

## EFFECTO DE SISTEMAS AGROFORESTALES Y MONOCULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), EN LOS INDICADORES FÍSICOS DEL SUELO

The Effect of Agroforestry Systems and Monocultures of Cacao (*Theobroma cacao* L.) on the Physical Indicators for the Soil

Lucia Victoria, Gutierrez Torre<sup>1</sup> , José Dolores, Lévano Crisóstomo<sup>2</sup> 

1: Bachiller en Ciencias en Conservación de Suelos y Agua de la Universidad Agraria de la Selva – Tingo María. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.3. Código ORCID: 0009-0003-7589-5400. Teléfono: 916 673 615. Correo electrónico: [lucia.gutierrez@unas.edu.pe](mailto:lucia.gutierrez@unas.edu.pe).

2: Ingeniero Agrónomo por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Magister en Suelos por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible por la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Docente Principal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.3. Código ORCID: 0000-0002-8102-9897. Teléfono: 943 012 366. Correo electrónico: [jose.levano@unas.edu.pe](mailto:jose.levano@unas.edu.pe).

### RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el efecto que tiene los sistemas agroforestales y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre los indicadores físicos del suelo en el caserío Marona, distrito de Luyando. Para lo cual se utilizó la metodología no experimental descriptivo con ajuste al diseño completamente al azar, en el cual se utilizó 4 tratamientos (T1 cacao en monocultivo, T2 cacao-bolaina, T3 cacao-capirona y T4 cacao-pino chuncho, con 8 repeticiones por cada tratamiento e indicador evaluado. Se encontró que el suelo del T4 (cacao con pino chuncho) obtuvo los mejores resultados: textura franca con un color rojo oscuro, agregados del suelo medianamente estable, porosidad alta, conductividad hidráulica moderada, pH levemente ácido, materia orgánica media, rendimiento alto el cual está por encima del promedio rentable de este cultivo; a comparación del T1 (cacao en monocultivo) que obtuvo los resultados más desfavorables de calidad de suelo para el cultivo de cacao y con el más bajo rendimiento de todos los sistemas estudiados, el cual está por debajo del promedio rentable del cultivo de cacao. Se concluye que los sistemas agroforestales tienen efectos positivos sobre los indicadores físicos del suelo en el cultivo de cacao, aumentando así su rentabilidad y productividad.

**Palabras clave:** bolaina, capirona, pino chuncho, calidad física del suelo.

### ABSTRACT

The objective of the research was to determine the effect of agroforestry systems and cocoa monoculture (*Theobroma cacao* L.) on the physical indicators of the soil in the Marona hamlet, district of Luyando. A descriptive non-experimental methodology was used with a completely randomized design, in which 4 treatments were used (T1 cacao in monoculture, T2 cacao-bolaina, T3 cacao-capirona and T4 cacao-chuncho pine), with 8 replicates for each treatment and indicator evaluated. It was found that the T4 soil (cacao with chuncho pine) obtained the best results: loamy texture with a dark red color, medium stable soil aggregates, high porosity, moderate hydraulic conductivity, slightly acid pH, medium organic matter, high yield which is above the profitable average of this crop; compared to T1 (cocoa in monoculture) which obtained the most unfavorable results of soil quality for cocoa cultivation and with the lowest yield of all the systems studied, which is below the profitable average of cocoa cultivation. It is concluded that agroforestry systems have positive effects on soil physical indicators in cocoa cultivation, thus increasing its profitability and productivity.

**Keywords:** bolaina, capirona, chuncho pine, soil physical quality.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao es uno de los mejores productos de exportación a nivel mundial, como indico la presidenta ejecutiva de la Comisión de Promoción del Perú para la exportación y el Turismo (PROMPERÚ), en la actualidad la producción peruana de cacao tiene 151 017 miles de toneladas, el 75% del cacao que se exporta desde el Perú es fino y aromático, siendo un atributo diferenciador frente al cacao africano o asiático (Organización Internacional del Cacao - ICCO, 2023). En la región Huánuco destaca entre los centros productores de cacao más importantes con una producción de 15 690 toneladas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI, 2023).

La sobreexplotación del suelo mediante la práctica de monocultivo en la agricultura, en específico del cultivo de cacao, asociados con tecnologías inapropiadas, está causando la pérdida de hasta el 50% de la fertilidad en los suelos y por ende su futura degradación, bajo este contexto, la agricultura convencional es inviable a largo plazo (Mendieta et al., 2007; Rocha et al., 2007). Sin embargo, investigaciones demuestran que el manejo orgánico de cacao, mejora y baja los niveles de metales pesados en los suelos esto conlleva a aplicar abonos orgánicos, promoviendo los Sistemas Agroforestales (SAF), los cuales son una buena alternativa para la conservación y longevidad de los suelos (Arenas, 2020; Florida et al., 2022), dando resultados positivos en cuanto a la calidad física, química y biológica del suelo, así mismo, mejorara la economía del agricultor, obteniendo mejores rendimientos agrícolas y aprovechando el recurso forestal (Pereira et al., 2011).

Esta investigación muestra las ventajas de los sistemas agroforestales, las cuales, al ser manejadas adecuadamente, pueden lograr la sostenibilidad controlando los elementos de riesgo alimentario y la diversidad biológica constante de los productos, dado que se mantiene un equilibrio constante de la microfauna, no requiere el uso de pesticidas ni la creación de un microclima favorable para ciertas plantas y/o animales (Hernández et al., 2019). Por ello, al evaluar el efecto que tiene los sistemas agroforestales en los principales indicadores físicos del suelo en el ámbito del caserío de Marona distrito de Luyando, se busca información que nos permita plantear mejores alternativas de solución de los sistemas agroforestales, mejorando la fertilidad del suelo.

Los alcances de los resultados de esta investigación contribuyen con nuevos conocimientos para la comunidad científica, además estos nuevos conocimientos generados son alternativas que pueden ser consideradas para las instituciones que promueven la producción de este cultivo, en el ámbito local y regional. En este contexto, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto que tiene los sistemas agroforestales

y monocultivo de *Theobroma cacao* L. sobre los indicadores físicos del suelo en el caserío Marona, distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Lugar de ejecución

Fue realizado en 4 plantaciones de Cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicados en el caserío de Marona, distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Teniendo las siguientes coordenadas: cacao en monocultivo: 75°55'30.04" longitud oeste y 9°14'59.53" latitud sur, cacao con bolaina: 75°56'25.20" longitud oeste y 9°13'38.35" latitud sur, cacao con capirona: 75°56'26.31" longitud oeste y 9°13'34.89" latitud sur y cacao con pino chuncho: 75°56'43.02" longitud oeste y 9°13'32.64" latitud sur.

El territorio tiene un clima tropical, la temperatura promedio fluctúa alrededor de los 25.54 °C, la cantidad de precipitación es de 3714 mm y la humedad relativa es del 83%. La mayor precipitación se dio en el mes de noviembre, mientras que en julio la precipitación fue de 25,8 mm, la temperatura más alta en octubre fue de 26,15°C, mientras que en enero, febrero, marzo y agosto fueron bajas, las cuales oscilaron en rangos 24,6 °C, 25,25 °C, 25,2 °C y 24,85 °C, en dichos meses respectivamente (SENAMHI, 2018).

#### 2.1.1. Descripción de parcelas en estudio

Se consideró las siguientes parcelas:

- **Sistema Monocultivo cacao:** Sistema en monocultivo de 9 años se encuentra en el fundo Estrella, y lo conforma el cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 a una densidad de 3m x 3m (1111 árboles/ha). El área cuenta con una pendiente de 15%, presentando así un suelo de textura franco.
- Sistema SAF cacao – bolaina: Sistema agroforestal de 7 años ubicado en el fundo Edensito, lo conforma el cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 a una densidad de 3m x 3m (1111 árboles/ha) y bolaina (*Guazuma crinita*) a densidad de 4m lineales al contorno de la parcela (100 árboles/ ha). La zona presenta una pendiente de 19%, presentando así un suelo de textura franco arcilloso.
- Sistema SAF cacao – capirona: Sistema agroforestal de 7 años ubicado en el fundo Rupay, lo conforma el cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 a una densidad de 3m x 3m (1111 árboles/ha) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*) a densidad de 4m lineales al contorno de la parcela (100 árboles/ ha). El área cuenta con una pendiente de 14%, presentando así un suelo de textura franco arcilloso.

- Sistema SAF cacao – pino chuncho: Sistema agroforestal de 10 años ubicado en el fundo Huarac, conformado por cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 a una densidad de 3m x 3m (1111 árboles/ha) y pino chuncho (*Schizolobium amazonicum*) a densidad de 4m lineales al contorno de la parcela (100 árboles/ ha). La zona presenta una pendiente de 19%, presentando así un suelo de textura franco.

## 2.2. Metodología

Este proyecto es una investigación no experimental descriptiva con ajuste al diseño completamente al azar, ya que se evaluó en un ambiente conformado, obteniendo así datos valiosos para futuros proyectos (Cairapoma, 2015).

### 2.2.1. Evaluación de los indicadores físicos del suelo

Para los análisis de suelo, se utilizó las metodologías descritas en el manual de análisis de suelos del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (**Tabla 1**).

**Tabla 1**

*Metodologías para el análisis de los indicadores físicos.*

| Propiedad                     | Metodología   | Descripción   | Fórmula   |
|-------------------------------|---|---|---|
|                               |   | Físicas   |   |
| Textura                       | Método del hidrómetro   | % Arena<br>% Limo<br>% Arcilla  | $x = \frac{c+(t-c)*0.36}{50} * 100$<br>$y = \frac{c1+(t1-c1)*0.36}{50} * 100$ |
| Color                         | Tabla Munsell   | Color de suelo  |   |
| Inestabilidad de agregados    | USDA 2004   | (M <sub>Ag</sub> -M <sub>Ar</sub> )*100<br>(M <sub>T</sub> -M <sub>Ar</sub> ) | USDA % Agr. estables= $\frac{(M_{Ag}-M_{Ar})}{(M_T-M_{Ar})} * 100$            |
| Densidad aparente             | Cilindros muestreadores   | (peso suelo seco / volumen del suelo)   | $D_{ap} = \frac{\text{Peso seco del suelo}}{\text{volumen del cilindro}}$     |
| Porosidad                     | Indirecta   | Espacios vacíos del suelo   | $m = \frac{V_v}{V_t}$   |
| Profundidad efectiva          | Medición de la Profundidad en que se desarrollan las raíces del cultivo | cm o m  |   |
| Resistencia a la penetración  | Penetrómetro  | In situ   |   |
| Conductividad de infiltración | Guelph  | Flujo del agua en el suelo  | $K = \frac{V}{IX\Delta T}$  |
| Químicas                      |   |   |   |
| pH                            | Acidez o alcalinidad  | Peachímetro   |   |
| M.O.                          | Walkey y Black  | %   | $\%M.O. = \frac{(a-bf)0.003*1.724}{p} * 100$                                  |

Nota. Manual de análisis de suelos – Laboratorio de Suelos UNAS

### 2.2.2. Evaluación del rendimiento del cultivo

Se realizó la recolección de datos de rendimiento del cultivo por hectárea, utilizando el cuaderno de registro de cosecha del productor, se tomó el dato de la cosecha de 1 año, de enero a diciembre del presente año.

### 2.2.3. Muestreo de suelos

Para el muestreo de suelos se consideró la metodología del MINAM (2014), para parcelas agrícolas de 1000 m<sup>2</sup> a 5000 m<sup>2</sup>:

- Con una pala recta se extrajo 8 muestras simples de 0,5 kg de muestra cada una, en una profundidad de 0 – 20 cm, para cada indicador.

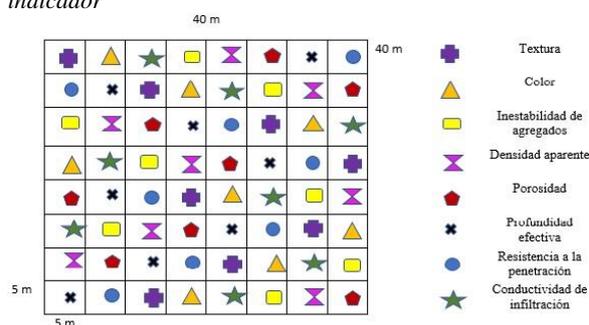
- Se usó bolsas herméticas para guardar las muestras y ser trasladados al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, previamente rotuladas.
- El muestreo de suelos se realizó independientemente para cada tratamiento.

### 2.2.4. Diseño

El presente estudio utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos (1 Ha por tratamiento) y 8 repeticiones por indicador, para lo cual se delimitó una subárea de muestreo de 40 x 40 m, para realizar los muestreos de suelo.

**Figura 1**

*Diseño del experimento por tratamiento y repeticiones por indicador*



La **Figura 1** se muestra el diseño que se utilizó en cada tratamiento, siguiendo la metodología.

### 2.2.5. Análisis de información

La información fue recolectada dentro de 30 días calendarios, luego fueron enviados al laboratorio para su estudio de suelo con una duración de 3 meses.

Una vez obtenidos los datos de campo y análisis de fertilidad de suelos, se organizó y procesó en forma manual y digital, construyéndose cuadros y tablas y gráficos de distribución de datos.

Se compararon las medias de todos los tratamientos con la prueba Tukey para determinar si hay tratamientos diferentes y el indicador físico más relevante, para lo cual se utilizó Excel y minitab. La información fue procesada estadísticamente con el diseño estadístico no experimental descriptiva con ajuste al diseño completamente al azar, y se realizó el ANVA para comparar si hay diferencia significativa entre tratamientos.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Análisis del efecto de sistemas agroforestales y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) En los indicadores físicos del suelo

**Tabla 2**

*Resultado general de indicadores físicos del suelo*

| Tratamiento          | Textura          | Color             | Ea %  | Da<br>g/cm <sup>3</sup> | P %   | P.e.<br>cm | R.p.<br>kg/cm <sup>2</sup> | C.h.<br>m/día |
|----------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------------|-------|------------|----------------------------|---------------|
| Cacao monocultivo    | Franco           | Gris oliva oscuro | 37,94 | 1,44                    | 18,73 | 48,5       | 1,15                       | 0,34          |
| Cacao - bolaina      | Franco arcilloso | Marrón rojizo     | 46,32 | 1,39                    | 31,41 | 70,9       | 0,91                       | 0,36          |
| Cacao - capirona     | Franco arcilloso | Rojo oscuro       | 46,44 | 1,26                    | 23,68 | 76,5       | 0,96                       | 0,63          |
| Cacao - pino chuncho | Franco           | Rojo oscuro       | 50,92 | 1,25                    | 28,44 | 67,1       | 0,70                       | 0,70          |

\*EA (Agregados estables en %), Da (Densidad aparente en g/cm<sup>3</sup>), P (Porosidad en %), P.e. (Profundidad efectiva en cm), R.P. (Resistencia a la penetración) y C.H. (Conductividad Hidráulica)

Según la **Tabla 2**, la textura del suelo tiene un rango de franco a franco arcilloso, las partículas de un suelo, los cuales son rangos adecuados para el desarrollo del cultivo de cacao, según Arvelo et al. (2017) en el cultivo de cacao la clase textural del suelo ideal para su desarrollo va de franco (30 a 40 % de arcilla), franco-arcilloso (50 % arena) y franco-arenoso (10 a 20 % limo); no muy arcilloso ya que el cacao sufre en suelos mal drenados (Spaans, 2020). Además, Barrezueta (2019), en su investigación en suelos de cacaotales variedad CCN-51, halló resultados similares entre suelo franco y franco arcilloso; así mismo, Calle et al. (2021), mencionan en sus resultados la textura franca para la mayoría de sus análisis en suelos con cultivo de cacao.

El color del suelo en esta investigación tiene un rango de gris oliva oscuro – marrón rojizo – rojo oscuro, el cual indica contenido de óxidos de hierro, tal y como menciona Vargas (2009), el color de los suelos están determinados por partículas finas de óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), M.O humificada (oscuro), óxidos de manganeso (negro) y por el material parental; ante esto Loli (2012), menciona que en el cultivo de cacao, los suelos de colores negros, generalmente son mejores, ya que se encuentran menos lixiviados; esto corroboran Arvelo et al. (2017) el cultivo de cacao prefiere suelos con horizonte húmico con color oscuro uniforme; se afirma entonces que estos suelos son poco aptos para el cultivo de cacao, no obstante, Vara (2016) encontró resultados parecidos en suelos con cultivo de cacao que van de colores pardo amarillento, pardo oscuro, pardo y marrón pálido, con buen rendimiento.

Los resultados de inestabilidad de agregados del suelo, indican que el cultivo de cacao en monocultivo tiene un suelo inestable (31,41 %) mientras que los de sistema agroforestal tienen un suelo moderadamente estable (46,32 a 50,92 %), esto se debe a que el sistema cacao monocultivo tiene bajo porcentaje de materia orgánica y los sistemas agroforestales tienen rangos de medio a alto porcentaje; Lince y Castro (2020) indican que la estabilidad del suelo tiene vínculo directo con la materia orgánica del suelo; Corroboran Gran & Michel (2020) la estabilidad de agregados aumenta al incorporar M.O al suelo; evitando la desintegración de

los gránulos del suelo a causa de las precipitaciones (Loli, 2012), mientras que Marín et al. (2020) señalan que la estabilidad del suelo disminuye constantemente en suelos con cultivos por acción de malas prácticas agrícolas como son las quemadas, deforestaciones, suelos sin cobertura, aplicación de pesticidas, etc.; Sullivan (2007) indica que los agregados también se mantienen unidos por raíces de plantas, actividad de lombrices, productos como pegamentos producidos por organismos del suelo. Buenaver & Rodríguez (2016), mencionan en su investigación que los suelos cultivados con cacao resultaron ser medianamente estables frente a otros cultivos, ya que presentan incorporación de materia orgánica al suelo. No obstante, Valenzuela et al. (2015) menciona que un suelo con cultivo es más estable con la presencia de árboles.

La DA del suelo fue mayor en el sistema de cacao con monocultivo (1,44 g/cm<sup>3</sup>), mientras que el suelo del sistema cacao con pino chuncho fue menor (1,25 g/cm<sup>3</sup>), esto se debe al tipo de manejo y uso que le dan al suelo, Agostini et al. (2014) mencionan que según el uso del suelo la densidad aparente varía; UNLP (2019) indica que en suelos con agricultura extensiva la densidad varía entre 1,42 a 1,50 g.cm<sup>-3</sup>, mientras que en suelos poco aprovechados es menor a 1 g. cm<sup>-3</sup>; Cerda (2018), encontró resultados similares en cacao monocultivo 0,9 g.cm<sup>-3</sup> y en cacao con laurel 0,83 g.cm<sup>-3</sup>, Koicheoski (2022) corrobora el resultado, encontrando 1,04 g.cm<sup>-3</sup> en suelos con cultivo de cacao en sistema agroforestal.

El suelo con mayor porosidad lo obtiene el sistema cacao con bolaina y cacao pino chuncho con 31,41 y 28,910 %, pero en la clasificación, todos los tratamientos tienen un nivel alto de porosidad, estos resultados dependen de la estructura, textura, contenido de M.O (Flores & Alcalá, 2010). Ante esto Van (2006), menciona que, en suelos para cultivos, la M.O y la actividad biológica, como parte formadora de agregados, contribuyen a aumentar sensiblemente la porosidad; Hernández (2019), encontró en suelos agrícolas, porosidades de 55 %, así mismo, Valenzuela et al. (2015) encontraron valores de 46 a 47 % de porosidad en suelos con sistema agroforestal árbol – cacao.

La profundidad efectiva de los suelos, afirma que el suelo del sistema cacao con capirona obtuvo la mayor profundidad con 76,5 cm siendo de clasificación moderadamente profundo, y el suelo con menor profundidad efectiva fue el sistema cacao con monocultivo con 48,5 cm siendo de clasificación superficial; se sabe que un suelo agrícola debe tener condiciones favorables para almacenar, recibir y hacer aprovechable el agua para las plantas, y debe ser de una profundidad de por lo menos 1 metro, las plantas resisten mejor la sequía en un suelo profundo, por tener mayor capacidad de retención de humedad y nutrimentos (García, 2017); sin embargo, en el cultivo de cacao las raicillas absorbentes representan el 30 %

de masa radicular, el cual se encuentra entre los 10 a 20 cm superiores del suelo, por lo que las condiciones son más favorables en este horizonte para su crecimiento (Loli, 2012).

En la resistencia a la penetración del suelo, el suelo del sistema cacao con monocultivo tiene una resistencia de 1,15 kg/cm<sup>2</sup> siendo de clasificación suelo suave, y el suelo con menor resistencia corresponde al sistema cacao con pino chuncho con 0,70 kg/cm<sup>2</sup> clasificándose como suelo muy suave, estos resultados indican que el suelo del sistema con cacao monocultivo es más compacto que los suelos de los sistemas agroforestales; la compactación del suelo limita la cantidad de aire y agua que disponen las raíces para el desarrollo de la planta (CIMMYT, 2013); así también, Cerana et al. (2005) mencionan que las capas de suelo son modificadas por el laboreo. Draghi et al. (2005) encontraron valores similares de 1,20 kg/cm<sup>2</sup>, en suelos con cultivos, así mismo, Koicheoski (2022), encontró valores de 1,09 en promedio, en suelos con cacao.

En la conductividad hidráulica del suelo, el suelo del sistema con cacao monocultivo obtuvo el menor resultado con 0,34 m/día, mientras que el suelo del sistema cacao pino chuncho obtuvo el mayor resultado con 0,70 m/día, esta propiedad física de los suelos, describe la capacidad que tiene un suelo para trasportar agua hacia el perfil del suelo (Fertilab, 2021). Los suelos con conductividad hidráulica menor que 2,5 m/día, suelen tener algunos problemas de orden físico (Manzano et al., 2014). FAO (2012) menciona que si un suelo tiene un valor bajo de este parámetro puede ser un indicador de bajo contenido de M.O y un alto contenido de sodio; Castellanos (2000) recomienda incorporar M.O, compost, estiércoles, entre otros productos orgánicos, así también el yeso agrícola para suelo con altos niveles de sodio y mejorar esta condición física. Así mismo, la conductividad hidráulica es influenciada por el tipo de manejo de suelo, concluyendo que un suelo con pradera tiene mayor índice de conductividad hidráulica que un suelo cultivado con labranza convencional y con labranza cero (Fertilab, 2021), al respecto de esto Castro (2016), demostró que en un suelo con sistema de labranza cero tiene mayor índice de conductividad hidráulica que un suelo con labranza convencional.

### 3.2. Análisis del efecto de sistemas agroforestales y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) En los indicadores químicos del suelo

**Tabla 3**

*Resultado general de indicadores químicos del suelo*

| Tratamiento          | Ph   | M.O. (%) |
|----------------------|------|----------|
| Cacao monocultivo    | 5,45 | 0,96     |
| Cacao - bolaina      | 5,80 | 1,77     |
| Cacao - capirona     | 5,98 | 1,97     |
| Cacao - pino chuncho | 6,37 | 2,99     |

La **Tabla 3** muestra el resultado de pH de nuestra investigación, siendo el suelo del sistema cacao con pino chuncho el que mayor pH obtuvo con 6,37 siendo ligeramente ácido, mientras que el suelo con cacao monocultivo obtuvo el menor pH con 5,45 siendo fuertemente ácido, y se debe principalmente por las altas precipitaciones en la zona, como menciona Aguilar (2015) las zonas lluviosas suelen tener suelos ácidos; ante esto, Soriano (2018) indica que en el complejo de cambio de un suelo demasiado ácido, abundan el aluminio y los hidrogeniones, los cuales impiden que otros elementos necesarios tales como magnesio, Ca, K y Na estén presentes en él, ya que son fácilmente eliminados por la precipitación o riego. En el suelo la acidez limita la disponibilidad de nutrientes, su absorción y el rendimiento del cultivo de cacao (Rosas, 2021), Paredes (2003) menciona en su investigación que el cacao se desarrolla muy bien en pH de rango 6,0 a 6,5, como también se adapta a rangos extremos que oscilan entre 4,5 y 8,5 pH; Barrezueta (2019), corrobora esta información encontrando en su investigación valores de 6,46 a 7,72 pH en 30 parcelas con cultivo de cacao con alto rendimiento.

Los resultados de materia orgánica nos datan que el suelo del tratamiento cacao con pino chuncho obtuvo el mayor valor 2,99 % siendo de clasificación media, mientras que el suelo del sistema cacao monocultivo obtuvo el menor valor 0,96 % siendo de clasificación bajo; el cultivo de cacao requiere una apropiada cantidad de M.O que va de rango medio – alto (Loli, 2012). El contenido de M.O en un suelo depende mucho del manejo que se le da al momento de fertilizarlo, productores que usan abonos orgánicos en su paquete de fertilización tienden a tener más altos porcentajes de materia orgánica en sus suelos (Flórez & Gómez, 2019). Ávila et al. (2013) menciona que, en cultivos de cacao asociados con árboles, existe mayor contenido de M.O ya que los árboles aportan gran cantidad de hojas al suelo, como también los árboles de cacao aportan una cierta cantidad de hojarasca, ramas y cáscaras. Sánchez et al. (2005) mencionan que parcelas con cobertura vegetal viva o muerta, favorece sustanciosamente el contenido de M.O en el suelo.

### 3.3. Análisis del efecto de sistemas agroforestales y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) En el rendimiento del cultivo

La **Tabla 4** nos detalla el rendimiento del cultivo de cacao en los cuatro tratamientos, siendo el sistema cacao con pino chuncho, el que mayor influencia tiene sobre el rendimiento con 891 kg/ha, mientras que el sistema cacao con monocultivo obtiene el menor resultado con 513 kg/ha, esto se debe a que el cultivo de cacao requiere suelos aluviales para su desarrollo óptimo, francos, ricos en nutrientes y adecuada profundidad (Arvelo, 2017), la carencia de fertilidad del suelo es una de las causas de bajos rendimientos en el cultivo de cacao (Sánchez et al., 2005), Alvarado & Iturrios (2017) mencionan en su investigación que el

Perú ostenta una de las productividades más altas del mundo, 769 kg/ha, y es por el paquete tecnológico que se viene impartiendo, el cual consta de mantener plantas jóvenes y la injertación de nuevos y mejores clones; Rosas (2021), reconoce al clon CCN – 51 con mayor rendimiento de cosecha incluso en suelos con pH extremadamente ácidos, Quintino et al. (2020) mencionan que el rendimiento corresponde a la habilidad del clon para adecuarse a estados de suelos con extrema acidez y con menor fertilidad natural. Espinoza et al. (2015) indica que el cultivo de cacao es rentable a partir de 770 kg por hectárea.

Entre otros factores que intervienen en el rendimiento del cultivo de cacao, está la temperatura que influye en el progreso, floración y fructificación de la planta de cacao siendo el óptimo de 23 a 32 °C, también las precipitaciones de 1600 a 2500 mm anuales, ya que valores mayores y menores a este rango afectaría el desarrollo de la planta, altitud de hasta 800 msnm, y algunos clones como el vrae-99 aguantan altitudes de 1000 a 1400 msnm (Arvelo, 2017).

**Tabla 4**  
Rendimiento anual del cultivo de cacao en diferentes sistemas agrícolas

| Plantación (Tratamiento) | Rendimiento (kg/ha) |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |        |
|--------------------------|---------------------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|
|                          | Enero               | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Total  |
| Cacao monocultivo        | 9                   | 43      | 58    | 66    | 91   | 105   | 68    | 33     | 13         | 10      | 8         | 9         | 513,00 |
| Cacao - bolaina          | 10                  | 21      | 55    | 75    | 109  | 136   | 130   | 80     | 36         | 30      | 22        | 15        | 719,00 |
| Cacao - capirona         | 15                  | 20      | 39    | 80    | 108  | 122   | 135   | 87     | 36         | 35      | 28        | 18        | 723,00 |
| Cacao - pino chuncho     | 20                  | 41      | 88    | 104   | 115  | 126   | 157   | 125    | 55         | 33      | 15        | 12        | 891,00 |

La **Tabla 4** se muestra un rendimiento del cultivo de cacao de cada tratamiento por mes durante un año, el cual nos indica que los meses de mayor producción son mayo, junio, julio y agosto, teniendo un pico de 157 kg/ha en el mes de julio y descensos de 8 y 9 kg/ha en los meses de enero, noviembre y diciembre.

#### IV. CONCLUSIONES

Los indicadores físicos del suelo evaluados son la textura, estabilidad de agregados, densidad aparente, porosidad, profundidad efectiva, resistencia a la penetración y conductividad hidráulica que nos muestran que en los sistemas agroforestales presentan mejores condiciones que en el monocultivo, así mismo presenta mayor estabilidad de agregados, mayor porosidad que depende de la estructura, textura contenido de MO, que forma parte complementaria de los análisis que se realizó junto con el pH, dándonos mejores respuestas en los sistemas agroforestales, así mismo en los sistemas agroforestales presenta menor resistencia a la penetración para dar mayor facilidad en la absorción de nutrientes dado que el suelo es suave.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. José D. Lévano Crisóstomo por sus sabias contribuciones para este trabajo de investigación, también al Dr. Nelino Florida Rofner,

por sus aportes para la redacción del artículo científico y al Ing. Rubén Antonio Jara Sánchez por apoyarme en la recolección de las muestras para obtener los resultados del presente estudio.

#### VI. REFERENCIAS

- Agostini, M<sup>a</sup>., Monterubbianesi, M., Studdert, G. & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del Suelo*, 32(2), 171-176. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v32n2/v32n2a03.pdf>
- Aguilar, E. (2015). *El pH del suelo: conceptos fundamentales*. West Analítica y Servicios
- Alvarado, J. & Iturrios, J. (2017). *Determinantes de la productividad en pequeños productores de cacao de las regiones de San Martín, Huánuco y Ucayali (SM/H/U): una aproximación exploratoria al modelo tecnológico de productividad en estas regiones*. International Symposium on Cocoa Research.
- Arenas, J. (2020). *Caracterización del sistema agroforestal de cacao en 3 fincas del municipio del Carmen de Chucuri. Barrancabermeja – Colombia* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/39161>
- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T. & Montoya, P. (2017) *Manual técnico del cultivo de cacao, prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Ávila, A., Campos, M., Guharay, F. & Camacho, A. (2013). *Aprendiendo e innovando sobre el manejo de fertilidad de suelos cacaoteros*. Lutheran World Relief [https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/19\\_Guia\\_4\\_Fertilidad\\_d\\_e\\_Suelos.pdf](https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/19_Guia_4_Fertilidad_d_e_Suelos.pdf)
- Baridón, E. (2019). Porosidad y aireación, densidad real y aparente. En *Apunte de Edafología* (pp. 1-9). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/tecnologia-del-concreto/porosidad-y-aireacion-26-3-19/59613372>
- Barrezueta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155-166. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>

- Buenaver, M. & Rodríguez, E. (2016). Determinación de la estabilidad de agregados del suelo en diferentes agroecosistemas del departamento norte de Santander. *Suelos Ecuatoriales*, 46(1-2). 1-2. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7831493>
- Cairapoma, M. (2015). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada e incoherente nomenclatura y clasificación. *Revista electrónica de veterinaria*, 16(1). 1-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63638739004>
- Calle, J., Mendoza, M & Miranda, R. (2021). Aptitud de suelos para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la localidad de Tumupasa, municipio de San Buenaventura – La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(3), 45-58. <https://doi.org/10.53287/burl9765fo12r>
- Castellanos, J.Z. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas* (2ª ed.). Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura.
- Castro, F. (2016). *Conductividad hidráulica del suelo y su relación con la labranza, biofertilización y tipo de cultivo* [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8150>
- Cerana, J., Wilson, M., Pozzolo, O., Battista, J., Rivarola, S. & Díaz, E. (2005). Relaciones matemáticas entre la resistencia mecánica a la penetración y el contenido hídrico en un vertisol. En J. Samper & A. Paz. (Ed.). *VII Jornadas de Investigación en la Zona no saturada del suelo: ZNS'05*. Servicio de Publicacións de la Universidades da Coruña
- Cerda, R. (2018). *Calidad de Suelos en Plantaciones de Cacao (*Theobroma Cacao* L.), Banano (*Musa AAA*) y Plátano (*Musa AAB*) en el Valle de Talamanca, Costa Rica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5551>
- Dirección General de Calidad Ambiental. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Draghi, L., Botta, G., Balbuena, R., Claverie, J. & Rosatto, H. (2005). Diferencias de las condiciones mecánicas de un suelo arcilloso sometido a diferentes sistemas de labranza. Departamento de ingeniería agrícola y forestal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(1), 120-124. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100018>
- Espinoza, J., Uresti, J., Vélez, A., Moctezuma, G., Inurreta, H., & Góngora, S. (2015). Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5), 1051-1063. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/598/471>
- Flores, L. & Alcalá, J. (2010). *Manual de procedimientos analíticos*. Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/lfs/manualLFS.pdf>
- Flórez, L. & Gómez, J. (2019). *Determinación de los niveles de cadmio en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicadas en la vereda La Esmeralda en el municipio de San Vicente de Chururi, Santander* [Tesis de grado, Universidad de Pamplona]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/2111>
- Florida, N., Paredes, M., Paredes, R. M., Navarro, Ll., & Rengifo, A. (2022). An organic management alternative that improves soil quality in cocoa plantations under agroforestry systems. *Scientia Agropecuaria*, 13(4), 335-342. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.030>
- García, L. (2017). *Metodologías de campo para determinar profundidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración de agua, textura y pH en el suelo*. Universidad Nacional Agraria; Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos
- Grand, A. & Michel, V. (2020). *Materia orgánica del suelo*. Best4 Soil. <https://orgprints.org/id/eprint/43417/7/MATERIA%20ORGA%CC%81NICA%20DEL%20SUELO.pdf>
- Hernández, J. (2019). Determinación de propiedades de suelos agrícolas a partir de mediciones eléctricas realizadas en campo y en laboratorio [Tesis de grado, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11627/5080>

- Laboratorio de Análisis Agrícolas. (2021). *La conductividad hidráulica del suelo*. Fertilab. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Conductividad%20hidraulica.pdf>
- León, J. (2022, mayo 22). Producción peruana de cacao 157.859 toneladas en 2021. Agencia Agraria de Noticias. <https://agraria.pe/noticias/produccion-peruana-de-cacao-alcanzo-las-157-859-toneladas-en-28009>
- Koicheoski, R. (2022). *Evaluación de la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, café y purma) ubicados en el caserío los cedros, distrito José Crespo y Castillo* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2371>
- Manzano, J., Rivera, P., Briones, F. y Zamora, C. (2014). Rehabilitación de suelos salinosódicos: estudio de caso en el Distrito de Riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 211-219.
- Marín, P., Sánchez, A., Delgado, M. & Fernández-Delgado, M. (2020). Relación entre la estabilidad estructural con los tipos y usos del suelo en el sureste de España. En M. Romero, F. Belmonte, F. Sarria & F. López. (Eds.). *Avances en estudios sobre desertificación* (705-708). Universidad de Murcia
- Mendieta, M. & Rocha, L. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2443>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). *Boletín Estadístico Mensual El Agro en Cifras 2023*. MIDRAGI. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/4024332-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-2023>
- Lince, L., Castro, A. & Castaño, W. (2020). Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetalera colombiana. *Revista Cenicafé*, 71(2), 73-91. <https://doi.org/10.38141/10778/71206>
- Loli, O. (2012). *Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de cacao*. Oficina Académica de Extensión y Proyección Social de la Universidad Nacional Agraria la Molina. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/010-b-cacao.pdf>
- Paredes, M. (2003). *Manual del cultivo de cacao*. Programa para el Desarrollo de la Amazonía del Ministerio de Agricultura. <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Calle, A. & Velarde, M. (2011). *Sistemas Agroforestales* (1ª ed.). Universidad de Caldas
- Programa de Investigación del Cambio Climático, la Agricultura y la Seguridad Alimentaria del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional. (2013). *Resistencia a la penetración: guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <http://hdl.handle.net/10883/4031>
- Quintino, R.; Guilherme, A.; Ahnert, D.; Escalona-Valdez, R. & Baligar, V. (2020). Interactions between Soil, Leaves and Beans Nutrient Status and Dry Biomass of Beans and Pod Husk of Forastero Cacao: An Exploratory Study. *Communications In Soil Science and Plant Analysis* 51(5):1-15. doi: 10.1080/00103624.2020.1729369
- Rosas, G., Puentes, Y. & Menjivar, J. (2021). Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la amazonia colombiana. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación*, 24(1), 1-10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>
- Sánchez, L., Parra, D., Gamboa, E. & Rincón, J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro*, 17(2), 119-122. [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev17\(2\)/8.%20Rendimiento%20de%20una.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev17(2)/8.%20Rendimiento%20de%20una.pdf)
- Soriano, M. (2018). *pH del suelo*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102382/Soriano%20-%20pHdel%20suelo.pdf>
- Spaans, E. (2020). *Manejo y Salud de suelo de cacao bajo sistemas agroforestales (SAF)*. Comité del Cacao de Centro América y República Dominicana.
- Sullivan, P. (2007). El manejo sostenible de suelos. Servicio Nacional de Información de la Agricultura Sostenible. [https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf\\_000050.pdf](https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf_000050.pdf)
- Van, A. (2006). Agricultura orgánica, el suelo: sus componentes físicos. Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/16254>

- Valenzuela, I., Camarón, R. & Visconti, E. (2015). Efecto del uso y manejo sobre las propiedades físicas de un suelo bajo dos sistemas de cultivo en el distrito de riego del río zulia, norte de Santander. *Suelos Ecuatoriales*, 45(2), 41-47. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6430>
- Vara, J. (2016). *Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la comunidad El Rocano del Cantón Arenillas de la provincia de El Oro* [Tesis de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6934>
- Vargas, R. (Ed.). (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b54d0348-dfce-413c-bd5d-142b3a14a049/content>