El uso de plaguicidas y fertilizantes minerales es una práctica común en la agricultura para aumentar la producción por hectárea. Combinado con la preparación mecanizada del terreno y el mantenimiento de los cultivos, este enfoque permite satisfacer la demanda de alimentos (Molina, 2021).

En consecuencia, el uso de fertilizantes minerales alcanzó popularidad dentro de la agricultura ya que estos ayudan en gran medida a incrementar la producción, sin embargo, el problema radica en que el uso constante de estos productos contribuye al desequilibrio ecológico a gran escala y afectaciones al suelo (Ortiz et al., 2020).

A nivel mundial el uso excesivo de fertilizantes minerales, herbicidas y plaguicidas ha causado afectación a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Es decir, en las últimas décadas debido al crecimiento constante de la población se han provocado cambios relevantes en la calidad del suelo, los mismos se originaron en la Revolución Verde e Industrial; eventos históricos que cambiaron totalmente la agricultura, a utilizar diversas sustancias tóxicas que se han introducido al suelo, generando pérdida de su fertilidad (Zanor et al., 2018).

En Ecuador, en el año 2020, se registraron 12,5 millones de hectáreas destinadas al sector agropecuario, de las cuales el 18,6%, fue empleado para el cultivo de pastos, 16,6%, representan a los cultivos semipermanentes

(banano, caña de azúcar y palma africana) y 49% (que representa la mayor superficie de uso de suelo) corresponde a montes y bosque (Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2021).

El suelo es un recurso natural no renovable esencial para la agricultura, ya que proporciona nutrientes a los cultivos. Sin embargo, debido a la industrialización, globalización y crecimiento demográfico, ha sido progresivamente afectado por el deterioro causado por diversas prácticas agrícolas inadecuadas. El ser humano es el principal responsable de la continua destrucción y degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Novillo et al., 2018).

La deforestación, la agricultura intensiva, la urbanización y la sobre explotación son agentes principales de la degradación del suelo, los que provocan la disminución de la calidad, la contaminación y la compactación de este. Actualmente, el 70% de los suelos presentan este problema en el mundo debido a la pérdida de nutrientes, lo que contribuye a un riesgo para la producción agrícola, ganadera y forestal.

El impacto antropogénico causado por el ser humano es una de las principales razones del desequilibrio del suelo, lo que resulta en una disminución de su capacidad para mantener la productividad. En la actualidad, la transformación y alteración de los agroecosistemas naturales han dado lugar a conflictos y a la pérdida de sus propiedades, debido al establecimiento de prácticas agrícolas no sostenibles.

En Ecuador, la agricultura desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico. El sector agrícola se utiliza para implementar estrategias que ayuden a reducir la pobreza. El 37,23% de la población total vive en áreas rurales y el 57,73% tiene bajos ingresos. El 72,7% de las personas en zonas rurales trabaja en la agricultura, su principal fuente de ingresos, lo que les permite mejorar su calidad de vida (Medina, 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en las zonas productoras de la Granja Santa Inés, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, la cual se encuentra ubicada en vía Machala-Pasaje, km 5,5; parroquia el Cambio, cantón Machala, provincia de El Oro, Ecuador, en los 79° 54'50,1" de longitud oeste y 03°17'29,4" de longitud sur, a 5 msnm (Peñañiel et al., 2024) (Figura 1).

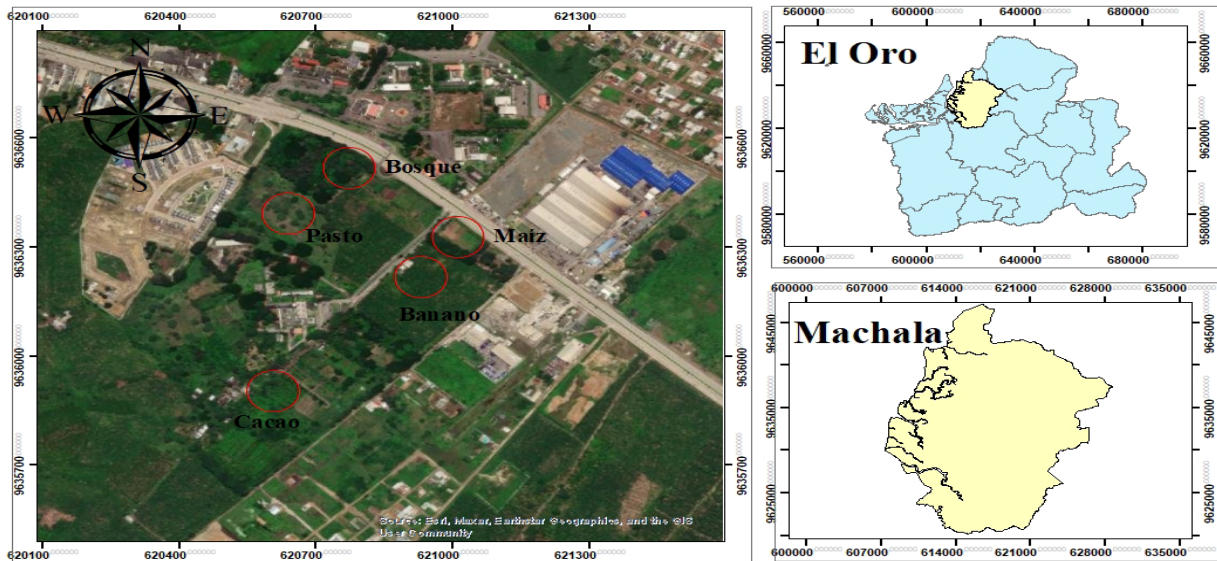


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

La zona de estudio presenta una temperatura media anual 24,6 °C, con una precipitación media anual de 505 mm y una humedad relativa media anual de 77% (Barrezueta, 2019).

Diseño del estudio

Estudio de tipo observacional, prospectivo, transversal y analítico; para su desarrollo se establecieron cinco agroecosistemas (banano, cacao, maíz, pastos y bosque) ubicados dentro de la granja Santa Inés, en los cuales se seleccionaron puntos permanentes de muestreo y se procedió a tomar muestras de suelo a tres profundidades (0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm) a través del uso de pala y cuchillo. Posteriormente, las muestras de 1 kg de suelo fueron homogeneizadas, adecuadamente preparadas y etiquetadas para su envío al laboratorio, con la finalidad de determinar como el manejo agrícola influye en las características del suelo de cada agroecosistema.

Variables a medir y recolección de datos

Para alcanzar el objetivo de la investigación, se llevó a cabo la medición de densidad aparente, espacio poroso, clase textural, contenido de limo, arena y arcilla, así como de la capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, saturación de bases, P, Ca, NH₄, Mg, K y materia orgánica en las muestras de suelo.

En la Tabla 1 se describen las variables medidas además de los métodos empleados para su determinación en el laboratorio Nemalab S.A.

Tabla 1. Propiedades evaluadas y su método de análisis.

Propiedades físicas, químicas y biológica del suelo	Unidad de medida	Método de análisis utilizado
Densidad aparente	g/cm ³	Picnómetro
Espacio poroso	%	
Clase textural		Mediante Cálculo
Contenido de limo, arcilla y arena	%	Bouyoucos
Conductividad eléctrica del suelo	ds/m	Pasta Saturada
Capacidad de intercambio catiónico	Meq/100 g de suelo	Cálculo
Saturación de bases	%	
pH del suelo	Unidad	Potenciómetro
Amonio (NH ₄)	ppm	Espectrofotometría
Fósforo (P)	ppm	Olsen Modificado
Calcio (Ca)	Meq/100 g de suelo	Olsen Modificado

Potasio (K)	Meq/100 g de suelo	Olsen Modificado
Magnesio (Mg)	Meq/100 g de suelo	Olsen Modificado
Materia orgánica	%	Dicromato de Potasio

Fuente: Nemalab (2023).

Procesamiento estadístico

Se realizó la prueba paramétrica de Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor Inter grupos con la finalidad de determinar si se presentan o no diferencias estadísticas entre los sistemas de producción objeto de estudio en relación con las propiedades físicas, químicas y biológicas. Posteriormente, se realizó la prueba de rangos y comparaciones múltiples Duncan para identificar entre que agroecosistemas se presentan diferencias o similitudes entre los diferentes sistemas de producción en función de las variables descritas (Tabla 1).

El análisis estadístico fue llevado a cabo mediante el software estadístico SPSS versión 29 prueba para Windows, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico muestra que se presenta diferencias estadísticamente significativas entre los agroecosistemas en relación con algunas variables en particular se evidenció diferencias altamente significativas en DA, CE, CIC, pH, P, K, Ca, contenido de arcilla y limo; así como, en materia orgánica en al menos una de las tres profundidades del perfil del suelo, lo que demuestra el efecto que puede presentar el manejo agrícola que efectúan los productores en la conservación o degradación de las principales propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Sin embargo, la saturación de bases, NH_4 y espacio poroso no muestran diferencias estadísticamente significativas (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen del resultado alcanzado en el procesamiento de datos realizado con la prueba de ANOVA de un factor intergrupos (inter agroecosistemas) en las tres profundidades del perfil de suelo.

Variables	Profundidades en el perfil (p-valor)		
	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm
DA	0,017*	0,021*	0,047*
Espacio poroso	0,46NS	0,39NS	0,228NS
Arcilla	0,023*	0,04*	0,028*
Arena	0,211NS	0,188NS	0,008**
Limo	0,001**	0,065*	0,121NS
CE	0,012*	0,012*	0,001**
CIC	0,001**	0,179NS	0,052*
Saturación de bases	0,707NS	0,351NS	0,608NS
pH	0,068*	0,011*	0,012*
NH_4	0,323NS	0,161NS	0,059*
P	0,113NS	0,002**	0,018*
Ca	0,171NS	0,036*	0,001**
K	0,024*	0,036*	0,002**
Mg	0,001**	0,001**	0,001**
Sumatoria de Bases	0,001**	0,124NS	0,082*
Materia orgánica	0,024*	0,001**	0,051*

Nota: NS. No existe diferencia significativa. *Diferencia significativa al 95%. **Diferencia significativa al 90%.

Propiedades físicas del suelo

Densidad aparente (g/cm^3)

Los resultados del estudio revelan variaciones significativas en los niveles de compactación del suelo entre diferentes sistemas de producción, con el cultivo de maíz ($1,2 \text{ g/cm}^3$) mostrando el valor mayor a diferencia del agroecosistema cacao ($1,11 \text{ g/cm}^3$) en la profundidad de 0-15 cm. A profundidad de 15-30 cm, el maíz sigue siendo el más

afectado, seguido por bosque, cacao, banano y pastos. Además, se observa que el cultivo de banano (1,31 g/cm³) experimenta un aumento significativo en la compactación del suelo a una profundidad de 30-45 cm seguido de pasto con el nivel más bajo de compactación (1,37 g/cm³). Estas variaciones sugieren un efecto antropogénico en la propiedad del suelo estudiada. Estos resultados respaldan la idea de que las actividades humadas crean un efecto antropogénico que afecta la densidad aparente del suelo al esterar su textura y su actividad a través de prácticas (Tabla 3).

De acuerdo con los hallazgos de Rodríguez et al. (2020) short cycle, grass, cocoa and forest crops were selected, where permanent sampling points were randomly established, and three testing pits were carried out. Soil samples were taken at each depth, homogenized to ensure representative sampling. In order to know whether or not there are significant statistical differences between the means of the physical and chemical properties of the soil as a function of the production systems, the inter-group factor ANOVA ($\alpha=0.05$, la compactación del suelo conduce en una disminución del volumen de poros como consecuencia de la compresión, lo que se refleja en una mayor densidad aparente. La reducción de la porosidad y la permeabilidad obstaculiza la capacidad de las raíces para acceder a los recursos hídricos y nutrientes disponibles en el suelo, lo que limita significativamente el desarrollo radicular y disminuye el rendimiento del cultivo. El manejo agrícola inadecuado contribuye al incremento de la densidad en las capas superficiales del suelo.

Espacio poroso (%)

Estos resultados revelan diferencias en el porcentaje del EP del suelo en diferentes profundidades entre los cinco agroecosistemas estudiados. A una profundidad de 0-15 cm el cacao (52,29%) registró el mayor porcentaje, mientras que pastos exhibe el menor porcentaje (45,6%). En el

intervalo de 15-30 cm del perfil del suelo pastos (52,35%) presentó un porcentaje alto a diferencia del agroecosistema bosque con un porcentaje menor (46,02%). De la misma manera, en la profundidad 30-45 cm se observó en el sistema de producción pastos un porcentaje mayor (51,84%) y banano un porcentaje menor (47,06%) (Tabla 3).

Según Martínez et al. (2008), el porcentaje de espacio poroso se ve afectado por el manejo del suelo. Por tanto, la falta de un nivel adecuado de espacio poroso en el suelo puede causar problemas que afecten negativamente en el crecimiento y productividad de las plantas.

Arena (%)

En la capa superficial del suelo 0-15 cm, el agroecosistema maíz indicó el mayor porcentaje de arena (38%), mientras que bosque presentó el menor porcentaje (28,67%). En el intervalo de 15-30 cm, el maíz registró el mayor contenido de arena (32%), diferente a cacao con el menor contenido (28,67%). En la profundidad de 30-45 cm, se observó una diferencia significativa entre los agroecosistemas estudiados, con el maíz presentando el mayor porcentaje de arena (52%) y el bosque el menor (26,67%) (Tabla 3).

Arcilla (%)

En relación a los contenidos de arcilla el bosque presenta el mayor contenido con un promedio (44%), mientras que los pastos ocuparon el último lugar (14%). A una profundidad de 15-30 cm, el cacao destacó con el mayor porcentaje de arcilla (46,67%), seguido por los demás agroecosistemas, con pastos mostrando el valor más bajo (15,33%). En la capa de suelo de 30-45 cm, el cacao nuevamente lideró con un promedio (41%), mientras que el maíz exhibió el menor promedio de arcilla (14%) (Tabla 3).

Tabla 3. Comportamiento de propiedades físicas del suelo a tres profundidades del perfil en agroecosistemas (maíz, cacao, bosque, banano y pastos).

Agroecosistemas	Profundidad del perfil (0-15 cm)				
	Da	EP	Limo	Arena	Arcilla
Maíz	1, 29a	47,96ab	36bc	38a	26b
Bosque	1,24ab	47,52b	29,33c	28, 67a	44a
Banano	1,2abc	49,55ab	38,67b	32a	30ab
Pastos	1,18bc	45,6b	55, 33a	29, 33a	14bc
Cacao	1,11c	52, 29a	32,67bc	32a	38bc
Profundidad del perfil (15-30 cm)					
Maíz	1,3a	47,85ab	32ac	52a	16,67bc
Bosque	1,27a	46,02b	42a	28,67a	28,67b
Cacao	1,21ab	48,29ab	28abc	2867a	42,67a
Banano	1,19a	51,46a	40a	34, 67a	29,33b

Pastos	1,17a	52,35a	50a	29,33a	15,33c
Profundidad del perfil (30-45 cm)					
Maíz	1,29ac	47,79ab	34ac	52a	14abc
Bosque	1,25bc	48,36b	50a	26,67c	24a
Cacao	1,24abc	48,24ab	30abc	34bc	41a
Banano	1,31ac	47,06a	35a	32bc	33a
Pastos	1,18b	51,84a	44a	45,33ab	18ab

Nota. EP. Espacio poroso.

*Medias con letras distintas, para cada propiedad del suelo y profundidad del perfil, indican diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de producción (p -valor \leq 0,05).

Propiedades químicas del suelo

Conductividad eléctrica (ds/m)

Según los resultados del análisis de suelo el agroecosistema pastos mostro un nivel alto de CE (11,36 ds/m) y maíz el menor nivel de CE (0,46 ds/m). Además, pastos lideró en la profundidad de 15-30 cm por su alto contenido (7,59 ds/m), en relación del maíz que bajo su nivel de CE (0,37 ds/m), en la profundidad 30-45 cm pastos registra su mayor contenido (4.61ds/m) en relación de maíz con un bajo promedio (0,45 ds/m) (Tabla 4).

Los datos no coinciden con la investigación realizada por Coitiño et al. (2015), en la que se observó un aumento en la CE promedio a medida que la profundidad del perfil incrementa.

Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g de suelo)

En la profundidad de 0-15 cm del perfil de suelo, se encontraron diferencias significativas en la CIC entre los agroecosistemas estudiados. Los pastos destacaron una alta capacidad (60,60 meq/100 g de suelo), mientras que el cacao mostró una capacidad menor (34,80 meq/100 g de suelo). En cuanto a la profundidad de 15-30 cm, se mantuvo un promedio alto de CIC en pastos (43,53 meq/100 g de suelo,) en contraste maíz presentó un promedio inferior (34,07 meq/100 g de suelo). A la profundidad de 30-45 cm, el banano registró el promedio más bajo (33,2 meq/100 g de suelo), mientras que el bosque mostró el promedio más alto (39,93 meq/100 g de suelo) (Tabla 4).

Según Martínez et al. (2020), la CIC del suelo guarda estrecha relación con diversas características, como pH, contenido de materia orgánica y la presencia de arcilla. Esta relación se fundamenta en el principio de que a medida que aumenta la carga negativa del suelo, su capacidad para retener e intercambiar cationes también se incrementa.

Saturación de bases (%)

En la primera profundidad del perfil del suelo, se observó que pastos presentó el promedio más alto de saturación de bases (95,49%), mientras que maíz mostró el promedio más bajo (94,86%). En la profundidad de 15-30 cm, el agroecosistema de banano exhibió un alto porcentaje (96,07%), seguido por maíz con el valor más bajo (92,98%). En el perfil de suelo de 30-45 cm, se evidenció un bajo nivel en pastos (92,01%), mientras que el cacao obtuvo el promedio más alto (95,53%) (Tabla 4). Estos resultados resaltan la importancia de la saturación de bases como indicador clave de la capacidad del suelo para retener nutrientes y regular el pH, lo cual influye directamente en su fertilidad y en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento óptimo de las plantas.

pH

Se observó una variación significativa en el pH del suelo. El agroecosistema de pastos mostró el pH más alto (8,63) a una profundidad de 30-45 cm y en cacao (7,75) se presentó el pH promedio menor. El agroecosistema de cacao presentó el pH más bajo (7,5) y pastos (8,6) presento el promedio más alto a una profundidad de 15-30 cm. El análisis de resultados en la profundidad 0-15 cm el agroecosistema de pastos (8,2) presentó el nivel más alto y cacao (7,5) presentó el nivel más bajo (Tabla 4).

El descenso del pH del suelo disminuye la fertilidad por la proliferación de elementos antagónicos, como el Al_3^+ , Mn_4^{++} y Fe_3^+ , mientras que los nutrientes esenciales primarios o esenciales como el K^+ , P^+ y N^+ se vuelven menos disponibles. Esta situación conlleva a una menor eficacia en la utilización de fertilizantes, los cuales, aparte de manifestar toxicidad para el cultivo y adversidades en el crecimiento radicular de las plantas, también ocasionan una reducción en la actividad microbiana (Reyes et al., 2023).

Por lo tanto, al tener un pH entre 7 y 8,63, se indica que el suelo se encuentra ligeramente alcalino, lo cual sugiere la presencia de minerales que pueden elevar el pH del suelo.

Amonio (ppm)

Al analizar los resultados se pudo constatar que el agroecosistema bosque tiene el promedio más alto (31 ppm), mientras que el maíz fue el promedio más bajo (26 ppm), en la profundidad 0-15 cm. En la profundidad 15-30 cm el banano reveló ser el agroecosistema con mayor promedio (34 ppm) y pastos el menor (17 ppm) de todos los agroecosistemas.

Esta variable presentó una mayor concentración de NH_4 en el agroecosistema banano (34,5 ppm) a la profundidad de 30-45 cm de suelo y una menor concentración en el agroecosistema pastos con (15 ppm) (Tabla 4).

Fósforo (ppm)

En la primera profundidad el agroecosistema cacao (11 ppm) presentó el mayor promedio y pastos (7 ppm) el nivel más bajo en comparación con los demás. La presente variable mostró que existe una alta concentración en cacao (10,67 ppm) y una baja concentración en el agroecosistema pastos (7 ppm) en una profundidad de 15-30 cm de suelo y en la profundidad de 30-45 en el agroecosistema banano un alto contenido de fósforo (7 ppm) y en cacao un bajo contenido (10 ppm) (Tabla 4).

Calcio (meq/100 g de suelo)

Según los resultados del análisis de laboratorio el agroecosistema cacao presenta el mayor contenido de calcio (17,45 meq/100 g de suelo) a diferencia del banano en la misma profundidad con el valor más bajo (15,34 meq/100 g de suelo). De la misma manera en la profundidad del perfil de suelo 15-30 cm el agroecosistema cacao con el valor más alto (17,23 meq/100 g de suelo) en comparación con el agroecosistema pastos con el valor más bajo (12,41 meq/100 g de suelo) no obstante en la profundidad de 30-45 cm de suelo el agroecosistema banano con un alto contenido de este elemento (17 meq/100 g de suelo) en relación del agroecosistema pastos con un contenido inferior (10,93 meq/100 g de suelo) (Tabla 4).

Potasio (Meq/100 g de suelo)

El potasio en la profundidad 0-15 cm se encontró en mayor cantidad en el sistema de producción de bosque

(1,18 meq/100 g de suelo) y en maíz (0,6 meq/100 g de suelo) se encontró en menor cantidad. Esta variable en la profundidad 15-30 cm mostró que bosque (0,82 meq/100 g de suelo) obtuvo el promedio más alto, mientras que banano (0,26 meq/100 g de suelo) el promedio más bajo. En la profundidad 30-45 cm del perfil se evidenció que bosque (0,45 meq/100 g de suelo) obtuvo el promedio más alto, mientras que banano (0,12 meq/100 g de suelo) el más bajo (Tabla 4).

Magnesio (Meq/100 g de suelo)

El magnesio en la profundidad 0-15 cm del perfil de suelo detalla al agroecosistema banano con un valor mayor (6,93 meq/100 g de suelo) en relación al agroecosistema cacao con el menor valor (3,84 meq/100 g de suelo). En la profundidad del perfil de 15-30 cm el agroecosistema bosque tiene el mayor valor de magnesio (6,32 meq/100 g de suelo) en comparación al agroecosistema cacao, que alcanzó el menor valor (3,84 meq/100 g de suelo). En la profundidad 30-45 cm del perfil del suelo se evidenció en bosque el promedio más alto (6,28 meq/100 g de suelo) y en cacao el promedio más bajo (3,46 meq/100 g de suelo) (Tabla 4).

Sumatoria de bases (%)

Esta variable tiene un alto porcentaje en el sistema de producción pastos (56,61%) en la profundidad de 0-15 cm de suelo y una baja concentración en el sistema de producción cacao (32,55%), en la profundidad de 15-30 cm de suelo el bosque presentó el mayor valor (39,42%) seguido del maíz con el mínimo valor (31,45%). En vista de aquello el sistema de producción bosque a 30-45 cm de suelo registró un alto contenido de concentración (37,36 %) y pastos un bajo índice de porcentaje de concentración (30,71%) (Tabla 4).

La disponibilidad de nutrientes en el suelo y los procesos que afectan su movilidad y retención son fundamentales para el crecimiento de las plantas. Se mencionan diversos factores fisicoquímicos que influyen en la disponibilidad de nutrientes, como por ejemplo pH, el contenido de materia orgánica, la textura del suelo y el potencial redox, mismos factores pueden afectar la capacidad del suelo para retener y suministrar nutrientes a las plantas, así como la solubilidad de estos.

Tabla 4. Comportamiento de propiedades químicas del suelo a tres profundidades del perfil en agroecosistemas (bosque, cacao, maíz, pastos, banano).

Profundidad de perfil (0-15 cm)										
Agro	CE	CIC	%SB	pH	NH	P	Ca	k	Mg	SB
Bosque	2,74a	43,20b	94,96a	8,1a	31a	10a	16,77a	1,18a	5,89b	39,92b
Pastos	11,36a	60,60a	95,49a	8,2a	28a	7ab	16,49a	1,04a	4,56cd	56,61a
Banano	1,34a	39bc	94,02a	8,1a	29a	9a	15,34a	0,21abc	6,93a	35,71bc
Cacao	0,55ac	34,80c	94,65a	7,5c	27a	11a	17,45a	0,7a	3,84d	32,55c
Maíz	0,46abc	35,80bc	93,86a	8,1a	26a	9a	15,56a	0,6ac	5,03c	34,41bc
Profundidad de perfil (15-30 cm)										
Maíz	0,37abc	34,07b	92,98a	8,2a	32c	7,76b	15,9a	0,35b	4,78bc	31,45b
Bosque	2,74a	42,53a	94,04a	8,4a	24ac	8,33b	16,13a	0,82a	6,32a	39,42a
Cacao	0,55c	35,53a	92,8a	7,5b	26ac	10,67a	17,23a	0,57ab	3,68c	33,63a
Banano	1,34ac	36,8a	96,07a	8,03ab	34ac	7,67b	16,26a	0,26b	5,53ab	34,6a
Pastos	7,59a	43,53a	94,28a	8,6a	17ab	7b	12,41b	0,44b	3,69c	39,41a
Profundidad de perfil (30-45 cm)										
Maíz	0,45d	35,2ab	93,3a	8,27ab	23ab	8,33b	16,17ab	0,2ab	5,43b	32,51ab
Bosque	3,48b	39,93a	92,79a	8,43ab	32ab	8,33b	14,84ab	0,45a	6,28a	37,36a
Cacao	0,84d	33,3b	95,53a	8,2b	25b	10a	15,52ab	0,18b	3,46d	31,81ab
Banano	1,6c	33,2b	93,54a	7,75c	34,5a	7b	17a	0,12b	5,03b	31,06b
Pastos	4,61a	33,33b	92,01a	8,63a	15abc	8b	10,93c	0,15b	4,16c	30,71b

Nota. Agro: Agroecosistemas, %SB: Porcentaje desaturación de bases, SB: Sumatoria de bases

*Las medias están representadas por letras distintas para cada propiedad del suelo (en columnas), esto señala diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de producción cuando el p-valor es menor a 0,05.

Materia orgánica (%)

El porcentaje de materia orgánica presente en el suelo a una profundidad de 0-15 cm mostró variaciones significativas entre los diferentes sistemas de producción, el cacao registró el valor más alto (2,67 %), mientras en la profundidad 15-30 cm el cacao el valor más bajo (2,30 %) el agroecosistema que registro el valor más alto en esta profundidad de 30-45 nuevamente el cacao (1,98 %) vuelve a tener el valor más alto registrado en comparación con los diferentes sistemas de producción. En contraste, el contenido más bajo se registró en el agroecosistema de pastos con valores entre 0,82 y 0,34 (Tabla 5).

La degradación de las propiedades física del suelo resulta de la disminución de la materia orgánica la que con lleva efectos adversos en sus propiedades físicas. Estos efectos incluyen la perdida de la estructura del suelo, la disminución de la porosidad, aumento de la densidad aparente y la formación de costras en determinados tipos de suelo.

Según los resultados obtenidos por Palma et al. (2015), el contenido de materia orgánica presente en el suelo es más elevado en los primeros 10 cm de profundidad, pero a medida que la profundidad va aumentando el contenido de materia orgánica en el suelo disminuye gradualmente.

Tabla 5. Comportamiento de propiedad biológica del suelo a tres profundidades del perfil en agroecosistemas (maíz, bosque, banano, cacao y pastos).

Agroecosistemas	Profundidad (0-15 cm)
	MO (%)
Maíz	1,16acd
Bosque	2,46a
Banano	1,23d
Pastos	0,82bcd

Cacao	2, 67a
	Profundidad (15-30 cm)
Maíz	0,77bc
Bosque	0,97bc
Cacao	2, 3a
Banano	1,07b
Pastos	0,48c
	Profundidad (30-45 cm)
Maíz	0,75b
Bosque	0,68ab
Cacao	1,98a
Banano	1,25ab
Pastos	0,34abc

*Las medias están representadas por letras distintas para cada propiedad del suelo (en columnas), esto señala diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de producción cuando el p-valor es menor a 0,05.

CONCLUSIONES

Las variaciones significativas en la densidad aparente, espacio poroso, contenido de arena y arcilla en diferentes profundidades del suelo indican un impacto antropogénico en la estructura y composición del suelo, lo que repercute directamente en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por otro lado, el espacio poroso y la proporción de partículas como arena y arcilla son determinantes para la porosidad del suelo, afectando su capacidad para retener agua y nutrientes, lo que influye significativamente en la productividad agrícola.

Los factores químicos del suelo en distintos sistemas de producción agrícola presentaron diferencias significativas en parámetros como la conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases, pH y concentraciones de nutrientes como amonio, fósforo, calcio, potasio y magnesio, estos resultados subrayan la influencia de prácticas agrícolas sostenibles del suelo para optimizar la producción agrícola a largo plazo.

Los altos porcentajes de materia orgánica encontrados en el cacao en todas las profundidades indican su potencial para mejorar la salud del suelo y sus propiedades físicas. Sin embargo, la degradación de la materia orgánica puede conducir a efectos adversos, como la pérdida de estructura del suelo y la disminución de la porosidad, lo que destaca la necesidad de prácticas sostenibles de manejo del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrezueta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>

Coitiño, J., Barbazán, M., & Ernst, O. (2015). Conductividad eléctrica aparente para delimitar zonas de manejo en un suelo agrícola con reducida variabilidad en propiedades físico-químicas. *Agrociencia*, 19(1), 102–111. <https://doi.org/10.31285/agro.19.326>

Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2021). Boletín Técnico “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin_Tecnico_ESPAC_2020.pdf

Fonseca, N., Salamanca, J., & Vega, Z. (2019). La agricultura familiar agroecológica, una estrategia de desarrollo rural incluyente. Una revisión. *Temas Agrarios*, 24(2), 96–107. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.1356>

Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>

Martínez, F., Guevara, F., Aguilar, C., Rodríguez, L., Reyes, M., & La O-Arias, M. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 871–881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>

Medina, N. (2019). ¿La comercialización asociativa de los pequeños agricultores mejora los ingresos? Evidencia de los agricultores de papa en el Ecuador. *Revista Economía*, 69(109), 129–148. <https://doi.org/10.29166/economia.v69i109.2034>

Molina, J. E. (2021). La revolución verde como revolución tecnocientífica: artificialización de las prácticas agrícolas y sus implicaciones. *Revista Colombiana de Filosofía de La Ciencia*, 21(42), 175–204. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41469137006>

Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., & Moreira, V. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5297>

Ortiz, J., Faggioli, V., Ghio, H., Boccolini, M., Ioele, J., Tamburrini, P., García, F., & Gudelj, V. (2020). Impacto a largo plazo de la fertilización sobre la estructura y funcionalidad de la comunidad microbiana del suelo. *Ciencia Del Suelo*, 38(1), 45–55. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672020000100005

- Palma, D., Salgado, S., Marinez, G., Zavala, J., & Lagunes, L. (2015). Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 163–172. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000200004&lang=pt%5Cn-http://ref.scielo.org/v66hfm
- Peñafiel, K., Castillo, M., Pérez, H., & Rodriguez, I. (2024). Respuesta del cultivo de zanahoria a la fertilización orgánica y nitrogenada en la ganga Santa Inés. *Polo Del Conocimiento*, 9(3), 3788–3806. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/pc.v9i3.6877>
- Pérez, J., Herrera, M., Vivas, R., García, G., & Valdiviezo, R. (2017). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica. *Siembra*, 4(1), 59–65. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.500>
- Reyes, Y., Borges, Y., & Hernández, N. (2023). Caracterización química de suelos de uso agrícola en una unidad de producción agroalimentaria de Moa. *Minería y Geología*, 39, 44–54. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122023000100044&lng=es&nrm=iso
- Rodríguez, I., Pérez, H., García, R., & Quezada, A. (2020). Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Universidad y Sociedad*, 12(5), 389–398. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v12n5/2218-3620-rus-12-05-389.pdf>
- Sobalvarro, H., Karina, K., Lina, A., Centeno, M., & Garcia, C. (2018). La revolución verde Green revolution. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4, 1040–1045. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941755011/3941755011.pdf>
- Zanor, G., López, M., Martínez, R., Ramírez, L., Gutierrez, S., & León, M. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 19(4), 1–10. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432018000400006&script=sci_abstract