UEA Biología
PrePrint UEA

Sección Biología
Vol. BIO2324. ep09–60

| Recibido: 13/03/2024 |
| Aceptado: 15/04/2024 |
| Publicado: 05/11/2026 |

Evaluación de la calidad del suelo mediante parámetros físico-químico y biológico del sistema chacra en la comunidad amazónica Estrella del Oriente, Arosemena Tola

Soil quality assessment through physicochemical and biological parameters of the chacra system in the Amazonian community of Estrella del Oriente, Arosemena Tola

Doris Valeria Auquilla Riera[1], Nayeli Sarahi Meneses Paredes[1] Edgar Ruben Chicaiza Reisancho[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vBIO2324ep09-60 Crossref

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del suelo en la comunidad Estrella del Oriente, de la región Amazónica, donde la agricultura tradicional es una de las principales actividades de sustento de forma económica y consumo. El suelo amazónico se caracteriza por poseer limitaciones edáficas particulares de la región, que comprometen las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, siendo necesario aplicar buenas prácticas agrícolas para garantizar la preservación de sus servicios ecosistémicos. Este estudio integró parámetros físicos, químicos y biológicos para analizar el suelo. Se escogieron cuatro parcelas para la recolección de muestras, evaluando dos profundidades por parcela. Los análisis físicos incluyeron textura, densidad aparente y porosidad; los químicos se centraron en la materia orgánica y el pH. Además, se midieron indicadores biológicos como el número de lombrices y la respiración edáfica. Todos estos datos se procesaron en Excel y SPSS Statistics, utilizando comparaciones de medias al 5% de probabilidad. Los resultados indicaron que, desde una perspectiva física y química, el suelo se clasificó como de “moderada calidad”. Contrariamente, los indicadores biológicos revelaron una “muy alta calidad” a “alta calidad”, especialmente en la parcela A3. Los parámetros evaluados permitieron dar a conocer que esta práctica agrícola tradicional de policultivo tiene un impacto significativo en la salud del suelo de la zona. Estos hallazgos respaldan la viabilidad del sistema chacra como una opción efectiva para el cultivo y la preservación del suelo agrícola en la región y, por ende, la sostenibilidad del suelo y la seguridad alimentaria de la comunidad.

Palabras clave

indicadores, sostenibilidad, seguridad alimentaria, agricultura tradicional.

Abstract

The present research aimed to evaluate soil quality in the Estrella del Oriente community, located in the Amazon region, where traditional agriculture is one of the main economic and consumption-sustaining activities. Amazonian soil is characterized by specific edaphic limitations of the region, which compromise the physical, chemical, and biological conditions of the soil. Therefore, it is necessary to implement good agricultural practices to ensure the preservation of its ecosystem services. This study integrated physical, chemical, and biological parameters to analyze the soil. Four plots were selected for sample collection, evaluating two depths per plot. Physical analyses included texture, bulk density, and porosity, while chemical analyses focused on organic matter and pH. Additionally, biological indicators such as the number of earthworms and soil respiration were measured. All data were processed in Excel and SPSS Statistics, using mean comparisons at a 5% probability level. The results indicated that, from a physical and chemical perspective, the soil was classified as "moderate quality." Conversely, biological indicators revealed "very high quality" to "high quality," especially in plot A3. The evaluated parameters allowed us to understand that this traditional polyculture agricultural practice has a significant impact on soil health in the area. These findings support the viability of the chacra system as an effective option for cultivation and soil preservation in the region, thus ensuring soil sustainability and food security for the community.

Keywords

indicators, sustainability, food security, traditional agriculture

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: dv.auquillar@uea.edu.ec, ns.menesesp@uea.edu.ec, er.chicaizar@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Doris Valeria Auquilla Riera. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: dv.auquillar@uea.edu.ec

Cómo citar

AUQUILLA RIERA, Doris Valeria, MENESES PAREDES, Nayeli Sarahi and CHICAIZA REISANCHO, Edgar Ruben 2026. Evaluación de la calidad del suelo mediante parámetros físico-químico y biológico del sistema chacra en la comunidad amazónica Estrella del Oriente, Arosemena Tola. PrePrint UEA. Vol. BIO2324. p. ep09–60. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vBIO2324ep09-60

Editores Académicos Elizabeth Del Carmen Ramírez Iglesias

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

El suelo es un recurso valioso durante siglos ha proporcionado servicios ecosistémicos esenciales e importantes, como la producción de alimentos lo que ha provocado que la tercera parte de la superficie terrestre sea utilizada en actividades agrícolas (Burbano 2016).

Ecuador es uno de los países caracterizados por tener una inmensa variedad y riqueza de recursos naturales, dentro de estos el recurso suelo. La presencia de suelos volcánicos (por la sección volcánica en la cordillera de los Andes) mantiene un potencial agrícola muy elevado, que el hombre ha sabido aprovechar en cuestión a nutrientes para desarrollar una agricultura que se distingue por el tipo de producción y

climatología (Georges de Noni y Trujillo 1986).

En consecuencia, el suelo ha sido un aspecto que ha recibido poca atención, la región Amazónica presenta algunos problemas y amenazas debido a que cuando el suelo cambia su uso este empieza a degradarse, porque la fertilidad de los suelos amazónicos depende de la capacidad para transformar la materia orgánica (Peña et al. 2021), es por esto que la contaminación por prácticas agrícolas y el mal manejo de las mismas, la ganadería, el cambio climático, son factores que reducen la productividad agrícola, afectan el equilibrio ecológico, reducen los servicios ecosistémicos poniendo en riesgo las interacciones complejas entre la biota de un ecosistema, así mismo en la provincia de Napo, el suelo posee características particulares porque estos suelos surgieron de rocas volcánicas, flujos piroclásticos, basaltos y cenizas, son poco evolucionados, con presencia de limo y arena, lo que los vuelve susceptibles a la erosión, son fuertemente ácidos, junto con la lixiviación de los nutrientes por la presencia de pendientes que posee y los excesos de humedad, estos y otros factores limitan la capacidad y funcionalidad del suelo (Díaz 2018).

Pero a pesar de esto en esta zona las actividades agrícolas son el mayor sustento para las personas de forma comercial y para sus hogares, entre los diferentes sistemas de cultivo se encuentra el sistema chacra una práctica de cultivo tradicional apreciado por su adecuada forma de integrar atributos de conservación y producción destacándose la siembra de cultivos con la presencia de árboles maderables o frutales (Arévalo et al. 2013). En la provincia de Napo se desarrolla en las tierras bajas donde se encuentra el cantón Carlos Julio Arosemena Tola, la principal característica de este sistema de cultivo es que se realiza un periodo de descanso de uno a tres años para la recuperación del suelo, pero existe preferencia por cultivos anuales lo que ha reducido los periodos de descanso para aumentar la producción provocando la disminución de la sostenibilidad de este recurso (Corporación de Asociaciones de la Chacra Amazónica 2022).

Las buenas prácticas agrícolas son necesarias sobre todo para el cuidado del suelo siendo necesario que los agricultores conozcan las características edáficas de sus fincas de esta manera pueden identificar los riesgos, amenazas y elegir las mejores prácticas para aplicar y mantener un equilibrio entre producción y cuidado de la tierra (MAG 2008).

Un suelo sano ayuda a proveer seguridad alimentaria, regular el clima, la calidad del aire y agua a su vez también conservar su biodiversidad tanto superficial como subterránea (Montiel et al. 2021). De esta manera su calidad influye directamente en los beneficios que se obtienen de sus servicios ecosistémicos pues tienen relación directa con sus complejas redes alimentarias que depende de su biodiversidad (UNCCD 2017).

Por lo que para aprovechar sus beneficios las condiciones físicas, químicas o biológicas deben ser óptimas (Burbano 2016). Estos se pueden medir a través de parámetros indicadores de su calidad físicos, químicos y biológicos propiedades sensibles a cambios en sus funciones y servicios ecosistémicos (Trujillo et al. 2018). Permitiendo conocer su realidad y el impacto que ha sufrido. Entre los indicadores físicos para evaluar su calidad están: densidad aparente, porosidad, textura, conductividad hidráulica, entre otros. Los indicadores químicos principales son: materia orgánica, pH, fósforo, magnesio, potasio, entre otros. En los indicadores biológicos se encuentran: respiración edáfica, respiración basal, número de lombrices entre otros (Bautista 2004).

El objetivo de este artículo fue evaluar la calidad del suelo mediante el uso de parámetros Físico - Químico y Biológicos en el sistema Chacra en la comunidad amazónica Estrella del Oriente, Arosemena Tola de la provincia de Napo.

2. Metodología

2.1. Localización del área de estudio

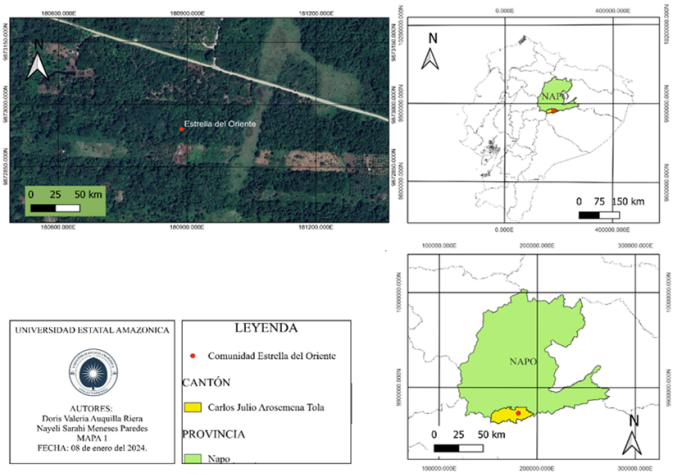


Figura 1 | Mapa de la ubicación de la comunidad Estrella del Oriente

El área de estudio se ubica en el cantón Arosemena Tola en la comunidad Estrella del Oriente ubicada en el km 62, provincia de Napo, Ecuador, localizada en las coordenadas UTM 180887.3-9872941.3, como se observa en la **Figura 1**. Se encuentra a 500 msnm, su clima es húmedo tropical, con un rango de temperatura de 16 a 30 °C y con una precipitación de 2400 a 3360 mm anuales (GADMCJAT 2020).

2.2. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental y se comprende de dos fases:

De campo con la aplicación de técnicas de muestreo y la de laboratorio en donde se realiza el análisis de parámetros físico, químicos y biológicos del suelo. Se aplicó un diseño descriptivo con base a la Guía Metodológica de trabajos de titulación 2023, con este diseño se detalla el estado del suelo con respecto a sus parámetros físicos, químicos y biológicos para determinar su calidad.

2.2.1. Fase de campo - muestreo

La metodología aplicada para el muestreo en este estudio es la propuesta por (Carrillo y Sanz 1995) mencionan que para realizar un muestreo en suelo se debe dividir la superficie de forma homogénea en lotes y subparcelas para poder tomar el mayor número de muestras posibles.

El estudio se llevó a cabo en una plantación de cultivo tipo Chacra, con una extensión de una hectárea, comprendida por los siguientes cultivos: Cultivo yuca (*Manihot esculenta*),

cacao (*Theobroma cacao L*) y plátano (*Musa × paradisiaca*), se tomó en cuenta que el suelo recogido en las parcelas en áreas no muy extensas menores a dos hectáreas debe ser de 0 a 20 cm de profundidad según (Molina 2010). Para la recolección de muestras el área se dividió en cuatro parcelas estableciendo los siguientes tratamientos A1: (Cultivo *Manihot esculenta* + *Musa × paradisiaca* con poca vegetación); A2: (Cultivo de *Theobroma cacao L* sin árboles); A3: (Cultivo de *Theobroma cacao L* con pocos árboles); A4: (Cultivo de *Musa × paradisiaca* + Maleza) en las que se tomó cuatro muestras simples para análisis físicos y cuatro muestras compuestas de cinco submuestras para el análisis químico a distintas profundidades de 0 a 10 cm, 10 cm a 20 cm, en cada punto.

En los análisis biológicos para respiración edáfica se colocaron cuatro cámaras estáticas en cada parcela y para el conteo de organismos se estableció un área de 1 m2 dentro de cada parcela. El diseño para el muestreo y toma de muestras se puede observar en la **Figura 2**.

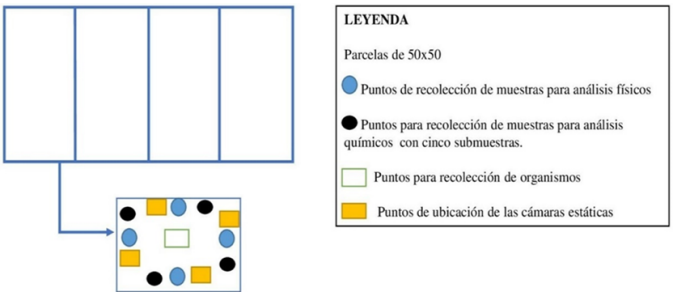


Figura 2 | Parcelas y puntos de muestreo

La etapa de campo tuvo una duración de 3 meses por factores climáticos, los materiales que se emplearon en la recolección de las muestras fueron machete, piola, tijera, pala, fundas herméticas, cooler, teléfono, libreta, lápiz, barreno, cilindros metálicos, papel aluminio, envases plásticos, frascos de vidrio, marcador permanente y cinta adhesiva, se realizó en dos fases la primera para la delimitación de las parcelas, **Figura 3a** y el muestreo biológico donde se realizó el conteo de organismos del suelo **Figura 3d** se establecieron cuatro áreas de 1 m^2 en cada parcela, mediante una excavación a 10 cm de profundidad se procedió a contar las lombrices **Figura 4g**.



Figura 3 | Muestreo del suelo: delimitación de parcelas a), barreno, b) cámara estática c), conteo de organismos d, secado de muestras e), muestras para análisis físicos f).

En la segunda fase se recolectó las muestras de suelo para los análisis físicos y químicos en la extracción se utilizó una pala, cilindros metálicos y un barreno **Figura 3b** respectivamente, además se colocaron las cámaras estáticas **Figura 3c** para calcular la respiración edáfica del parámetro biológico con el uso de envases plásticos.

Todas las muestras fueron etiquetadas y transportadas al laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica, las muestras simples se colocaron en papel aluminio **Figura 3f** mientras que las muestras compuestas se dejaron secando **Figura 3e** por una semana luego se aplastó y tamizó.

2.2.2. Fase de laboratorio - análisis de las muestras

2.2.2.1. Análisis físicos

Determinación de textura, **Figura 4a** se realizó mediante el uso del método del hidrómetro propuesto por (Osorio et al. 2023), se pesó 40 g de suelo seco, seguido de esto se transportó la muestra a un Erlenmeyer adicionando 100 mL de calgón, se dejó reposar durante 24 horas y se batió con una malteadora por 5 minutos, esta mezcla se vertió en una probeta de 1000 mL con agua destilada, se agitó para homogeneizar, a continuación se sumergió el hidrómetro y un termómetro durante 40 segundos con el propósito de tomar la lectura respectivamente, posteriormente se dejó en reposo para evitar que se perturbe la solución y pasadas 2 horas se tomaron las lecturas y se aplicó la siguiente fórmula:

$$FC = 19{,}5\ ^{\circ}\text{C} \pm 0{,}18 \text{ por cada } 0{,}5\ ^{\circ}\text{C} \tag{1}$$

$$LC = (\text{Ltm} \pm \text{FC}) - (\text{LB} \pm \text{FC}) \tag{2}$$

$$\%\text{Arena} = 100 - (\text{Ltm} \pm \text{FC40seg} \times 100\text{gM}) \tag{3}$$

$$\%\text{Arcilla} = \text{LC2h} \times 100\text{gM} \tag{4}$$

$$\%\text{Limo} = 100 - (\%\ \text{Arena} + \%\ \text{Arcilla}) \tag{5}$$

Densidad aparente (Da), **Figura 4b** para su determinación se utilizó el método del cilindro de (García 2017), los cilindros de las muestras simples se secaron en una estufa a 105 °C por 24 horas, una vez seco se pesó y se procedió a calcular con la siguiente fórmula:

$$V = \pi * r^2 * h \tag{6}$$

$$Da = \frac{\text{Mss}\ (g)}{V\ (cm)^3} \tag{7}$$

Determinación de la porosidad, **Figura 4c** se utilizó la metodología propuesta por (Warren 1985) para lo cual primero se realizó el pesaje del suelo recogido de cada cilindro, para determinar la porosidad total se dejó los cilindros en un estado de saturación por 24 horas, después se pesó las muestras

de suelo saturado, posteriormente se llevó a secar por 24 horas y se pesó una vez más, finalmente para obtener la porosidad total se calculó con los resultados de la densidad aparente y real, mediante el uso de la siguiente fórmula según (Ramírez 1997) citado por (Osorio et al. 2023).

$$PT = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100 \quad (8)$$

2.2.2.2.Análisis químicos

Determinación del pH, **Figura 4d**, para el análisis se utilizó un medidor multiparamétrico de mesa, en un recipiente de 50 mL se agregó 10 g de muestra de suelo y se añadió 40 mL de agua destilada en relación 1:4, seguido se procedió a llevar al agitador a 200 rpm durante 10 minutos y se dejó reposar por 30 minutos. Se calibró el equipo de pH y se llevó con mucho cuidado el análisis de cada una de las muestras, lavando el electrodo después de cada muestra analizada esto con el objetivo de tener resultados precisos (Osorio et al. 2023).

Materia orgánica (MO), **Figura 4e**, para el cálculo se procedió con el método de calcinación propuesto por Schulte y Hopkins (1996) citado por (Izquierdo y Arévalo 2021), se pesó 5 g de suelo de la muestra en un crisol de 15 ml en una balanza digital y se colocó en una estufa durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, pasado este tiempo se llevó a enfriar las muestras en un desecador y posteriormente se pesaron. Después se llevó las muestras a una mufla durante 2 horas a una temperatura de 360 °C, posteriormente se enfriaron en el desecador y se pesó nuevamente, finalmente se aplicó la siguiente fórmula para conocer la cantidad de materia orgánica contenida en las muestras por diferencia de pesos inicial y final.

$$\%MO = \frac{peso105°C - peso360°C}{peso105°C} \quad (9)$$

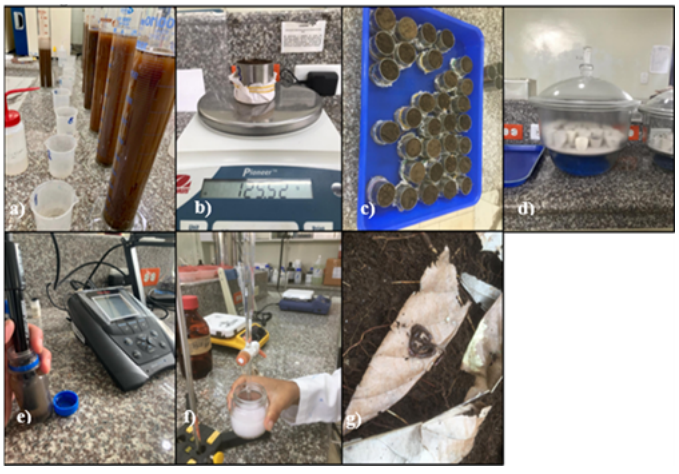


Figura 4 | Determinación de parámetros del suelo. Análisis físicos: textura a), densidad aparente b), porosidad c), análisis químicos: materia orgánica d), pH e), análisis biológicos: respiración edáfica f), conteo de organismos g).

2.2.2.3.Análisis biológicos

La respiración edáfica, **Figura 4f** se midió en campo mediante con una modificación al método de (Anderson 1982) con la colocación de cámaras estáticas mediante el uso de envases plásticos colocados y enterrados a 1 cm de profundidad en campo que contenían un envase de vidrio con 30 mL de NaOH 1M que permaneció abierto, y uno cerrado que sirvió como blanco para los cálculos. Después de 24 horas se agregó 2 a 3 ml de cloruro de Bario (BaCl2) para detener la reacción, se procedió a enfriar a 4 °C y posteriormente se tintuló en laboratorio con HCl 1N.

2.3. Análisis de calidad del suelo

Tabla 1 | Clases de Calidad de suelo. Adaptado (Cantú et al. 2007)

Índice de calidad de suelos	Escala|	Clases
Muy Alta Calidad	0,8 - 1,00	1
Alta Calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada Calidad	0,40 - 0,59	3
Baja Calidad	0,20 - 0,39	4
Muy Baja Calidad	0,00 - 0,19	5

La **Tabla 1** proporciona un sistema de clasificación de la calidad del suelo basado en un índice de calidad de suelos. La asignación de valores a cada clase se realiza en función del rango en el que cae el índice de calidad. En el caso específico de esta tabla, el autor (Cantú et al. 2007) ha establecido los siguientes criterios:

1. *Muy Alta Calidad (Clase 1):* Si el índice de calidad de suelos está en el rango de 0,8 a 1,00, se clasifica como "Muy Alta Calidad".

2. *Alta Calidad (Clase 2):* Los suelos con índices en el intervalo de 0,60 a 0,79 se clasifican como .Alta Calidad".

3. *Moderada Calidad (Clase 3):* Se asigna a suelos con índices en el rango de 0,40 a 0,59. Esta categoría indica una calidad moderada del suelo.

4. *Baja Calidad (Clase 4):* Si el índice de calidad cae entre 0,20 y 0,39, se clasifica como "Baja Calidad".

5. *Muy Baja Calidad (Clase 5):* Para índices de calidad en el rango de 0,00 a 0,19, se asigna la categoría de "Muy Baja Calidad".

Estos criterios proporcionan una forma sistemática de evaluar y comunicar la calidad del suelo utilizando un índice numérico, para el presente estudio, se ha tomado como criterios para evaluar el índice de calidad del suelo.

2.4. Análisis estadístico

Se realizó tomando en cuenta la base de datos generada en matriz Excel con los datos de los experimentos obtenidos en campo y laboratorio, para posterior ingresar al programa estadístico SPSS Statistic 29.0 y a través de comparación de medias de los datos con una probabilidad del 0.05 se generó un análisis de calidad del suelo en los cuatro tratamientos aplicados.

3. Resultados y discusión

3.1.Resultados

3.1.1. Indicadores físicos de la calidad del suelo

En la **Tabla 2** las letras diferentes en las columnas representan diferencias significativas (P<0,05); A1: (Cultivo *Manihot esculenta* + *Musa* × *paradisiaca* con poca vegetación); A2: (Cultivo de *Theobroma* cacao L sin árboles); A3: (Cultivo de *Theobroma* cacao L con pocos árboles); A4: (Cultivo de *Musa* × *paradisiaca* + Maleza).

Tabla 2 | Análisis de las propiedades físicas de calidad de suelo a 0-10 cm y 10-20 cm bajo cuatro usos de tierra.

Variables /Tratamientos	Textura			Densidad aparente (Da) g.cm^{-3}	Porosidad (%)
	Arena %	Arcilla %	Limo %		
		Profundidad 0 -10 cm			
A1	59,41 a	21,98 a	18,61 a	0,07 a	80,92 a
A2	50,55 a	22,83 a	19,53 a	0,08 a	80,70 a
A3	59,75 a	22,83 a	26,63 a	0,06 a	81,47 a
A4	60,30 a	21,06 a	24,64 a	0,07 a	81,15 a
		Profundidad 10 - 20 cm			
A1	59,75 a	19,85 b	20,40 a	0,06 a	82,74 a
A2	62,69 a	25,48 a	11,84 b	0,10 a	76,72 b
A3	60,30 a	26,21 a	13,49 b	0,07 a	81,13 a
A4	58,71 a	25,08 a	16,21 ab	0,08 a	80,09 a

3.1.1.1. Textura

La **Figura 5**, muestra el porcentaje de las parcelas muestreadas, los cuatro tratamientos tienen porcentajes similares de arcilla, pero hay diferencias notables en los porcentajes de arena y limo siendo el tratamiento A2 el que tiene menor porcentaje de arena, mientras que el tratamiento A4 cuenta con el mayor porcentaje, igualmente el tratamiento A3 tiene el mayor porcentaje de limo. De acuerdo al grado de importancia la atención se centra en la profundidad de 0-10 cm del suelo, donde el tratamiento A3 muestra una diferencia notable en comparación con los tratamientos A1 y A2 en el porcentaje de limo. Los parámetros del estadístico (a) indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. En términos generales el tratamiento A3 tiene un contenido de limo más alto en comparación con los otros tratamientos en la capa superficial del suelo, en todas las parcelas se presenta una similitud en que son suelos francos arcillo arenosos, lo que indica una combinación equilibrada de propiedades de textura del suelo. La proporción significativa de arena sugiere una buena capacidad de drenaje, mientras que la presencia de arcilla y limo contribuye a la retención de agua y nutrientes.

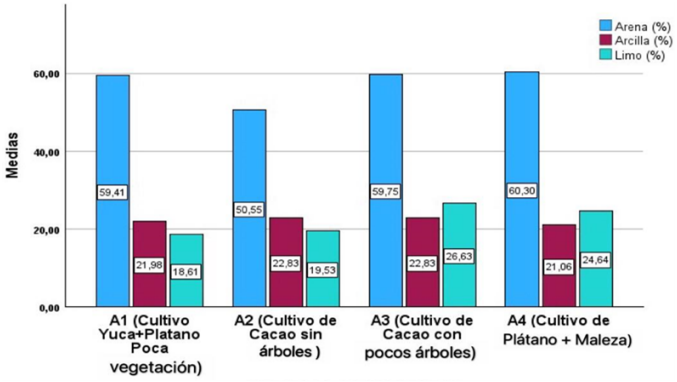


Figura 5 | Texturas de suelos muestreados a una profundidad de 0 – 10cm. Datos obtenidos en SPSS

Según en la **Figura 6**, el tratamiento A2 tiene el porcentaje más alto de arena, mientras que el tratamiento A4 tiene el porcentaje más bajo. Los tratamientos A3 y A4 presentan porcentajes de arcilla bastante similares, pero A2 tiene el porcentaje más bajo, A4 tiene el porcentaje más alto de limo, seguido por A3, esto indica que el tratamiento A4 tiene una proporción relativamente mayor de partículas finas en comparación con el tratamiento A3.

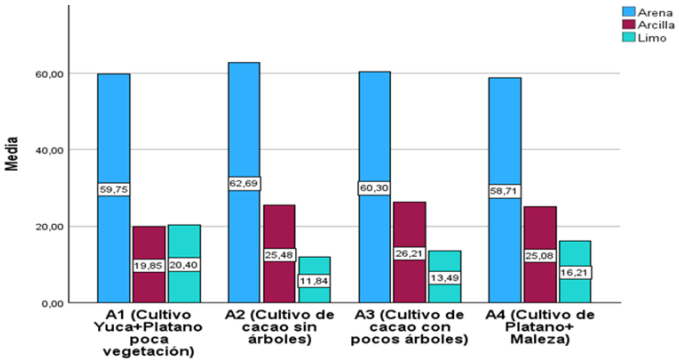


Figura 6 | Texturas de suelos muestreados a una profundidad de 10 – 20cm. Datos obtenidos en SPSS

3.1.1.2. Densidad aparente

Sobre la (Da) la **Figura 7**, presenta las diferentes parcelas muestreadas a una profundidad de 0 a 10 cm, nos indica que el tratamiento A3 tiene la densidad aparente más baja (0,06 Mg/m^3), indicando una mayor porosidad en comparación con los otros tratamientos. El tratamiento A2 tiene la densidad aparente más alta (0,08 Mg/m^3), sugiriendo una menor porosidad en el suelo. Se observa variabilidad en los valores de densidad aparente, lo que indica diferencias en la estructura del suelo entre los tratamientos.

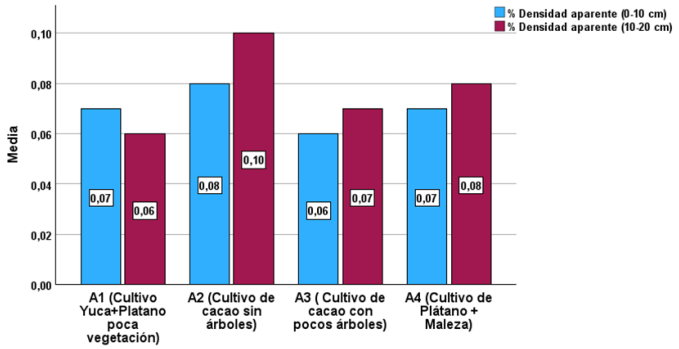


Figura 7 | Densidad aparente (Da) a una profundidad a 0-10cm y 10-20 cm. Datos obtenidos en SPSS

La (Da) de las diferentes parcelas muestreadas a una profundidad de muestreo de 10 a 20 cm, arrojan como resultados que el tratamiento A2 tiene la densidad aparente más alta (0,10 Mg.m3), lo que sugiere una menor porosidad en comparación con los otros tratamientos. El tratamiento A1 el suelo mantiene la densidad aparente más baja (0,06 Mg.m3) en esta profundidad, indicando una mayor porosidad. El suelo del tratamiento A2 muestra un aumento significativo en la densidad de 0-10 cm a 10-20 cm. El suelo del tratamiento A1 muestra una disminución en la densidad aparente de 0-10 cm a 10-20 cm.

Tomando en cuenta que de acuerdo con (Cid et al. 2021) la (Da) es un indicador de la porosidad del suelo y su capacidad

para retener agua y nutrientes, además que su variación puede influir en la capacidad de drenaje y la disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas.

3.1.1.3. Porosidad (%)

Según en la **Figura 8**, a la profundidad de 0-10 cm, el tratamiento A3, tiene la porosidad promedio más alta y la mayor variabilidad entre las parcelas con 1.41% (81.47% - 80.06%). Igualmente, el tratamiento A2, tiene una porosidad promedio ligeramente más baja, pero es más consistente teniendo la menor variabilidad con 0.98% (80.70% - 79.72%). El tratamiento A1 y tratamiento A4 tienen valores intermedios y exhiben cierta variabilidad en la porosidad.

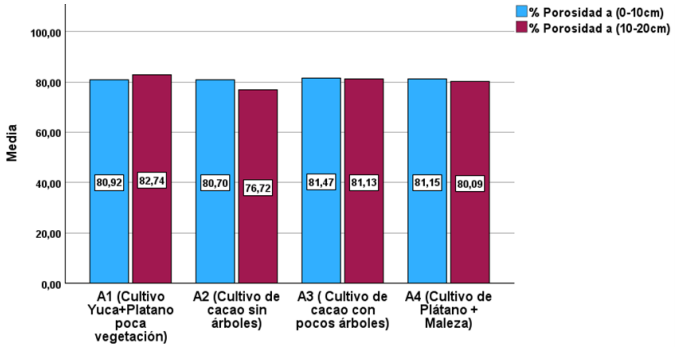


Figura 8 | Porosidad (%) a una profundidad a 0-10cm y 10-20 cm. Datos obtenidos en SPSS

En cambio, a una profundidad de muestreo de 10-20 cm el tratamiento A1 muestra la porosidad promedio más alta y la mayor variabilidad entre las parcelas. Por otra parte, el tratamiento A2, tiene la porosidad promedio más baja y la menor variabilidad. Los tratamientos A3 y A4 tienen valores intermedios y exhiben cierta variabilidad en la porosidad.

Comparando los promedios generales de las dos profundidades de suelos establecidas en el muestreo de tratamientos, A1: 81.83%, A2: 78.71%, A3: 81.30%, A4: 80.62%. se puede expresar que el tratamiento A1 tiene la mayor variabilidad general con 1.82%. el tratamiento A2 tiene la menor variabilidad general con 0.68%. Interpretando de forma conjunta el tratamiento A1 muestra la porosidad promedio más alta, pero también la mayor variabilidad entre profundidades. Así también el tratamiento A2, aunque tiene la porosidad promedio más baja, es más consistente entre profundidades. Los tratamientos A3 y A4 tienen valores intermedios en porosidad y variabilidad.

3.1.2. Indicadores químicos de la calidad del suelo

En la **Tabla 3** el análisis se centra en comparar las variaciones en estas propiedades químicas entre las diferentes profundidades y usos del suelo.

Las letras diferentes en las columnas representan diferencias significativas (P<0,05); A1: (Cultivo *Manihot esculenta* + *Musa* × *paradisiaca* con poca vegetación); A2: (Cultivo de *Theobroma* cacao L sin árboles); A3: (Cultivo de *Theobroma* cacao L con pocos árboles); A4: (Cultivo de *Musa* × *paradisiaca* + Maleza).

Tabla 3 | Análisis de las propiedades químicas de calidad de suelo a 0-10 cm y 10-20 cm.

Variables/Tratamientos	pH	Materia Orgánica (M.O.)
	Profundidad 0 -10 cm	
A1	5,4 a	3,5 a
A2	5,5 a	3,6 a
A3	5,4 a	3,5 a
A4	5,3 a	3,3 a
	Profundidad 10 - 20 cm	
A1	5,3 a	3,6 a
A2	5,3 a	|3,3 a
A3	5,4 a	3,6 a
A4	5,5 a	3,5 a

3.1.2.1. pH del suelo

En términos de interpretación, un pH de 0 a 6 indica la presencia de ácidos libres, con la posible existencia de aluminio intercambiable un pH 7 indica que el suelo es neutro y un pH de 8 a 14 indica que estamos frente a un suelo alcalino (Osorio et al. 2023).

El pH del suelo en la profundidad de 0-10 cm, muestra ligeras variaciones entre los diferentes tratamientos. El tratamiento A2 tiene el valor de pH más alto, mientras que el tratamiento A4 tiene el valor más bajo, todos los tratamientos muestran un grado de acidez en el suelo. Mientras que a la profundidad de 10-20 cm, los valores de pH son bastante consistentes entre los diferentes usos de tierra. El tratamiento A4 tiene el valor más alto de pH, mientras que el tratamiento A1 tiene el valor más bajo, sugiriendo una ligera acidez. De acuerdo a los datos representados en la **Figura 9**, no existen diferencias significativas. Realizando una comparación de medias en general de las dos profundidades de muestreo se obtiene A1: 5.35, A2: 5.4, A3: 5.4, A4: 5.4. Los valores de pH del suelo en ambas profundidades están en el rango ligeramente ácido a neutro, los tratamientos A2, A1 y A4 presentan una variación mínima en el pH entre las dos profundidades.

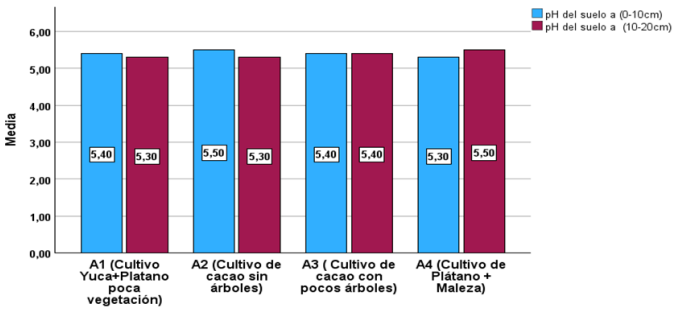


Figura 9 | pH en el suelo a una profundidad a 0-10cm y 10-20 cm. Datos obtenidos en SPSS

3.1.2.2. Materia orgánica

Estudios han resaltado la relevancia de la (MO) del suelo en el ciclo del carbono, influyendo en la mitigación del cambio climático al actuar como un reservorio de carbono orgánico

(Rumpel y Kögel-Knabner 2019). La (MO) promueve la actividad microbiana en el suelo, facilitando la descomposición de residuos y la liberación de nutrientes (Kallenbach et al. 2019).

Según en la **Figura 10** en la profundidad de 0 a 10 cm, los valores de (MO) varían ligeramente entre los diferentes tratamientos. El tratamiento A2 tiene un valor más alto de materia orgánica, mientras que el tratamiento A4 tiene el valor más bajo. En la profundidad de 10 a 20 cm, los valores de materia orgánica también muestran variaciones leves. Así mismo en los tratamientos A1 y A3 tienen los valores más altos, mientras que en el tratamiento A2 tiene el valor más bajo.

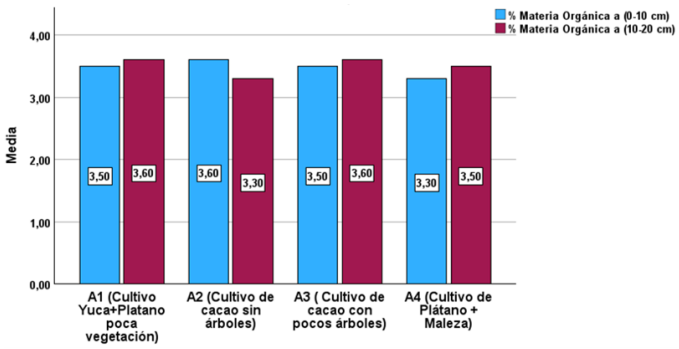


Figura 10 | Materia orgánica en el suelo a una profundidad a 0-10cm y 10-20 cm. Datos obtenidos en SPSS

En comparación entre profundidades, el promedio general del contenido de (MO) en los tratamientos nos refleja que A1: 3.55, A2: 3.45, A3: 3.55, A4: 3.4. En general, los valores de materia orgánica en ambas profundidades indican una presencia moderada de material orgánico en el suelo. El tratamiento A2 muestra una ligera disminución en la materia orgánica entre las dos profundidades, mientras que los tratamientos A1 y A3 tienen un aumento leve.

3.1.3. Indicadores biológicos de la calidad del suelo

Las letras diferentes en las columnas representan diferencias significativas (P<0,05); A1: (Cultivo *Manihot esculenta* + *Musa* × *paradisiaca* con poca vegetación); A2: (Cultivo de Theobroma cacao L sin árboles); A3: (Cultivo de *Theobroma* cacao L con pocos árboles); A4: (Cultivo de *Musa* × *paradisiaca* + Maleza). La **Tabla 4** ofrece un análisis de las propiedades biológicas del suelo, las variables evaluadas en este contexto son la respiración edáfica y el número de lombrices.

Tabla 4 | Análisis de las propiedades biológicas de calidad de suelo.

Variables /Tratamientos	Respiración Edáfica mgCO2*día-1 *ha-1	Lombrices m²
A1	12,2	0
A2	9,11	5
A3	8,17	8
A4	7,27	5

3.1.3.1. Respiración edáfica

En la **Figura 11**, los tratamientos A1, A2, A3 y A4, representan diferentes condiciones de los tratamientos muestreadas en el experimento. Los valores asociados con cada tratamiento (12,2 para A1, 9,11 para A2, 8,17 para A3, y 7,27 para A4) son mediciones de la actividad de respiración edáfica en cada condición. La actividad de respiración edáfica disminuye a medida que nos movemos del tratamiento A1 a A4, con el tratamiento A4 mostrando el valor más bajo (7,27) y A1 mostrando el valor más alto (12,2).

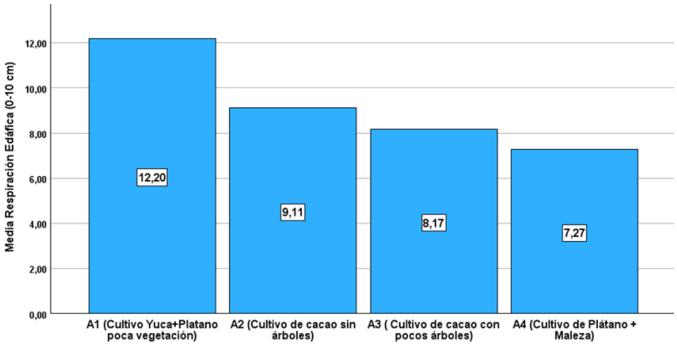


Figura 11 | Medias de respiración edáfica en el suelo en cuatro parcelas de muestreo.Datos obtenidos en SPSS

3.1.3.2. N°. de lombrices

En la **Figura 12**, el número de lombrices es la variable de interés, y se está evaluando en diferentes tratamientos. Los valores asociados con cada tratamiento (0 para A1, 5 para A2, 8 para A3 y 5 para A4) indican el número promedio de lombrices en el suelo bajo esas condiciones específicas.

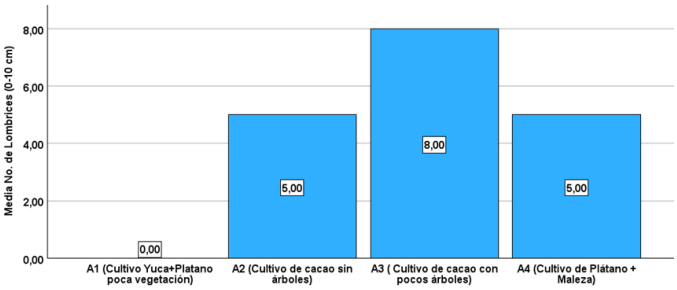


Figura 12 | N° de lombrices en el suelo de los diferentes usos de suelos muestreados. Datos obtenidos en SPSS

Por otro lado, el tratamiento A3 tiene el valor más alto (8), indicando una mayor presencia de lombrices en comparación con los otros tratamientos. Las diferencias en el número de lombrices entre los tratamientos podrían estar asociadas con las características específicas de cada uno.

3.1.4. Índice de calidad del suelo

3.1.4.1. Índices de calidad físicos y químicos del suelo

MC: Moderada Calidad; A1: (Cultivo *Manihot esculenta* + *Musa* × *paradisiaca* con poca vegetación); A2: (Cultivo de *Theobroma* cacao L sin árboles); A3: (Cultivo de *Theobroma* cacao L con pocos árboles); A4: (Cultivo de *Musa* × *paradisiaca* + Maleza); pH: Potencial de hidrógeno.

La **Tabla 5** presenta la consistencia en las características físicas del suelo entre los tratamientos en ambas profundidades. La densidad aparente se mantiene relativamente constante alrededor de 0,33-0,36 Mg.m3, indicando una consistencia en la compactación del suelo en los diferentes usos del suelo. La porosidad también se mantiene constante, alre-

dedor del 81-83%, sugiriendo una uniformidad en la capacidad del suelo para retener agua y permitir la circulación del aire. El ICFS, que se sitúa alrededor de 0,41-0,42, clasifica la calidad física del suelo como "Moderada Calidad.[en] todos los tratamientos y profundidades, indicando que, a pesar de las variaciones en los usos del suelo, la calidad física del suelo se mantiene en un nivel moderado y uniforme.

Tabla 5 | Índice de calidad física y química del suelo bajo cuatro usos del suelo.

Variables /Tratamientos	Textura ×	Densidad aparente (Da) Mg.m^{-3}	Porosidad (%)	pH	Materia Orgánica (M.O.)	ICFQS	CLASE
			Profundidad 0 -10 cm				
A1	0,33	0,07	0,81	0,54	0,35	0,42	MC
A2	0,31	0,08	0,81	0,55	0,36	0,42	MC
A3	0,36	0,06	0,81	0,54	0,35	0,42	MC
A4	0,35	0,07	0,81	0,53	0,33	0,42	MC
			Profundidad 10 - 20 cm				
A1	0,33	0,06	0,83	0,53	0,36	0,42	MC
A2	0,33	0,10	0,77	0,53	0,33	0,41	MC
A3	0,33	0,07	0,81	0,54	0,36	0,42	MC
A4	0,33	0,08	0,80	0,55	0,35	0,42	MC

En el pH del suelo se observa una consistencia en los valores en ambas profundidades y para todos los tratamientos, oscilando alrededor de 0,53-0,55. Estos valores sugieren una ligera acidez en el suelo. La materia orgánica también muestra una consistencia en su rango, con valores entre 0,33 y 0,36%. Lo que establece que el ICQS, con valores entre 0,41 y 0,42 en todas las condiciones, clasifica la calidad química del suelo como "Moderada Calidad.[en] todos los tratamientos y profundidades. Este patrón sugiere que, a pesar de las variaciones en los usos del suelo, no se observan cambios significativos en la calidad química del suelo según el índice utilizado en este estudio.

Los resultados sugieren que los diferentes usos de la tierra y sus cultivos en el sistema Chacra no generan variaciones sustanciales en la calidad física y química del suelo en las profundidades evaluadas. La clasificación constante como "Moderada Calidadïndica que, aunque hay diferencias en los usos de la tierra, estos no tienen un impacto significativo en las propiedades del suelo evaluadas en este estudio.

3.1.4.2. Índices de calidad biológica del suelo

AC: Alta Calidad; MAC: Muy Alta Calidad; A1: (Cultivo *Manihot esculenta* + *Musa* × *paradisiaca* con poca vegetación); A2: (Cultivo de *Theobroma* cacao L sin árboles); A3: (Cultivo de Theobroma cacao L con pocos árboles); A4: (Cultivo de M*usa* × *paradisiaca* + Maleza).

La **Tabla 6** indica que los parámetros biológicos evaluados destacan que la parcela A3 tiene la mayor calidad biológica del suelo, indicada por un ICBS de 0.8 y clasificado como Muy Alta Calidad (MAC). Los tratamientos A1 y A4 tienen una calidad biológica similar, ambos clasificados como Alta Calidad (AC). A2 muestra una calidad biológica algo inferior, clasificado también como Alta Calidad (AC), pero con valores más bajos en respiración edáfica y número de lombrices. Estos resultados sugieren que la presencia de árboles en el tratamiento (A3) puede contribuir positivamente a la calidad biológica del suelo, mientras que los otros cultivos de los tratamientos A1, A2, A4 tuvieron resultados variables. La interpretación sugiere que la biología del suelo, medida a través de la respiración edáfica y la presencia de lombrices, refleja el impacto positivo del sistema Chacra.

Tabla 6 | Índice de calidad biológico bajo cuatro usos del suelo.

Variables /Tratamientos	Respiración Edáfica mgCO2*día-1 *ha-1	No. Lombrices. m^2	ICBS	Clase
A1	1,2	0,0	0,6	AC
A2	0,9	0,5	0,7	AC
A3	0,8	0,8	0,8	MAC
A4	0,7	0,5	0,6	AC

En este contexto, se destaca que, los parámetros físicos, químicos y biológicos han proporcionado un entendimiento detallado del estado actual del suelo en la comunidad. A pesar que existen ligeras variaciones en su análisis que no son significativos, deberían ser consideradas para estrategias de manejo posteriores, debido al requerimiento propio de los cultivos de *Manihot esculenta, Musa* × *paradisiaca* y *Theobroma cacao L*. Finalmente, en conjunto, estos resultados demuestran la relevancia de considerar y mantener la práctica agrícola tradicional Chacra en la gestión sostenible y cuidado del suelo.

3.2.Discusión

Concluida toda la fase metodológica y habiéndose obtenido los resultados anteriormente descritos se puede señalar esta investigación presenta coincidencias con lo mencionado por Smith et al. 2019; Brown y Jones 2021 que coinciden en la importancia de la textura del suelo en la agricultura y su

impacto en la retención de agua y nutrientes, esto se también fue comprobado durante esta investigación en todas los tratamientos presentes que mantienen suelos de texturas francos arcillo arenosos, mostrando un equilibrio adecuado en sus propiedades. Los porcentajes de arena, limo y arcilla muestran variaciones notables entre tratamientos: El tratamiento A2 destaca por tener el menor porcentaje de arena, mientras que el tratamiento A4 presenta el mayor porcentaje de arena. Por otro lado; el tratamiento A3 exhibe el mayor porcentaje de limo, valores descritos en la Tabla 2 donde presenta variabilidad en la composición de textura del suelo.

En cuanto a (Da) según Smith y Brown 2020 en su investigación titulada Temporal Changes in Soil Density and Porosity in Agricultural Soils. La variabilidad en los valores de (Da) entre 0-10 cm y 10-20 cm resalta cambios en la estructura del suelo con la profundidad, así también concuerda con los resultados obtenidos en los tratamientos de esta investigación como para el tratamiento A2 donde muestra un aumento significativo en la (Da) de 0-10 cm a 10-20 cm, mientras que el tratamiento A1 experimenta una disminución en este período. Hallazgos similares se han observado en investigaciones sobre la variabilidad de la (Da) en diferentes capas del suelo, esto debido a los sistemas de cultivo ejemplo el tratamiento A3 muestra la porosidad promedio más alta y la mayor variabilidad entre las parcelas a 0-10 cm. Esta variabilidad presenta heterogeneidad en la estructura del suelo como menciona Brown et al. 2017.

Para el indicador pH del suelo se debe diferenciar su grado de importancia puesto que influye en las demás propiedades químicas y tiene implicaciones significativas para el desarrollo de organismos vivos y la salud del ecosistema como menciona Brown et al. 2020 y coincidiendo con los resultados obtenidos de esta investigación. Donde los valores de pH fueron para, A1: 5.35, A2: 5.4, A3: 5.4, A4: 5.4 ubicándose en un rango ligeramente ácido a neutro, valores descritos en la **Figura 9**.

Para la determinación de la materia orgánica (MO) dentro de esta investigación se encuentran descritos en la **Figura 10**, donde la ligera disminución en el tratamiento A2 entre las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20cm puede relacionarse con procesos de descomposición o manejo específico del suelo así también demostrado por Smith y Brown 2018 en su estudio titulado Temporal Changes in Soil Organic Matter Content: A Meta-Analysis y lo mismo encontrado en los tratamientos A1 y A3, con aumentos leves en sus valores, por una acumulación continua de materia orgánica en el suelo debido al continuo aporte de material vegetal de los sistemas de cultivo.

La alta actividad microbiana en los tratamientos A1 y A4 es coherente con la idea de que esta actividad es crucial para la descomposición de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes como lo menciona Anderson et al. 2020. Así mismo la baja actividad en la parcela A3 puede indicar limitaciones en la disponibilidad de recursos o condiciones menos propicias para la actividad microbiana. Por otra parte, la variación en los niveles de materia orgánica entre los tratamientos, siendo el tratamiento A2 mostrando el valor más alto 3,60% y A4 el más bajo 3,30%, coincide con los hallazgos de (Smith et al. 2019).

La observación de una mayor presencia de lombrices en los tratamientos A3 y A4 podría estar relacionada con la composición específica del suelo o las prácticas agrícolas aplicadas esto se menciona en la investigación de (Brown et al. 2006) donde ha señalado la importancia de factores como la materia orgánica y la textura del suelo para las poblaciones de lombrices.

El índice de calidad físico del suelo (ICFS), con un valor promedio entre 0,40-0,41 clasifica la calidad física del suelo como Moderada Calidad en todos los tratamientos y profundidades, coincide con los hallazgos de estudios previos de los autores (Brown y Miller 2019). De forma que, a pesar de las variaciones en los usos del suelo, la calidad física del suelo se mantiene a un nivel moderado y uniforme en la región estudiada. En relación con los resultados físicos, la evaluación química del suelo revela una consistencia en los valores de pH alrededor de 0,53-0,55, indicando una ligera acidez. La materia orgánica también exhibe uniformidad en su rango (0,33-0,36), lo cual concuerda con la investigación de (García et al. 2019).

El índice de calidad químicos del suelo (ICQS), se sitúa entre 0,41 y 0,42 lo que clasifica a la calidad química del suelo como Moderada Calidad en todas las condiciones, respalda la idea de que no hay cambios significativos en la calidad química alineándose con estudios de autores como (Jones et al. 2021).

Los resultados de la **Tabla 6** sugieren que la presencia de árboles, como en el tratamiento A3, contribuye significativamente a la calidad biológica del suelo, evidenciada por un índice de calidad biológico del suelo (ICBS) de 0.8 y clasificación como Muy Alta Calidad (MAC). Este hallazgo se respalda en el trabajo de Johnson et al. 2016 que destaca los beneficios de la agroforestería para la salud del suelo, enfatizando la influencia positiva de los árboles en la biodiversidad y en las interacciones ecológicas que favorecen la sostenibilidad agrícola.

Por otro lado, los tratamientos A1 y A4 presentan una calidad biológica similar clasificada como Alta Calidad (AC), indicando que ciertos cultivos pueden mantener niveles aceptables de salud del suelo, como lo indica (Brown et al. 2017) en investigaciones previas sobre la relación entre prácticas agrícolas y biodiversidad del suelo. Además, el tratamiento A2, a pesar de ser clasificado como Alta Calidad, exhibe valores ligeramente inferiores en respiración edáfica y número de lombrices, esto según Anderson et al. 2020 destaca la importancia de la actividad microbiana en la evaluación de la calidad biológica del suelo. En conjunto, estos resultados subrayan la relevancia de considerar el sistema de policultivo como buenas prácticas agrícolas en la gestión sostenible de los suelos.

4. Conclusiones

El estudio realizado ha alcanzado su objetivo planteado sobre evaluar la calidad del suelo mediante parámetros físicos, químicos y biológicos. El análisis de sus propiedades físicas, químicas y biológicas reveló que la textura en todas las parcelas presenta que son suelos francos arcillo arenosos, lo que

indica una combinación equilibrada en sus propiedades, con una adecuada proporción de arena que sugiere una buena capacidad de drenaje, mientras que la presencia de arcilla y limo contribuye a la retención de agua y nutrientes, además presentó variaciones no significativas en los distintos usos del suelo en cada uno de los tratamientos debido a las características específicas de cada uno y requerimiento de los cultivos involucrados. En cuanto a los índices de calidad físicos y químicos evaluados, textura, (Da), porosidad, materia orgánica (MO) y pH, han clasificado la calidad del suelo como "Moderada", mientras el análisis de la calidad biológica, basado en la respiración edáfica y el número de lombrices, reveló una diversidad en los valores obtenidos, destacando tratamientos de "Muy Alta Calidadz .Alta Calidad". Notablemente, el tratamiento A3 se distinguió por la presencia de árboles en el sistema de cultivo en donde se clasificó como "Muy Alta Calidad"biológica. Estos hallazgos indican que el sistema de cultivo chacra permite un mantenimiento a un nivel estable en términos físicos, químicos, y biológicos al igual que sus cultivos, asegurando beneficios significativos en la salud y sostenibilidad del suelo, así como la seguridad económica y alimentaria en la comunidad. También se refuerza la importancia de los estudios del suelo en las prácticas de agricultura tradicional para poder tomar decisiones sobre las prácticas agrícolas que se aplican.

Contribuciones de los autores

Doris Valeria Auquilla Riera: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Nayeli Sarahi Meneses Paredes: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Edgar Ruben Chicaiza Reisancho: Concepción del trabbajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

Anderson, D. W. 1982. “Soil respiration”. In: Page, A.L.; R.H. Miller; D.R. Keeney (Eds), Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and Biological Properties. 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA).

Anderson, R., Williams, C, D, y Garcia, M, L. 2020. “Soil Microbial Respiration: Implications for Organic Matter Decomposition and Biogeochemical Cycling”. Frontiers in Environmental Science, 8: 342.

Arévalo, V., Venus, V, y Grijalva, J. 2013. “Mejoramiento de chakras, una alternativa de Sistema Integrado para la Gestión Sostenible de Bosques en comunidades nativas de la Amazonía Ecuatoriana”. Sociedad Española de Ciencias Forestales, 1-14. https://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/14629

Bautista C., Etchevers, J. C, y Gutiérrez, C. 2004. “La calidad del suelo y sus indicadores”. revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149

Cantú, M., Becker, A, Bedano, J, y Schiavo, H. 2007. “Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices”. Ciencia del Suelo, 173 -178. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672007000200008

Brown, A, et al. 2017. "Spatial Variability of Soil Porosity in Agricultural Fields: A Review."Soil Science Society of America Journal.

Brown, C, y Miller, D. 2019. .Assessment of Soil Physical Quality in Diverse Land Use Systems."Soil Science Society of America Journal, 65(1), 78-92.

Brown, A, et al. 2020. Ïnterpretation of Soil pH Indicators in Agricultural Soils."Journal of Agricultural Science.

Brown, A, y Jones, B. 2021. Ïmpact of Soil Texture on Water Retention and Drainage."Journal of Agricultural Science.

Brown, G., Barois, I, y Lavelle, P, 2006. “Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains”. European Journal of Soil Biology. doi:10.1016/S1164-5563(00)01062-1

Burbano, Hernán. 2016. “El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria”. Rev. Cienc. Agr. doi: http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58.

Carrillo, F., Senén, S y Sanz, J. 1995. “Cómo obtener una buena muestra para el análisis de suelos”. CENICAFE. https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1071

Carrillo, Ignacio. 1985. “Manual of soil laboratory”. CENICAFE. Colombia. https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/803/11/J.%20Aluminio.pdf

Cid, G., López, S. T, Herrera, J, y González, F. 2021. “Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos”. https://www.redalyc.org/journal/5862/586266250001/html/

Corporación de Asociaciones de la Chakra Amazónica. 2022. “La Chakra Amazónica, un sistema agroforestal tradicional gestionado por comunidades indígenas en la provincia de Napo – Ecuador”. SIPAM/FAO. https://info.napo.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/ES-Chakra-Amazonica-SIPAM-Ecuador-06Julio22.pdf

Dabadie, M., Pérez, C, Arturi, M, Goya, J y Sandoval, M. 2018. “Calibración del método de pérdida de peso por ignición para la estimación del carbono orgánico en Inceptisoles del NE de Entre Ríos”. Rev. Fac. Agron. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70942

Díaz, A. 2018. “Caracterización de los suelos de la Amazonía ecuatoriana”. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5446/1/Caracterizaci%c3%b3%20de%20los%20suelos%20de%20la%20Amazon%c3%ada%20ecuatoriana.pdf

FAO. 2021 “La biodiversidad del suelo”. Global Symposium on Soil Biodiversity Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/es/

GADMCJAT. 2020. “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Carlos Julio Arosemena Tola 2020-2030”. Carlos Julio Arosemena Tola, Ecuador. https://sil.napo.gob.ec/wp-content/uploads/2022/09/PDOT-CJAT-2020-2030.

García, Leonardo. 2017. “Metodología de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua en el suelo”. Unión Europea y UNAG-Nicaragua. https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf

Garcia, R, et al. 2019. “Variability of Soil Organic Matter in Different Land Use Types”. Journal of Environmental Quality, 38(4), 178-193.

Georges de Noni y Trujillo, G. 1986. “Degradación del suelo en el Ecuador: principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso”. https://www.researchgate.net/profile/GTrujillo/publication/45111548_Degradacion_del_suelo_en_el_Ecuador_principales_causas_y_algunas_reflexiones_sobre_la_conservacion_de_este_recurso/links/56a275f208ae232fb201aca5/Degradacion-del-suelo-en-el-Ecuador-principales-causas-y-algunas-reflexiones-sobre-la-

conservacion-de-este-recurso.pdf

Izquierdo, J., y Arévalo, J.J. 2021. "Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación". Ingeniería y región, 26, 20-28. https://doi.org/10.25054/22161325.2527

Johnson, L, M, et al. 2016. "Agroforestry Promotes Soil Quality and Microbial Diversity with Concomitant Increases in Soil Carbon Storage". Journal of Applied Ecology, 53(6), 1702-1715.

Jones, K, et al. 2021. "Global Perspectives on Changes in Soil pH Due to Land Use". Catena, 25(4), 112-125.

Kallenbach, C, M, et al. 2019. "Nitrogen Use Efficiency and Nitrogen-15 Recovery in Soil with Cover Crops and Manure Application". Soil Science Society of America Journal.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2008. "Buenas prácticas agropecuarias". Costa Rica - San José: MAG, 86 p. https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P01-4955.PDF

Marimón, Jordi y Llitjós, A. 1995. "Estudio de cuatro adaptaciones escolares de método de observación y determinación de la textura del suelo". Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 1995, Vol. 3, Núm. 1, p. 35-39, https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/89229.

Molina, E. 2010. "Análisis de suelos y su interpretación". Costa Rica. http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisiseinterpretacion.pdf

Montiel, Karen., Martin, C, Witkowski, K, Lal, R. 2021. "Suelos saludables: la base de los sistemas alimentarios sostenibles en América Latina y el Caribe: un aporte para los debates en las Américas previos a la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios de las Naciones Unidas 2021". https://repositorio.iica.int/handle/11324/18585

Naciones Unidas Convención de Lucha contra la Desertificación. 2017. "Perspectiva global de la tierra", primera edición Bonn: Alemania. https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res_Spanish.pdf

Osorio, M. A., López, S.E, Haro, J.P, Carrillo, W.E. 2023. "El suelo: principios y análisis". La Plata, Buenos Aires, Argentina: Puerto Madero Editorial Académica. Doi:org/10.55204/pmea.29

Peña, V., Alarcón, C.P, Castro, E.J, Parente, J.D, y León, D. 2021. "Biología de los suelos amazónicos: vida que sostiene el bosque". Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. https://sinchi.org.co/files/publicaciones/novedades%20editoriales/pdf/biologi%CC%81a%20de%20los%20suelos_baja.pdf

Rumpel, C, y Kögel, I. 2019. "Deep Soil Carbon - A Key but Understudied Component of Terrestrial C Cycles". Environmental Research Letters.

Smith, J, et al. 2019. "Soil Texture and Crop Performance: A Review". Soil Science Society of America Journal.

Smith, M, y Brown, A. 2020. "Temporal Changes in Soil Density and Porosity in Agricultural Soils". Journal of Agricultural Science.

Smith, J, y Brown, A. 2018. "Temporal Changes in Soil Organic Matter Content: A Meta-Analysis."Soil Science Society of America Journal.

Trujillo, Juan., Mahecha, J y Torres, M. 2018. "El recurso suelo; un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad". Revista de Investigación Agraria y Ambiental. https://doi.org/10.22490/21456453.2095.

Universidad Estatal Amazónica, 2023. "Guía metodológica para el desarrollo de los trabajos de titulación", Secretaría de consejo académico.

Warren, Forsythe. 1985. "Física de suelos: manual de laboratorio". San José, Costa Rica: Editorial del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). http://repositorio.iica.int/handle/11324/7841.