

23

COMPORTAMIENTO

**DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICA DEL
SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

COMPORTAMIENTO

DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICA DEL SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

BEHAVIOR OF PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL IN AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS

Irán Rodríguez-Delgado¹

E-mail: irodriguez@utmachala.edu.ec

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

Giraldo Jesús Martín-Martín²

E-mail: giraldo@ihatuey.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8823-1641>

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. Ecuador.

²Universidad de Matanzas. Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rodríguez-Delgado, I., Martín-Martín, G. J., Pérez-Iglesias, H. I., & García-Batista, R. M. (2025). Comportamiento de propiedades físicas, químicas y biológica del suelo en sistemas de producción agrícola. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 8(S1), 184-196.

RESUMEN

El suelo es un recurso natural no renovable que garantiza la nutrición vegetal, la producción agrícola y el sustento alimenticio de una población en constante crecimiento. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de propiedades físicas, químicas y biológica en agroecosistemas establecidos en la granja Santa Inés, El Oro, Ecuador. En cinco agroecosistemas (banano, maíz, pastos, cacao y bosque) seleccionados, identificados y georreferenciados previamente se efectuó la toma de muestras de suelo a tres profundidades del perfil (0-15, 15-30 y 30-45 cm). El estado actual de la degradación del suelo fue estimado por escalamiento óptimo a partir de los valores obtenidos en densidad real (Dr), pH, contenidos de N total, P asimilable, K, Ca, Mg intercambiables, CE, CIC, MO y las categorías de clase textural. El manejo intensivo y continuado en agroecosistemas donde no se aplican alternativas para la conservación y mejoramiento del suelo provocan el incremento de la compactación y disminución del contenido de MO, CIC y pH, así como, su aptitud para producir producciones de forma sostenida. El manejo agrícola de agroecosistemas provoca un impacto negativo en las propiedades físicas, químicas y biológica del suelo cuando no se aplican prácticas que contribuyan a su conservación y mejoramiento.

Palabras clave:

Degradación del suelo, erosión y compactación, actividad antrópica, sistemas de producción.

ABSTRACT

Soil is a non-renewable natural resource that guarantees plant nutrition, agricultural production and food sustenance for a constantly growing population. The objective of the work was to evaluate the behavior of physical, chemical and biological properties in agroecosystems established on the Santa Inés farm, El Oro, Ecuador. In five agroecosystems (banana, corn, pastures, cocoa and forest) previously selected, identified and georeferenced, soil samples were taken at three depths of the profile (0-15, 15-30 and 30-45 cm). The current state of soil degradation was estimated by optimal scaling from the values obtained in real density (Dr), pH, total N contents, assimilable P, exchangeable K, Ca, Mg, EC, CEC, MO and the textural class categories. Intensive and continued management in agroecosystems where alternatives for soil conservation and improvement are not applied cause an increase in compaction and a decrease in the content of OM, CIC and pH, as well as its ability to produce production in a sustained manner. The agricultural management of agroecosystems causes a negative impact on the physical, chemical and biological properties of the soil when practices that contribute to its conservation and improvement are not applied.

Keywords:

Soil degradation, erosion and compaction, anthropogenic activity, production systems.

INTRODUCCIÓN

La evolución de la especie humana y la necesidad de alimentarse de forma constante han contribuido a la modificación de ecosistemas naturales en sistemas de producción agrícola; generándose conflictos en la conservación de los recursos naturales que han provocado desequilibrios ecológicos (Quijano-Cuervo et al., 2021) y la disminución de la capacidad del suelo para la obtención de cosechas óptimas.

El suelo es un recurso natural no renovable, su fertilidad se encuentra determinada por sus propiedades físicas, químicas y biológicas; las cuales constituyen las características fundamentales que contribuyen al crecimiento de los cultivos y animales; y principal indicador de la calidad del recurso natural, que se refleja en el estado actual de su degradación (Intergovernmental Technical Panel on Soils., 2020).

La degradación del suelo constituye un problema complejo que se incrementa de forma sistemática a nivel mundial, principalmente en los sistemas de producción agrícola, debido a causas naturales y antropogénicas; que generan la pérdida del equilibrio en sus propiedades físicas (erosión, compactación), químicas (déficit o acumulación excesiva de nutrientes, acidez, sodicidad, salinidad, contaminación y desequilibrios biogeoquímicos) y biológicas (pérdida de materia orgánica, disminución de macro y microfauna) que limitan su productividad y capacidad de garantizar el sustento de una población que se incrementa de forma continua. Puede ser causada por procesos naturales o por el hombre (efecto antropogénico) al quedar el suelo al descubierto, expuesto a la acción del agua y del viento (Castro et al., 2022).

Las consecuencias de la degradación del suelo se centran en la pérdida de nutrimentos por infiltración o arrastre de partículas (Yan et al., 2020), deterioro de la fertilidad y disminución de áreas agrícolas; lo que afecta la producción sostenible de cultivos en la mayoría de los países a nivel mundial y regional.

En el mundo la expansión e intensificación de la agricultura provocó un acelerado cambio en la estructura del paisaje, donde el excesivo uso de agroquímicos ha generado la pérdida directa de hábitat y degradación de la calidad ambiental, así como, afectaciones en la biodiversidad de especies vegetales y animales (Lanz et al., 2018). La actividad agrícola ha provocado la degradación del suelo, expansión de la frontera agrícola y pérdida de hábitats agrícolas tradicionales (Reyes-Palomino & Cano-Ccoa, 2022).

En Ecuador la producción agrícola se realiza en un contexto caracterizado por el cambio climático y menor productividad de las áreas dedicadas a los cultivos, atribuido a un inadecuado manejo agrícola de la tierra en el tiempo y al excesivo uso de productos químicos (fertilizantes minerales, plaguicidas y herbicidas).

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2012) en la Costa, Sierra y el Oriente ecuatoriano durante el período 1982-2002 un área de 34 686,3 km² correspondía a suelos degradados.

En la región sur de Ecuador, donde se encuentra la provincia de El Oro, se presenta alta diversidad de pisos altitudinales y ecosistemas, donde se ha producido una reducción de la superficie, incremento de la frontera agrícola, degradación de tierras, avance de los ecosistemas desérticos del sur, prolongados periodos de sequía y contaminación de recursos hídricos, que en su conjunto afectan la producción agrícola y las potencialidades del recurso natural para mantener en el tiempo cosechas óptimas.

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador (2020), del total del área nacional utilizada en la agricultura, los cultivos con mayor representación son el maíz (20,74%), cacao (19,45%), arroz (15%), palma africana (12,91%), banano (8,19%), caña de azúcar (5,33%), plátano (3,18%), café (2,76%), soya (1,59%) y papa (1,30%). En la granja Santa Inés se realiza una explotación agrícola de diferentes especies de cultivo, entre ellas: banano, cacao, pasturas y maíz. Cada uno de estos agroecosistemas contribuye a la degradación del suelo, ya sea, por excesivo uso de agroquímicos, la compactación o la reducción de la materia orgánica

El objetivo de la investigación fue evaluar el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo mediante un análisis de su relación en sistemas de producción agrícolas establecidos en la granja Santa Inés, provincia de El Oro, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio investigativo de tipo observacional, explicativo y transversal se desarrolló en la granja Santa Inés, Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), perteneciente a la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), parroquia El Cambio, cantón Machala, provincia de El Oro, Ecuador, ubicada en las coordenadas geográficas 3°17'24,53" de latitud sur y 79°54'43,89" de longitud oeste, a una altitud de 5 msnm (Figura 1).

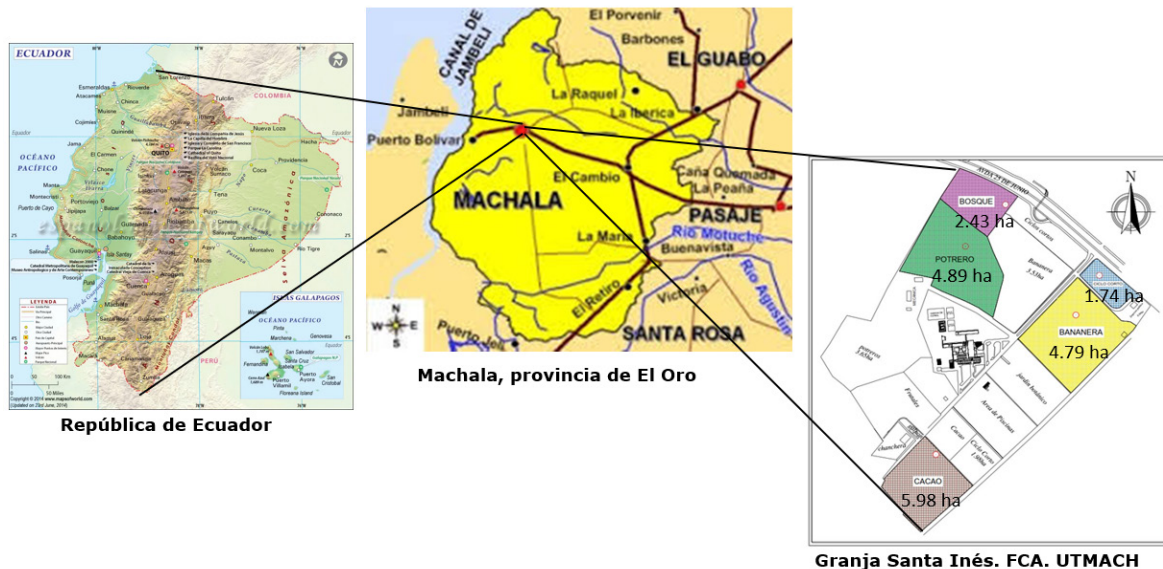


Figura 1. Ubicación de agroecosistemas en granja Santa Inés, Machala, El Oro, Ecuador.

En la granja Santa Inés el tipo de suelo predominante pertenece al orden Inceptisol, suborden Ustepts, gran grupo Dystrustepts, subgrupo Aquic Dystrustepts caracterizado por poseer clase textural franco arenosa, buen drenaje, pH ligeramente ácido y bajo contenido de MO (Villaseñor et al., 2015). El clima del área de estudio se clasifica como tropical megatérmico seco a semihúmedo, con precipitaciones anuales entre 500 y 1000 mm, temperaturas medias superiores a los 24°C y una heliofanía promedio anual de 3,4 horas (Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2016).

Para el desarrollo del estudio se efectuó la toma de muestras de suelo en cinco agroecosistemas que corresponden a áreas productivas de banano (*Musa spp.*), maíz (*Zea mays L.*), pastos (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), cacao (*Theobroma cacao L.*) y bosque (constituido por diferentes especies forestales con más de 25 años de plantadas), ubicadas en la granja Santa Inés, donde se distribuyeron de forma aleatoria puntos permanentes de muestreo (PPM) de 100 m² de diámetro (10 m de largo x 10 m de ancho) y se realizaron tres calicatas de un diámetro de 80x80x80 cm de largo, ancho y profundidad, respectivamente, tomándose muestras de 1 kg de suelo a tres profundidades en el perfil (0-15, 15-30 y 30-45 cm), con el uso de una pala y cuchillo. El material obtenido fue homogeneizado y depositado en fundas de Nylon con doble identificación, posteriormente embaladas y enviadas al laboratorio de suelos, foliares y aguas, perteneciente a la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (Ecuador. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario, 2022), ubicado en Tumbaco, Quito, Ecuador.

Los métodos analíticos utilizados en laboratorio para las determinaciones de las propiedades físicas y químicas estudiadas se muestran en Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del suelo y métodos de determinación realizados en laboratorio.

Propiedad del suelo	U/M	Método
Físicas		
Textura (contenido de arcilla, limo y arena)	%	Bouyoucus
Densidad real*	g/ml	Picnómetro
Clase textural	-	Cálculo
Químicas		
pH en agua	-	Potenciométrico
Nitrógeno total	%	Volumétrico
Fósforo asimilable	mg/kg de suelo	Colorimétrico
Potasio intercambiable	cmol/kg de suelo	Absorción atómica
Calcio intercambiable	cmol/kg de suelo	Absorción atómica
Magnesio intercambiable	cmol/kg de suelo	Absorción atómica

Conductividad eléctrica	dS/m	Conductímetro
Capacidad de Intercambio Catiónico	cmol/kg de suelo	Cálculo
Biológica		
Materia orgánica del suelo	%	Volumétrico

Fuente: Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (2022).

Los resultados obtenidos en relación con el N total, P asimilable, K, Ca, Mg intercambiables y MO fueron interpretados según lo expresado en la Tabla 2.

Tabla 2. Interpretación de los resultados del Laboratorio para la región costa de Ecuador, para N, P, K, Ca, Mg y MO.

Categorías	Propiedades del suelo					
	Químicas					Biológica
	N total	P	K	Ca	Mg	MO (%)
Bajo	0-0,15	0-10,0	<0,2	<5,0	<1,6	<3,1
Medio	0,16-0,30	11,0-20,0	0,20-0,40	5,0-9,0	1,6-2,3	3,1-5,0
Alto	>0,30	>20,0	>0,40	>9,0	>2,3	>5,0

Fuente: Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (2022).

En relación con el pH y la CE la interpretación de resultados se realizó según la Tabla 3.

Tabla 3. Interpretación de los resultados del Laboratorio para la región costa de Ecuador para pH y CE.

pH	Valor	CE (dS/m)	Valor
Categoría	Valor	Categoría	Valor
Ácido	5,5 o menos	No salino (NS)	<2,0
Ligeramente ácido	5,6-6,4	Ligeramente salino (LS)	2,0-3,0
Prácticamente neutro	6,5-7,5	Salino (S)	3,0-4,0
Ligeramente alcalino	7,6-8,0	Muy salino (MS)	4,0-8,0
Alcalino	8,1 o más		

Fuente: Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (2022).

En la Tabla 4 se muestra el efecto que produce la salinidad del suelo en el rendimiento de los cultivos (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016).

Tabla 4. Efectos de la salinidad del suelo en el rendimiento de los cultivos.

Categorización del suelo por la salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	Efecto en el cultivo
No salino	0 - 2	Efecto de la salinidad imperceptible.
Ligeramente salino	2 - 4	Rendimientos en cultivos sensibles pueden verse limitados
Moderadamente salino	4 - 8	Rendimientos limitados en la mayoría de los cultivos
Fuertemente salino	8 - 16	Solo cultivos tolerantes tendrán rendimientos aceptables
Muy fuertemente salino	>16	Solo cultivos muy tolerantes tendrán rendimientos aceptables

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016).

La interpretación de resultados de valores obtenidos de CIC se realizó según la Tabla 5.

Tabla 5. Interpretación del análisis de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Categorías	CIC (meq/100 g de suelo)
Muy bajo	0-10
Bajo	10-20

Medio	20-35
Medio alto	35-45
Alto	>45

Fuente: Garrido (2020).

La interpretación de resultados de valores obtenidos de MO se realizó según la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de los niveles de materia orgánica del suelo.

Categorías	MO (%)
Muy bajo	<1,50
Bajo	1,50-3,00
Medio	3,1-5,00
Alto	>5,00

Fuente: López et al. (2008).

Procedimiento estadístico

Para conocer si se presentan o no diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de producción de banano, cacao, maíz, pastos y bosque en relación con las propiedades físicas (Dr, contenido de arena, limo y arcilla), químicas (pH, N total, P asimilable, K intercambiable, CE y CIC) y biológica (MO) se realizó el contraste de hipótesis mediante la prueba paramétrica ANOVA de un factor intergrupos. Cuando se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los agroecosistemas objeto de estudio se utilizó la prueba de rangos y comparaciones múltiples de Duncan para conocer donde se encuentran las similitudes o diferentes.

Para determinar el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas en cada agroecosistema fueron consideradas las categorías establecidas por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario para la interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio. A partir de los valores de cada variable se realizó una transformación de los valores de cada variable con la finalidad de realizar la reducción de la dimensionalidad de los datos recolectados a partir de un análisis multivariado de correspondencia simple y la construcción de un gráfico biespacial donde se visualiza la cercanía-lejanía de las categorías de cada variable transformada en función de la propiedad del suelo.

El procesamiento estadístico de los datos se realizó con el software SPSS versión 25 de prueba para Windows, con una confiabilidad en la estimación del 95,0% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 7 se muestran los resultados de las propiedades físicas del suelo analizadas en los agroecosistemas objeto de estudio. En la profundidad del perfil de 0-15 cm se observan variaciones significativas en relación con la densidad real del suelo; así como, con el contenido

de arena, limo y arcilla, lo cual está influenciado por el tipo de cultivo que se desarrolla en cada agroecosistema. El suelo del área de maíz presenta el valor más alto de densidad real ($2,34 \text{ g/cm}^3$), diferente estadísticamente al agroecosistema de pastos ($1,76 \text{ g/cm}^3$), lo que puede estar relacionado con una labranza más frecuente que el resto de los agroecosistemas, ya que el maíz es un cultivo de ciclo corto, además, el suelo permanece más tiempo descubierto y sometido al impacto de las gotas de lluvia que origina encostramiento.

En pastos se presenta el mayor contenido de arcilla (50,67%) que adicionado al 38,0% de limo suman un total de 88,67% de partículas finas; mientras que el área de maíz contiene un 34,67% de arena; o sea, tres veces más arena que el suelo dedicado a pastos, lo que confirma la estrecha relación que existe entre el porcentaje de partículas gruesas y la densidad real del suelo. En bosque, banano y cacao que son cultivos semiperennes, con una edad que fluctúa entre 20 y 40 años, no se presentan diferencias significativas en cuanto a densidad real y contenido de arena, limo y arcilla, evidenciándose menor degradación, que los agroecosistemas de pastos y maíz, que se encuentran sometidos a un sistema de explotación intensivo. En 15-30 cm de profundidad, se incrementa la densidad real del suelo a $1,45 \text{ g/cm}^3$, en maíz, lo cual indica que se acentúa la compactación; presentando el suelo de pastos con una Dr de $1,78 \text{ g/cm}^3$, valor que difiere estadísticamente con el resto de los agroecosistemas.

El área de banano manifiesta una tendencia a la compactación con una Dr de $2,19 \text{ g/cm}^3$, lo que puede deberse a que no se realizan labores de descompactación del suelo, en este cultivo por más de 30 años; además el contenido de partículas finas (arcilla más limo es de 82,67%), contribuyendo a que se acentúe la compactación del suelo. Una densidad real alta significa un suelo con una proporción elevada de arena, como sucede en el agroecosistema de maíz; lo cual indica una degradación de la fertilidad física, debido precisamente a que el cultivo del maíz es de ciclo corto, donde se realiza un exceso de labranza, permaneciendo el suelo descubierto durante más tiempo que en los sistemas de producción de banano, cacao, pastos y bosque, que son cultivos perennes y semiperennes con más de 30 y 40 años de establecidos, donde se ha mantenido la cobertura y los residuos vegetales durante todo este tiempo.

A los 30-45 cm de profundidad en el perfil los cambios en las propiedades físicas del suelo analizadas son más bruscos. El contenido de arcilla del suelo en el agroecosistema de pastos disminuye considerablemente (20,0%) y aumenta el contenido de arena (34,67%); ambos valores difieren significativamente con el resto de los agroecosistemas, por otra parte, la densidad real aumenta a $2,26 \text{ g/cm}^3$. En esta profundidad se acentúa el proceso de degradación física en el agroecosistema maíz, con

valores de densidad real de 2,45 g/cm³. Otro factor que influye en la degradación del suelo del área de maíz es el alto contenido arena (60%), lo cual, se relaciona con la fertilidad química del suelo.

Tabla 7. Comportamiento de las propiedades físicas del suelo (Dr y contenidos de arena, limo y arcilla) en los cinco agroecosistemas evaluados a las profundidades del perfil de 0-15, 15-30 y 30-45 cm.

Agroecosistemas	DA (g/cm ³)	Espacio poroso (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
	Profundidad del suelo (0-15 cm)				
Bosque	2,02ab		13,33c	46,00a	40,67ab
Pastos	1,76b		11,33c	38,00a	50,67a
Banano	2,05ab		27,33ab	44,00a	28,67bc
Maíz	2,34a		34,67a	41,33a	24,00c
Cacao	2,20ab		16,50bc	37,00a	46,50a
Media	2,11		20,38	41,00	38,63
Desviación estándar	0,30		11,00	5,47	12,26
Coefficiente de variación (CV) (%)	14,2		53,9	13,3	31,7
p-valor (ANOVA)	0,048		0,011	0,151	0,004
Profundidad del suelo (15-30 cm)					
Bosque	2,17a		14,00b	50,00a	36,00b
Pastos	1,78b		6,00c	42,00bc	52,00a
Banano	2,19a		17,33b	46,00ab	36,67b
Maíz	2,45a		51,33a	30,67d	18,00c
Cacao	2,26a		19,50b	38,00c	42,50b
Media	2,18		21,50	41,13	37,38
Desviación estándar	0,26		15,82	7,48	11,77
CV (%)	11,9		73,6	18,2	31,5
p-valor (ANOVA)	0,003		0,000	0,001	0,000
Profundidad del suelo (30-45 cm)					
Bosque	2,25a		12,00c	54,00a	34,00b
Pastos	2,26a		34,67b	45,33b	20,00c
Banano	2,32a		17,33c	42,67b	40,00ab
Maíz	2,45a		60,00a	27,33c	12,67d
Cacao	2,29a		14,50c	40,50b	45,00a
Media	2,31		26,88	41,88	31,25
Desviación estándar	0,15		19,06	9,34	13,18
CV (%)	6,5		70,9	22,3	42,2
p-valor (ANOVA)	0,557		0,000	0,000	0,000

*Letras diferentes, en cada propiedad física y profundidad del perfil, indican diferencias estadísticas significativas entre los agroecosistemas para un p-valor ≤ 0,05 (según prueba de Duncan).

La degradación física del suelo se puede analizar desde dos puntos de vista; el primero, consiste en la formación de costras endurecidas a determinadas profundidades del perfil, como resultado de la pérdida de la cubierta vegetal. El segundo se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo como son la porosidad, permeabilidad, densidad aparente y estabilidad estructural. Un manejo inadecuado de los suelos es la causa principal de su degradación en los sistemas de producción, en la mayoría de los cuales, no se aplican prácticas agrícolas encaminadas a su conservación y mejoramiento. Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son; escasa cobertura de la parte superficial del terreno, que expone los agregados del suelo a la acción de las gotas de lluvias; realizar labores de labranza con exceso de humedad, con implementos inadecuados, como el arado de disco que favorece la compactación o realizar la labranza en exceso y superficial que conduce a la rotura de los agregados, y se favorece la formación de costras, escurrimiento y el transporte o pérdida de partículas finas y fértiles.

Como se puede apreciar, en los resultados obtenidos en esta investigación, el uso continuo del suelo, bajo un mismo tipo de cultivo (maíz), influye notablemente en la fertilidad física, incluso se pueden notar cambios en la textura del suelo a diferentes profundidades del perfil, de un mismo tipo de suelo (Inceptisol), en agroecosistemas que se encuentran ubicados en granja Santa Inés. El encostramiento y la compactación se refieren al sellado de los poros del suelo con material fino que resulta del paso continuo de la maquinaria agrícola, vehículos, ganado o por efecto del golpeteo de las gotas de lluvia; estos efectos desarrollan una capa impermeable en la superficie del suelo que impide la infiltración del agua de lluvia o riego.

Las partículas texturales del suelo (arena, limo y arcilla) se asocian para formar agregados estructurales (clase textural) que afectan directamente; la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. La textura es una propiedad física que influye en la fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, compactación y contenido de materia orgánica del suelo; por otra parte, la densidad real del suelo, varía con la proporción de los elementos que constituyen la textura del suelo.

Sistemas de producción y clase textural del suelo

En el gráfico de dispersión biespacial que explica la lejanía-cercanía de las categorías de clase textural y los diferentes sistemas de producción estudiados, en el cual se forman tres agrupaciones y donde se evidencia que en el maíz la clase textural franco arenoso es la que más se asocian, atribuido al lavado de partículas finas generando por el uso intensivo y continuado del suelo. En pastos la clase textural que más se acerca es franco arcillo limoso donde no se realiza utilización excesiva de maquinaria, sin embargo, se realiza aplicación de sales al ganado vacuno que contribuye al incremento de la conductividad eléctrica. En banano, cacao y bosque las clases texturales donde predominan las arcillas son las más abundantes, lo que puede estar condicionado por la no utilización de maquinaria agrícola que favorece la compactación del suelo (Figura 2).

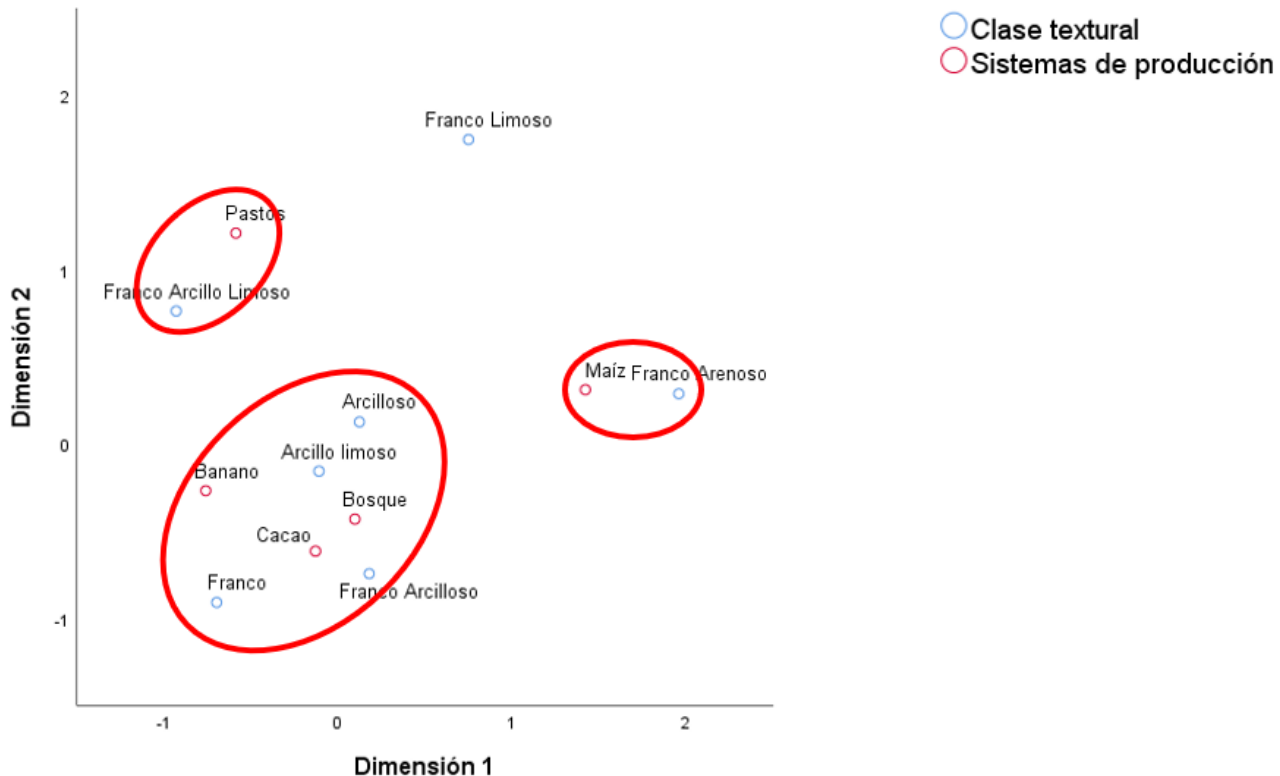


Figura 2. Gráfico de dispersión biespacial que explica la cercanía-lejanía entre los sistemas de producción y las categorías de clase textural.

Sistemas de producción y propiedades químicas del suelo

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos en las propiedades químicas y biológica del suelo analizadas en los agroecosistemas objeto de estudio.

pH del suelo

En la profundidad de 0-15 cm, el valor del pH más elevado del suelo, se presenta en maíz (7,83) y pasto (7,81), sin presentar diferencias estadísticas significativas entre ellos y con banano (7,64) y bosque (7,32); sin embargo, se presentó diferencias estadísticas significativas con cacao (7,20), donde se presentó el valor más bajo. Los resultados obtenidos en el agroecosistema de maíz puede estar asociado con el alto contenido de arena, que origina el lavado de sales hacia las capas más profundas del suelo, y se relaciona a una CE baja (0,32 ds/m), aunque en el sistema de producción dedicado a la producción de pasturas, se alcanzó una CE alta (6,15 ds/m); lo que indica mayor contenido de sales. A los 15-30 cm de profundidad de perfil el pH del suelo en maíz (8,04), bosque (8,03) y pastos (7,84) presentaron los valores más altos, y para el caso de maíz y bosque diferentes estadísticamente con cacao (7,58) y banano (7,51). En maíz se puede asociar a una baja CE (0,20 dS/m).

El pH es una propiedad que se relaciona con los suelos tropicales, y se atribuye al intemperismo acelerado que sobre el material parental ha ejercido el clima, que provoca un reemplazo paulatino de bases intercambiables de Ca^{+2} , K^{+} , y Na^{+} por iones de H^{+} y Al^{+3} . Los problemas que ocasiona la acidez a las especies cultivadas, se asocian a valores de pH menores de 5,5 y a la presencia de Al^{+3} y Fe^{+3} cambiables. Las concentraciones en el suelo de estos elementos provocan toxicidad en las plantas, debido al daño que en forma directa provocan a las raíces, siendo la causa más común de infertilidad de los suelos ácidos, no evidenciado en la presente investigación.

Fósforo

En relación con el contenido de fósforo asimilable, el suelo del área de cacao entre 0-15 cm de profundidad del perfil presenta el valor más alto de 23,35 mg/kg de suelo, significativamente diferente al resto de sistemas de producción, los cuales presentan valores similares de fósforo, todos por debajo de 5,58 mg/kg. El contenido de fósforo asimilable del suelo del agroecosistema de banano a la profundidad del perfil de 15-30 mg/kg, es estadísticamente inferior a los demás agroecosistemas, con un valor de 0,35 mg/kg de suelo, lo que puede estar condicionado por la alta extracción del nutrimento que realiza el cultivo de banano; mientras el suelo del agroecosistema de cacao, presenta el valor más alto, con 6,43 mg/kg de suelo, el cual es significativamente superior al resto de los agroecosistemas. El suelo de las áreas dedicadas a bosque, pastos, banano, bosque y maíz presentan contenidos

estadísticamente similares de fósforo asimilable que oscilan entre 3,27 y 3,43 mg/kg de suelo. El contenido de fósforo asimilable en la capa de 30-45 cm, presenta valores similares en todos los agroecosistemas que oscilan entre 3,27 y 3,43 mg/kg de suelo.

Potasio

Con relación al contenido de potasio intercambiable el suelo de los agroecosistemas de cacao, maíz y banano presentan contenidos similares estadísticamente; correspondiendo al área de banano el valor más bajo con 0,27 cmol/kg de suelo, lo que está muy relacionado a la alta demanda de K por este cultivo; mientras el suelo de los agroecosistemas de bosque y pastos presentan valores similares estadísticamente y más altos de K intercambiable (0,88 y 1,00 cmol/kg de suelo), que el resto de los agroecosistemas.

Sin embargo en el contenido de potasio se aprecia como el suelo del área de pastos presenta el mayor valor (1,59 cmol/kg de suelo), el cual es significativamente superior con los demás agroecosistemas, seguido del suelo del área de bosque (1,19 cmol/kg de suelo), mientras el suelo del área de banano, cultivo de alta demandada de potasio, presenta el menor contenido de este elemento con 0,57 cmol/kg de suelo, seguido del suelo de los agroecosistemas de cacao y maíz, con valores de 0,69 y 0,62 cmol de K/kg de suelo respectivamente, sin presentar diferencia significativa entre ellos.

Mientras el K intercambiable manifiesta un comportamiento diferente; los valores más altos corresponden al suelo de los agroecosistemas de bosque 0,55 y pastos 0,48 cmol/kg, los cuales difieren estadísticamente con los agroecosistemas de banano, maíz y cacao, cuyos valores son bajos y se encuentran entre 0,18 y 0,27 cmol/kg de suelo; lo que está en concordancia con una conductividad eléctrica baja en el suelo de estos agroecosistemas (0,18 dS/m) en el cacao, (0,19 dS/m) en el área dedicada al cultivo del maíz y 0,57 ds/m en la parcela de producción de banano.

Materia orgánica del suelo

El contenido de materia orgánica del suelo (MO) presenta el mayor valor en la capa superficial de 0-15 cm, correspondiendo al suelo de los agroecosistemas de cacao y bosque los mayores valores (3,71 y 2,92 %) sin diferencia estadística entre ellos, el suelo del agroecosistema de cacao es significativamente superior a los tres agroecosistemas restantes, no así el bosque, que no presenta diferencia con el banano. Los sistemas de producción de pastos y maíz presentan los valores más bajos de MO con 1,80 y 0,64 %, lo cual se debe a una sobre explotación en ambos agroecosistemas, más acentuado en el suelo dedicado al cultivo de maíz; debido al exceso de labranza a que es sometido, al tratarse el maíz de un cultivo de ciclo corto y permanecer el suelo sin cobertura durante

más tiempo. Este comportamiento de la MO se refleja en el porcentaje de nitrógeno total del suelo, con valores inferiores a 0,1 % en el área de pastos y maíz.

En la profundidad de 15-30 cm se aprecia una drástica disminución en el contenido de MOS de los cinco agroecosistemas, coincidiendo el suelo del área de maíz y pasto con los valores más bajos de 0,07 y 0,29 %, sin diferencia significativa entre ellos; pero con diferencia estadística con los demás agroecosistemas que presentan valores superiores que van de 0,73% para el suelo del área de bosque, 0,98 % en el área de banano y 1,87% en el suelo dedicado a la producción de cacao que presentó el mayor valor, el cual es superior estadísticamente al contenido de MOS de todos los agroecosistemas estudiados. Como es de suponer el contenido de nitrógeno total del suelo depende fundamentalmente de la MOS, por lo que presenta un comportamiento similar a ésta.

En la profundidad de 30-45 cm se aprecia un fuerte descenso de la MOS, correspondiendo suelo del agroecosistema de cacao el mayor valor (0,58%), seguido por el área dedicada al cultivo del banano con un valor de 0,39 %, sin presentar diferencia estadística entre ellos, en el caso del agroecosistema de cacao hay diferencia significativa superior al contenido de MOS de los agroecosistemas de bosque, pastos y maíz, este último presenta el valor más bajo con tan solo 0,02 %. El nitrógeno total presenta una situación similar al comportamiento de la MOS.

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas, como en sus funciones ambientales, entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo, así como

la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas. El desarrollo de la agricultura ha implicado una gran pérdida de materia orgánica del suelo. El efecto general del incremento de la materia orgánica del suelo es un mejoramiento de la capacidad amortiguadora y de la resiliencia del suelo a diferentes tipos de degradación o estrés.

El contenido de MO como indicador clave en la fertilidad de los suelos, para el caso del área con maíz los valores alcanzados en este estudio son muy bajos, resultados similares a lo obtenido por Liu et al. (2019); quienes establecen que la constante manipulación del suelo a través de las actividades de labranza y sobreexplotación, conducen a una aceleración en la velocidad de agotamiento de la MO del suelo.

Conductividad eléctrica

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016), para categorizar la salinidad de un suelo y el efecto que ésta produce sobre el rendimiento de los cultivos, en base al valor de la conductividad eléctrica: se evidenció que el suelo de los agroecosistemas de maíz, banano y cacao categorizan como no salinos, ya que los valores de la CE se encuentran entre 0–2 dS/m, mientras que el área de bosque y pastos se ubican como suelos ligeramente salinos con valores que se encuentran entre 2 y 4 dS/m de CE, correspondiendo el valor más alto al suelo del agroecosistema de pastos con 2,86 dS/m. Los mayores contenidos de sales (afecta la asimilación de nutrientes y crecimiento de plantas) se obtuvieron en pastos, lo que puede estar atribuido al excesivo uso de fertilizantes y a los continuos excrementos generados por los animales.

Tabla 8. Propiedades químicas y biológica del suelo en los cinco agroecosistemas evaluados a las profundidades de 0-15, 15-30 y 30-45 cm.

Sistema de producción	pH	N total	P	K	CE	CIC	MO
	Profundidad del suelo (0-15 cm)						
Bosque	7,32ab	0,14ab	4,13b	1,19b	1,72b	26,17ab	2,92ab
Pastos	7,81a	0,09b	5,57b	1,59a	6,15a	28,93ab	1,80bc
Banano	7,64ab	0,18a	3,45b	0,39c	0,75c	24,04b	2,79ab
Maíz	7,83a	0,03c	3,23b	0,62c	0,32d	13,28c	0,64c
Cacao	7,20b	0,19a	23,35a	0,69c	0,31d	30,67a	3,71a
Media	7,54	0,13	11,42	0,88	1,75	24,99	2,46
Desviación estándar	0,38	0,08	10,56	0,48	2,25	6,84	1,30
CV (%)	5,04	61,5	92,47	54,54	128,57	27,37	52,8
p-valor	0,049	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
	Profundidad del suelo (15-30 cm)						
Bosque	8,03a	0,05b	3,23b	0,88a	2,04b	20,11b	1,06b
Pastos	7,84ab	0,02bc	3,27b	1,00a	7,04a	26,59a	0,29c
Banano	7,51b	0,05b	0,35c	0,27b	0,68c	20,30b	0,98b

Maíz	8,04a	0,003c	3,43b	0,43b	0,20c	9,15c	0,07c	
Cacao	7,58b	0,09a	6,43a	0,44b	0,21c	24,98a	1,87a	
Media	7,79	0,05	3,53	0,60	1,92	20,52	0,92	
Desviación estándar	0,30	0,04	2,08	0,31	2,65	6,52	0,74	
CV (%)	30,9	80,0	58,9	51,7	138,0	31,8	80,4	
p-valor	0,039	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
			Profundidad del suelo (30-45 cm)					
Bosque	8,05ab	0,007bc	3,37a	0,55a	2,07b	17,33b	0,17bc	
Pastos	8,23a	0,003c	3,43a	0,48a	4,23a	10,23c	0,12c	
Banano	7,58b	0,020ab	3,27a	0,18b	0,57b	20,79ab	0,39ab	
Maíz	8,13a	0,0000c	3,33a	0,23b	0,19b	6,37c	0,02c	
Cacao	7,88ab	0,040a	3,33a	0,27b	0,18b	24,16a	0,58a	
Media	7,97	0,016	3,34	0,34	1,37	16,30	0,28	
Desviación estándar	0,33	0,023	0,13	0,17	1,83	7,17	0,25	
CV (%)	4,14	143,7	3,59	50,0	133,6	43,9	89,2	
p-valor	0,047	0,051	0,671	0,001	0,002	0,000	0,003	

*Letras diferentes, en cada propiedad química-biológica y profundidad del perfil, indican diferencias estadísticas significativas entre los agroecosistemas para un p-valor \leq 0,05 (prueba de Duncan).

A menudo los suelos son afectados por las actividades humanas, como la agrícola y pecuaria, lo cual puede resultar en la degradación del suelo y pérdida o reducción de sus funciones, consecuentemente se presenta un deterioro de la calidad edáfica, productividad natural del suelo, por lo que se requiere implementar acciones correctivas para rehabilitar el potencial productivo original de los suelos degradados (Amaro et al., 2019).

Los procesos de degradación de suelos son resultado del cambio de uso, sobreexplotación de los recursos naturales y el uso y manejo inadecuado de los mismos, por lo que, Geissen et al. (2008), recomiendan aplicar urgentemente técnicas de conservación y restauración de suelos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021), ha señalado que una de las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina, es la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución del rendimiento agrícola y más importante aún, el deterioro del medio ambiente.

La degradación física, química y biológica del suelo por su uso continuado es un fenómeno generalizado en sistemas convencionales de producción, lo cual se corrobora con lo señalado por López et al. (2008), quienes indican que la degradación se debe principalmente a la erosión hídrica y eólica ocasionada por el manejo de suelos sin cobertura y a la pérdida de otras características importantes para su fertilidad debido a la carencia de buenas prácticas agrícolas y pecuarias.

La Figura 3 es un gráfico de dispersión bi espacial que muestra un análisis de correspondencias múltiples de las propiedades químicas del suelo en agroecosistemas de la granja Santa Inés. La dimensión 1 (eje horizontal) representa la primera componente que explica la mayor parte de la variabilidad en los datos y la dimensión 2 (eje vertical) representa la segunda componente que explica la segunda mayor parte de la variabilidad. Los puntos en el gráfico están codificados por colores para representar diferentes propiedades químicas del suelo: pH, N total, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Conductividad eléctrica y Capacidad de intercambio catiónico. Los puntos rojos representan diferentes sistemas de producción agrícola. La distribución de los puntos en el gráfico muestra cómo varían las propiedades químicas del suelo entre diferentes sistemas de producción. Las áreas circuladas en rojo indican que ciertos tipos de suelos o cultivos tienen propiedades químicas similares. Por ejemplo, los suelos utilizados para el cultivo de maíz y pastos están agrupados, lo que sugiere que tienen características químicas similares. La proximidad de los puntos en el gráfico puede indicar relaciones entre diferentes propiedades químicas. Por ejemplo, si los puntos que representan el fósforo y el potasio están cerca, podría sugerir que estos elementos están relacionados en el suelo de la granja Santa Inés. Se muestra que el sistema de producción pastos se caracteriza mayormente por una condición de muy salino. Los sistemas de producción de maíz y banano se caracterizan por contener bajos contenidos en las propiedades químicas CIC, potasio, fósforo, lo cual puede estar asociado con el manejo intensivo que se realiza y la utilización de productos químicos.

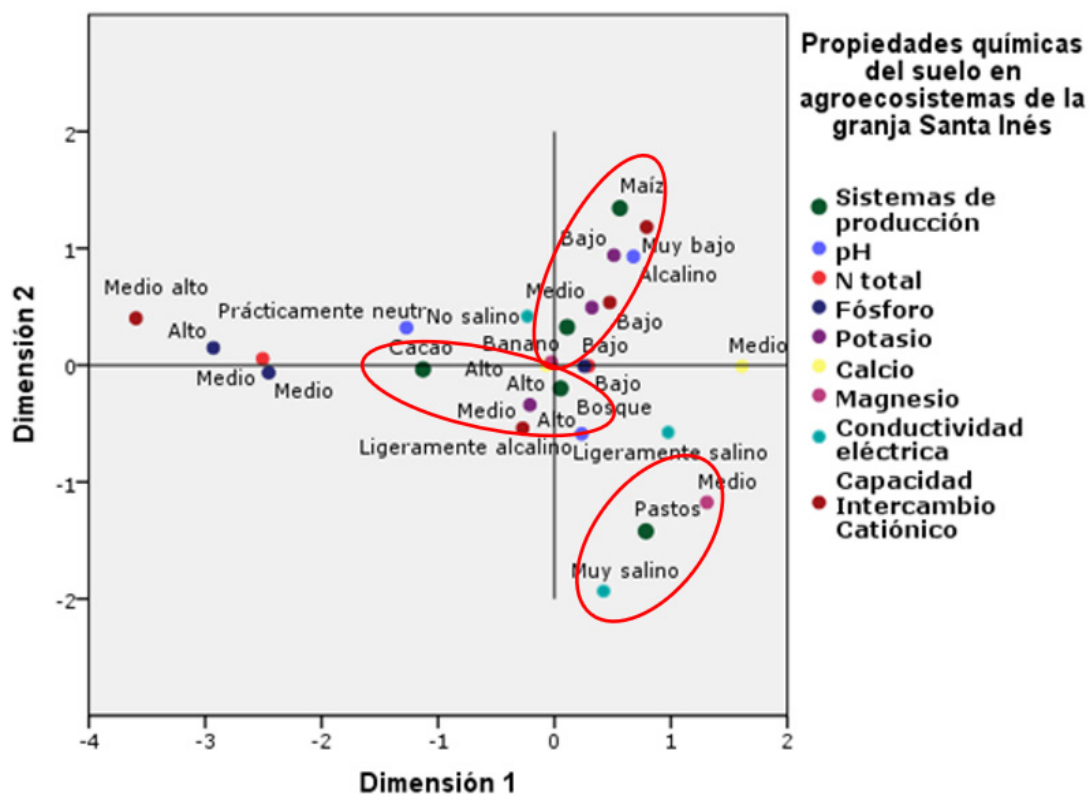


Figura 3. Diagrama de dispersión bi espacial que muestra la reducción de la dimensionalidad de las propiedades químicas del suelo en los diferentes agroecosistemas de la granja Santa Inés.

La degradación química del suelo, abarca todos los procesos causantes de cambios adversos en las propiedades químicas; puede deberse a la pérdida de materia orgánica y nutrientes, acidificación, salinización y la concentración de sustancias tóxicas (cuando sobrepasan los valores umbrales) o pérdida de bases intercambiables del suelo, que limitan el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos; así como, una disminución de la capacidad productiva del suelo. Resultados similares a lo alcanzado en el presente estudio obtuvieron Zou et al. (2023) en una investigación desarrollada en Hangzhou, China, los cuales establecieron que, a una profundidad de 0-20 cm en el perfil del suelo, la variación en el crecimiento de las raíces en el cultivo de Té fue explicada significativamente por los contenidos de carbono en la biomasa microbiana, Ca, Mg y N total.

CONCLUSIONES

El manejo intensivo y continuado en agroecosistemas provoca el incremento de la compactación y disminución del contenido de MO y CIC, así como, su aptitud para producir producciones de forma sostenida. El manejo agrícola de agroecosistemas provoca un impacto negativo en las propiedades físicas, químicas y biológica del suelo cuando no se aplican prácticas que contribuyan a su conservación y mejoramiento. La determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en áreas bajo diferentes condiciones de manejo agrícola constituye un indicador eficaz del estado actual de la degradación en agroecosistemas de la granja Santa Inés que permite conocer el impacto de la intervención antrópica en las potencialidades del recurso para las presentes y futuras generaciones. La descripción del comportamiento de la textura, clase textural, densidad real, compactación, pH, N, P, K, Ca, Mg, CE, CIC y MO del suelo en condiciones de cultivo y manejo diferentes es un elemento clave en la clasificación de la degradación física, química y biológica del suelo.

El gráfico de dispersión bi espacial constituye una herramienta valiosa para visualizar y entender cómo las propiedades químicas del suelo varían entre diferentes sistemas de producción agrícola, información puede ser utilizada para optimizar las prácticas agrícolas y mejorar la fertilidad del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaro, E. J., Marquez, E., & Llanes, J. M. (2019). *Diagnóstico inicial de la evolución de un suelo degradado*. *Avances*, 21(1). <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869112010/637869112010.pdf>
- Castro, A., Delgado, D. M., González, R. (2022). La degradación del suelo, impactos y contexto normativo. <https://librosesmic.com/index.php/editorial/catalog/download/92/88/2299?inline=1> CEPAL. (2012). *Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador*.
- Ecuador. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosario. (2022). Sitio oficial. <https://www.gob.ec/arcfz>
- Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Boletín Climatológico Anual*. https://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_sem.pdf
- Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *Resumen Ejecutivo de los Diagnósticos Territoriales del Sector Agrario*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv17hm-8pq.4>
- Garrido, L. A. (2020). Efectos del bocashi en la producción de plantas de *Calathea lutea* Schult (Bijao) bajo condiciones de vivero en Tingo María. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Geissen, V., López De Llergo-Juárez, J. G., Galindo-Alcántara, A., & Ramos-Reyes, R. (2008). Erosión Superficial y Carstificación en Macuspana, Tabasco, Sureste De México Superficial Soil Losses and Karstification in Macuspana, Tabasco, Southeast of México. *Agrociencia*, 42, 605–614. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n6/v42n6a1.pdf>
- Intergovernmental Technical Panel on Soils. (2020). Towards a definition of soil health. In *Soil Science Society of America Journal*. <https://www.fao.org/3/cb1110en/cb1110en.pdf>
- Lanz, B., Dietz, S., & Swanson, T. (2018). The Expansion of Modern Agriculture and Global Biodiversity Decline: An Integrated Assessment. *Ecological Economics*, 144, 260–277. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.018>
- Liu, H., Zak, D., Rezanezhad, F., & Lennartz, B. (2019). Soil degradation determines release of nitrous oxide and dissolved organic carbon from peatlands. *Environmental Research Letters*, 14(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3947>
- López, G., Muñoz, D., Hernández, M., Soler, A., & López, G. (2008). Impacto De La Pérdida De La Vegetación Sobre Las Propiedades De Un Suelo Aluvial. *Terra Latinoamericana*, 27, 2–10. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n3/v27n3a8.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS)*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/07a444e7-97a3-4e1f-b5d9-ddd84ad129c6/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Portal de Suelos de la FAO*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- Quijano-Cuervo, L. G., Robledo-Ospina, L. E., García-Hernández, L. F., & Escobar-Sarria, F. (2021). Arañas: tejiendo un eslabón crucial para el equilibrio de los agroecosistemas. *Revista Digital Universitaria*, 22(3). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.3.5>
- Reyes-Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(1), 53–64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro. *Revista Científica Cumbres*, 1(2), 28–34. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v1n2a5>
- Yan, P., Wu, L., Wang, D., Fu, J., Shen, C., Li, X., Zhang, L., Zhang, L., Fan, L., & Wenyan, H. (2020). Soil acidification in Chinese tea plantations. *Science of the Total Environment*, 715. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136963>
- Zou, Z., Mi, W., Li, X., Hu, Q., Zhang, L., Zhang, L., Fu, J., Li, Z., Han, W., & Yan, P. (2023). Biochar application method influences root growth of tea (*Camellia sinensis* L.) by altering soil biochemical properties. *Scientia Horticulturae*, 315, 1–6. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023ScHor.31511960Z/abstract>