

RS_TURNITIN_GUTIERREZ TORRE_CSA_002

by LUCIA VICTORIA GUTIERREZ TORRE

Submission date: 17-Apr-2024 08:55AM (UTC-0500)

Submission ID: 2352722839

File name: TESIS_GUTIERREZ_TORRE,_LUCIA_V._-_SUELOS_2do_filtro_5.pdf (4.58M)

Word count: 13185

Character count: 65440

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto que tiene los sistemas agroforestales y monocultivo de cultivo de T. Cacao sobre los indicadores físicos del suelo. Para lo cual se utilizó la metodología no experimental descriptivo con ajuste al diseño completamente al azar, en el cual se utilizó 4 tratamientos diferentes; y dentro de ellas se consideraron 8 repeticiones por cada indicador, y se usó el ⁵⁰ diseño completamente al azar y prueba de Tukey al 0,05, para medir estadísticamente las medias de los tratamientos. Se encontró que el suelo de la T4 (cacao con pino chuncho) obtuvo los mejores resultados: textura franco con un color rojo oscuro, medianamente estable con 50,92 % de estabilidad, porosidad alta con 28,44 %, moderadamente profundo con una profundidad de 67,13 cm, con resistencia a la penetración de 0,70 kg/cm² (suelo muy suave), conductividad hidráulica moderada de 0,696 m/día, levemente ácido con pH de 6,37, materia orgánica media con 2,99 %, rendimiento de 891 kg/ha, cual está por encima del promedio rentable de este cultivo; a comparación del T1 (cacao en monocultivo) que obtuvo los resultados más desfavorables para calidad del suelo para el cultivo de cacao y con el más bajo rendimiento de todos los sistemas estudiados con 513 kg/ha, el cual está por debajo del promedio rentable del cultivo de cacao. Por lo tanto, se concluye que los sistemas agroforestales tienen efectos positivos sobre los indicadores físicos del suelo en el cultivo de cacao, aumentando así la rentabilidad del cultivo.

Palabras clave: cacao, bolaina, capirona, pino chuncho, indicadores físicos.

ABSTRACT

The objective of the research work was to evaluate the effect that agroforestry and monoculture cultivation systems of T. Cacao have on the physical indicators of the soil. For which the descriptive non-experimental methodology was used with a completely randomized design, in which 4 different treatments were used; and within them, 8 repetitions were considered for each indicator, and the completely randomized design and Tukey's test at 0.05 were used to statistically measure the means of the treatments. It was found that the soil of T4 (cocoa with chuncho pine) obtained the best results: loam texture with a dark red color, moderately stable with 50.92% stability, high porosity with 28.44%, moderately deep with a depth 67.13 cm, with resistance to penetration of 0.70 kg/cm² (very soft soil), moderate hydraulic conductivity of 0.696 m/day, slightly acidic with pH of 6.37, medium organic matter with 2.99% , yield of 891 kg/ha, which is above the profitable average for this crop; compared to T1 (cocoa in monoculture) that obtained the most unfavorable results for soil quality for cocoa cultivation and with the lowest yield of all the systems studied with 513 kg/ha, which is below the profitable average of the cocoa cultivation. Therefore, it is concluded that agroforestry systems have positive effects on the physical indicators of the soil in cocoa cultivation, thus increasing the profitability of the crop.

Keywords: cacao, bolaina, capirona, pino chuncho, physical indicators.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao es uno de los mejores productos de exportación a nivel mundial, como indica 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. Según la Organización Internacional del Cacao (ICCO, 2023), el 75% del cacao que se exporta desde el Perú es fino y aromático, siendo un atributo diferenciador frente al cacao africano o asiático. 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)

Para (Mendieta et al., 2007; Rocha et al., 2007). La sobreexplotación del monocultivo en los suelos para la agricultura en específico el cultivo de cacao, con el uso de 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.

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), 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).

En tal sentido se formula el problema: ¿Cuál es el efecto que tiene los sistemas agroforestales sobre el cultivo de *Theobroma cacao* L., en los indicadores físicos del suelo en el caserío Marona, Distrito de Luyando?

Este estudio muestra las ventajas de los sistemas agroforestales que, si se manejan 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, como; la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA), el Gobierno Regional de Huánuco (GOREHCO) y Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Por lo que, la investigación da como respuesta hipotética “Que los sistemas agroforestales si tienen efectos positivos sobre los indicadores físicos del suelo en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el caserío Marona distrito de Luyando. Los resultados lograron contrastar que la hipótesis, ya que tiene influencia positiva, para ello se desarrolla los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo

1.1.1. Objetivo general

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.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de sistemas agroforestales y monocultivo de *Theobroma cacao* L., en los indicadores físicos del suelo.
- Evaluar el efecto de sistemas agroforestales y monocultivo de *Theobroma cacao* L., en los indicadores de fertilidad del suelo: pH y Materia orgánica, como complemento a los indicadores físicos.
- Determinar el rendimiento del cultivo de *Theobroma cacao* L., en cada sistema.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Barrezueta (2019), en su trabajo de investigación “Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador”, menciona que los suelos de Machala (entisol) tuvieron mejores resultados frente a los otros suelos, siendo los siguientes resultados: pH = 7,72, N = 0,16 %, P = 21,17 mg/kg, K = 1,86 cmol/kg, Ca = 37,73 cmol/kg, Mg = 4,59 cmol/kg, CIC = 43,86 cmol/kg; en cuanto al rendimiento el cacao nacional tuvo mejores resultados en los suelos de Machala con 814,17 kg/ha.

Piña & Márquez (2019), en su tesis “Evaluación integral de sistemas agroforestales con cacao en dos municipios del departamento de Sucre”, cuyo objetivo fue generar indicadores edáficos, dasométricos y económicos de tres arreglos agroforestales con cacao en los municipios de Colosó y San Marcos; en la cual a 1 año de establecidos los SAF, los suelos mejoraron en propiedades físicas y químicas notablemente, teniéndose los siguientes resultados (SAF vs Línea base): resistencia a la penetración 0,55 – 1,19 kg/cm³, densidad aparente 1,43 – 1,34 kg/cm³, humedad 41,83 – 19,37 %, porosidad 43,69 – 48,29 %, estabilidad estructural, 0,93 – 0,78 mm, pH 6,42 – 6,19, C.E. 0,14 – 0,16 ds/m, M.O. 1,46 – 0,73 %, S 7,84 – 3,43 mg/kg, P 3,87 – 3,5 ppm, Ca 19,79 – 15,8 cmol/kg, Mg 13,89 – 14,84 cmol/kg, P 0,25 – 0,28 cmol/kg, Na 0,26 – 0,33 cmol/kg, Fe 49,37 – 34,81.

Arenas (2020), en su investigación “Caracterización del sistema agroforestal de cacao en 3 fincas del Municipio del Carmen de Chucuri”, menciona que los SAF proporciona una diversidad de servicios ambientales. Por ejemplo, mejora de la fertilidad del suelo, restaurar tierras degradadas, limitan que las plagas se desarrollen y evitan la erosión del suelo; este último ya que el sistema incorpora gran cantidad de biomasa (hojas, ramas, frutos) que cubren al suelo minimizando el impacto de la lluvia, mejorando así su estructura y conservando la humedad, minimizando la necesidad de agua en el cultivo. Un suelo bajo un sistema agroforestal de cacao es menos vulnerable.

Hosokay (2012), de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en su tesis “Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge – Tingo María”, el objetivo fue evaluar si los diferentes sistemas de uso de la tierra afectan las características físicoquímicas y biológicas de la calidad del suelo. El sistema con mayor valor de resistencia a la infiltración es el sistema de suelo degradado (4,50 kg/cm²). El valor más desfavorable de la inestabilidad estructural se encuentra en los sistemas de suelos degradados (66,36%). El sistema utilizado

con maíz mostró niveles más altos de P en el suelo con 11,18 ppm. El sistema con mayor contenido orgánico es el utilizado con el cacao (4,38%). La respiración microbiana fue menor en los sistemas de cultivo de coca con 0,045 mg de CO₂/100 g de suelo. El sistema con mayor densidad de organismos fue el del plátano con 2,416 ind/m². La conclusión es que todos los sistemas de uso dañan la calidad del suelo.

Azañero (2016), de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en su tesis “Calidad del suelo en tres sistemas de uso en la localidad de río Espino – Monzón”. Definiéndose que el SAF y el cocal tuvieron una textura franco arcilloso arenoso y el bosque secundario franco arenoso. El sistema que tuvo mayor D.A fue el cocal (1.49 g/cc). El bosque secundario tiene el valor más bajo de resistencia a la infiltración (1.6 kg/cm²). La tasa de penetración alcanzada por SAF es de 33.94 cm/h. En cuanto al pH, el SAF tuvo valor más alto (4.77). Los bosques secundarios tenían niveles más bajos de P disponible (2.89 mg/kg). El MO del cocal es bajo (2.29 %). En cuanto al N fue mayor en el bosque secundario (0.22 %). El SAF tuvo mayor valor de K, Ca y Mg (0.09, 3.76 y 0.45 cmol/kg). El bosque secundario tuvo un valor bajo de la CIC (5.38 cmol/kg). El mayor valor de C.E. lo tuvo el SAF (1.84 dS/m).

2.2. El Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.)

El género *Theobroma* de la familia Sterculiaceae está formado por 22 especies registradas a nivel mundial, 17 de las cuales los más diversos se encuentran en Sudamérica, considerado por lo tanto un centro de diversificación y origen (González, 2007). Sin embargo, se cultiva poco y sólo *Theobroma cacao* L. ha sido ampliamente descrito taxonómicamente (Rondón & Cumana, 2005). La distribución geográfica de esta especie es mayor en Centroamérica. De las 22 especies mencionadas, la más famosa es el *Theobroma cacao* L. por su importancia económica y su uso en la producción de muchos derivados, incluido el chocolate y las industrias cosmética y farmacéutica. (Rodríguez, 2011).

2.2.1. Taxonomía del cacao

El cacao tiene la siguiente taxonomía, descrito por Bustamante y Ramírez (2010):

28	
- Reino	: Plantae
- Subreino	: Tracheobinta
- División	: Magnoliophyta
- Clase	: Magnoliopsida
- Orden	: Malvales

- Familia : Sterculiaceae
- Género : Theobroma
- Especies : Cacao

2.2.2. Descripción botánica del cacao

¹² *Theobroma cacao* es un árbol o arbusto semicaducifolio que alcanza una altura de 20 m y suele cultivarse a una altura de 4 a 8 m. Tallos glabros o joven parcialmente pubescente. La corteza es oscura, de color marrón grisáceo. Las ramas son de color marrón y veloso finamente. Hojas coriáceas o simplemente cartáceas, enteras o ligeramente curvadas irregularmente, estrechamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas. La base de la hoja es redonda o ligeramente en forma de corazón y la punta es larga y afilada. Longitud de la hoja de 14 a 27 mm. Las estipulaciones son lineales y caducas. (Dostert et al., 2011).

2.2.3. Bolaina

⁴ *Guazuma crinita* Mart. o bolaina blanca, es una especie forestal maderable nativa, es heliófita por su buen desarrollo al contacto directo del sol, ⁴ propia de bosques aluviales de la Amazonía baja, principalmente en playas y áreas abandonadas por la agricultura (Guerra et al., 2018), su importancia principalmente radica en su buena adaptación ⁴ a condiciones locales, es de rápido crecimiento con un periodo de cosecha de 7 años, manejo de rebrotes hasta en 3 oportunidades, su madera de color blanco le permite tener una buena aceptación en el mercado, así mismo carece ³⁶ de nudos por lo que tiene mayor área comercial (Ushiñahua, 2016), esta especie se distribuye en la Amazonía peruana en los departamentos de ⁴ Huánuco, Loreto, Amazonas, Madre de Dios, San Martín, Pasco y Ucayali (Flores, 2007). La bolaina blanca se desarrolla en una altitud de 0 a 1000 msnm, así mismo su crecimiento y desarrollo depende de la calidad del suelo, los cuales tienen que ser fértiles de tipo franco, con buen drenaje, con pH de 5.56 a 7.73 (Ushiñahua, 2016).

2.2.4. Capirona

Calycophyllum spruceanum Benth o también comúnmente llamada capirona, originaria de los bosques tropicales de América del Sur, principalmente en la Amazonía, en Perú se encuentra en bosques primarios y secundarios, principalmente en terrenos inundables, se desarrolla por debajo de los 1200 msnm y se lo encuentra en los departamentos de Huánuco, Loreto, Ucayali (Ushiñahua, 2016). Es una especie heliófita, presenta fuste recto, cilíndrico color verde botella brillante y textura suave, puede llegar a medir hasta 30 metros de altura y su tiempo de cosecha es de 8 a 10 años, ⁴ su madera es de densidad media y su color es

marrón cremoso (Cuellar & Reyes, 2016). En los últimos años ha presentado una demanda creciente en el mercado internacional de la madera, principalmente para pisos, su producción ha sido insuficiente para cubrir la necesidad de la industria por lo que se requiere elevar su producción (Ushiñahua, 2016).

2.2.5. Pino chuncho

³⁷ *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (pino chuncho), es una especie maderable muy abundante en la Amazonía peruana, es una especie con tendencia heliófita de rápido crecimiento, cuya madera tiene un gran potencial en la industria de carpintería, muebles, cajonería, entre otros, se desarrolla por debajo de los 1200 msnm, se adapta muy bien a todo tipo de suelos, más aún si son bien drenados (Flores, 2019). Su madera tiene densidad baja, es muy flexible de baja durabilidad natural por ser susceptible al ataque de hongos e insectos (Ramos et al., 2016).

2.3. Cultivo de cacao en América

En América, el cacao se cultiva desde México hasta Brasil, siendo este último el que tiene mayor extensión (40 %), seguido de Ecuador (24 %), Colombia (9 %), República Dominicana (9 %), Perú (6 %) y Venezuela (4 %) (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO, 2018).

La figura 1 nos detalla el incremento de la superficie del cultivo en 5 países desde el 2006 hasta el 2016, siendo Colombia y Perú los que incrementaron más del 100 % de superficie de cultivo comparado con el 2006. En la figura 2, se observa el aumento en más de 377 mil hectáreas de cacao desde el año 2006 hasta el 2016 (FAO, 2018).

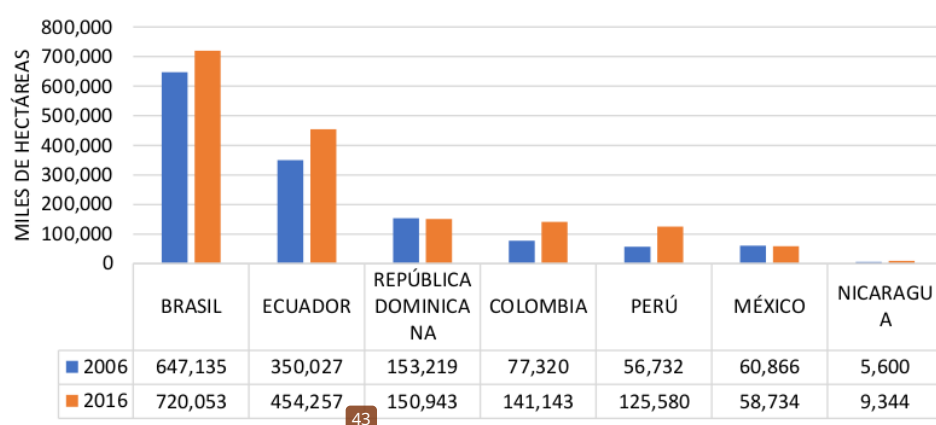


Figura 1. Incremento superficial cultivada de cacao en los principales países de América (FAO,2018)

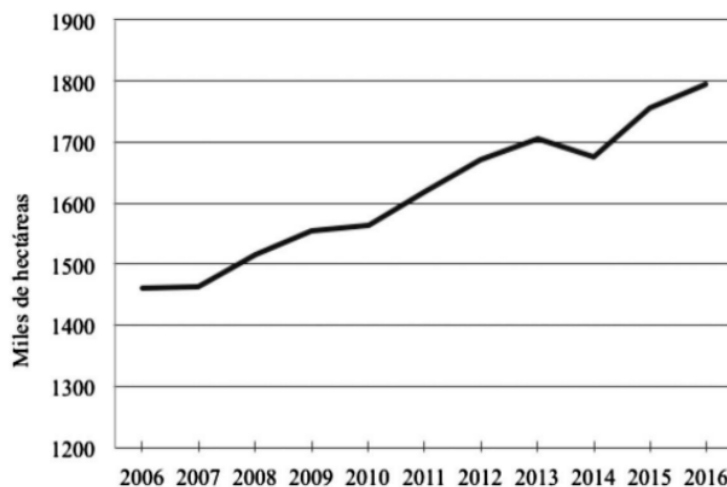


Figura 2. Superficie cosechada de cacao en América desde el 2006 hasta 2016 (FAO.2018)

2.4. Problemática del cacao

Se sabe que la producción de cacao ha aumentado a través los últimos años, debido al aumento de áreas de cultivo, sin embargo, el rendimiento por hectárea no ha incrementado y se ha mantenido bajo (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias- INIAP, 2018). Esto fue debido al incremento de plagas y enfermedades, malas prácticas agrícolas, poco aprovechamiento de clones productivos y resistentes, plantaciones viejas y principalmente estrés abiótico (déficit hídrico por cambio climático) (Ruiz et al., 2016).

Otro desafío para el cultivo de cacao es la presencia de Cadmio (Cd) en las almendras, la cual, si sobrepasa los niveles permisibles propuestos por la Unión Europea, estaría siendo descalificado para la venta (Organización Mundial de Comercio-OMC, 2022). Estudios recientes, indican que los suelos de áreas de cultivo de cacao, presentan altos niveles de metales pesados, lo que ocasionaría problemas de consumo y exportación de este producto por la absorción de estos metales en la planta de cacao, la cual lo distribuye en sus tejidos y almendras (Lubke, 2019).

Estos problemas ³ de metales pesados en los suelos de áreas con cultivo de cacao, se debe al material parental, pero en su mayoría, tienen su inicio en las malas prácticas agrícolas (aplicación de pesticidas y abonos sintéticos (Izquierdo, 2017). Sin embargo, investigaciones demuestran que el manejo orgánico de cacao, mejora y baja ³⁵ los niveles de metales pesados en los suelos, esto conlleva a aplicar abonos orgánicos e incluir un sistema agroforestal en las

parcelas para mejorar el tema de materia orgánica, así mejorar la microfauna del suelo (Huauya & Huamaní, 2014).

Además, los estudios muestran que el monocultivo acelera la degradación de la fertilidad del suelo, ya que promueve procesos de lixiviación y erosión al cultivarse sin ningún tipo de cobertura, este daño es irreversible y tiene consecuencias negativas para la economía y los ecosistemas. (Red de Acción en Agricultura Alternativa-RAAA, 2012).

2.5. Sistemas agroforestales en cacao

La agroforestería se refiere a ²⁰ la producción de cultivos anuales o perennes en combinación con especies forestales que reactivan las funciones principales del bosque; estos, a su vez, constituyen una forma de producción que no consume recursos (tierra, agua y bosque) porque la mayor parte de las tierras selváticas tienen beneficios forestales y de conservación. (Oficina Nacional Forestal-ONF, 2013).

En este contexto, la agricultura tradicional no es posible en el largo plazo (Mata et al., 2018). La sostenibilidad sólo puede lograrse en sistemas forestales bien gestionados, porque son capaces de examinar los factores de riesgo alimentario, por la diversidad de productos permanentes y orgánicos, y porque no hay necesidad de utilizar pesticidas para asegurar el equilibrio a largo plazo del ecosistema; también requiere poca mano de obra para operar el sistema establecido; la migración agrícola es baja porque los hogares pueden satisfacer sus necesidades en un espacio más pequeño.

En su estado natural, el árbol del cacao está biológicamente relacionado con otras especies que crecen y producen mazorcas bajo la cobertura del bosque tropical. (Paredes, 2003). Se ha caracterizado la planta de cacao como umbrófila, lo que señala que se desarrolla ³² donde su follaje no está expuesto a la luz solar directa (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA, 2017). La sombra al inicio de la siembra no sólo reduce la luz; las sombras de los árboles protegen las plantaciones de cacao del sol, el viento y las fuertes lluvias. (Arenas, 2020).

También estabiliza la temperatura y la humedad en las plantaciones de cacao (IICA, 2017). Cuando el desarrollo de la planta permita el “autosombra”, se debe comenzar a retirar la sombra paulatinamente hasta alcanzar un punto de equilibrio, o mejor dicho, podar el árbol de sombra una o dos veces al año. Su implantación en el sistema técnico de mejoramiento es fundamental. (Paredes, 2003).

2.5.1. Rendimiento del cultivo de cacao

El cultivo de cacao requiere para su desarrollo óptimo suelos aluviales, 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 producciones 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 al 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).

2.6. Calidad del suelo

El término calidad del suelo se limitó al reconocimiento de funciones del suelo: (1) aumentar la producción del sistema sin perder sus características fisicoquímicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) mitigar los contaminantes y patógenos ambientales (calidad ambiental); (3) Promover la salud vegetal, animal y humana; al proponer este concepto se tiene en cuenta también que el suelo es el sustrato básico de las plantas; captura, conserva y elimina agua; es un filtro ambiental eficaz; este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro del contexto del ecosistema del que forma parte y con el que interactúa. (Bautista et al., 2004).

Estudios realizados por Soto (2016), describen que el cultivo de cacao en sistema agroforestal con laurel, mantiene niveles de medio a alto en características fisicoquímicas siendo un suelo de calidad a comparación del cacao en monocultivo. Estudios similares, menciona, que la calidad del suelo viene siendo afectada por el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos (Hermes 2008).

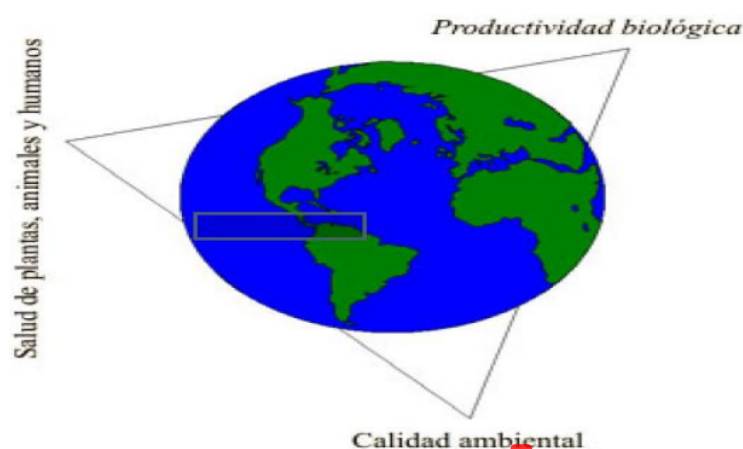


Figura 3. Principales componentes de la calidad de suelo (Bautista et al. 2004)

2.7. Indicadores de calidad del suelo

El suelo es un recurso vital importante que sustenta el desarrollo de plantas, animales y humanos (García et al. 2012). Los indicadores de calidad del suelo son herramientas que brindan información sobre los efectos de los cambios de uso de la tierra y los efectos de las prácticas agrícolas sobre la degradación o su función. (Estrada et al., 2017).

Los indicadores de calidad del suelo pueden ser características fisicoquímicas y biológicas, o las fases que suceden dentro de ellas; para que las características fisicoquímicas y biológicas del suelo se consideren indicadores de calidad, tiene que cubrir las siguientes condiciones: a) describir los procesos ecosistémicos; b) Integrar las características fisicoquímicas y biológicas del suelo; c) Reflejar los atributos de sostenibilidad que se desea medir; d) Sensible a los cambios en el clima y la gestión; e) Disponible para muchos usuarios y aplicable a las condiciones del sitio; f) Reproducible; g) ser fácilmente comprensible; h) ser sensible a las variaciones en los suelos debido a la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser parte integral de las bases de datos de suelos existentes (Bautista et al. 2004).

2.7.1. Indicadores físicos

Las características físicas son usadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que plasman la forma en que los recursos reciben, acumula y entrega agua a las plantas, así como las restricciones en el progreso de las raíces y la emergencia de las plántulas, la penetración o movimiento del agua en el perfil también está relacionado con la disposición de las partículas y los poros. La textura, color, tamaño de agregados, estabilidad de agregados, D.A, porosidad, profundidad del suelo superficial, resistencia a la infiltración y conductividad hidráulica saturada, son las propiedades físicas del suelo que se consideró como indicadores de su calidad (Bautista et al., 2004).

2.7.1.1. Textura

Las partículas de un suelo, en ciencias edafológicas, están clasificadas en elementos muy finos (tamaño inferior a 2 mm) estos los definen la textura del suelo (Gisbert et al., 2010). Los suelos en general están compuestos por fracciones y partículas minerales de tamaños diferentes, las más pequeñas son las arcillas, las medianas son los limos y las más gruesas se denominan arenas (Clancaglini, 2013), la combinación de estos 3 definen la clase textural del suelo (Pellegrini, 2019); se clasifica el tamaño de partículas, de acuerdo a la siguiente escala: Arcilla < 0.002 mm, limo 0.05 – 0.002 mm, arena muy fina 0.10 – 0.05 mm, arena fina 0.25 – 0.10 mm, arena media 0.05 – 0.25 mm, arena gruesa 1 – 0.5 mm, arena muy gruesa 2 – 1 mm, gravillas y gravas > 2 mm (Clancaglini, 2013).

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). 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 franco para la mayoría de sus análisis en suelos con cultivo de cacao.

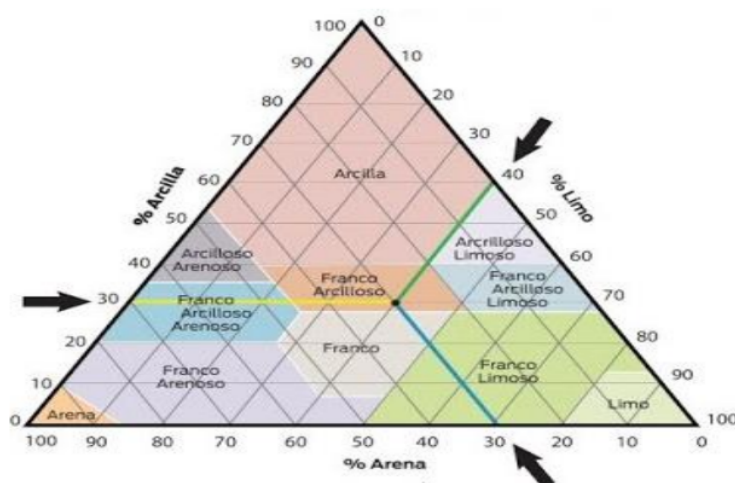


Figura 4. Triángulo textural (Gisbert et al., 2010)

2.7.1.2. Color

Es una de las primeras características de diferenciación de los horizontes del suelo (Moreno et al., 2010), tiene un efecto sobre la energía radiante, mientras mayor sea la cantidad de energía calorífica en la tierra, mayor será la evaporación, en el caso de un suelo oscuro, con alta energía radiante, su secado mucho más rápido que uno de color

más claro (Vargas et al., 2020), es determinado directamente por el revestimiento de partículas muy finas de óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), M.O humificada (oscuro), óxidos de manganeso (negro) y otros; también se debe al color de la roca madre (FAO, 2009).

En el cultivo de cacao, los suelos de colores negros, generalmente son mejores, ya que se encuentran menos lixiviados (Loli, 2012), corrobora Arvelo et al. (2017) el cultivo de cacao prefiere suelos con horizonte húmico con color oscuro uniforme. Varas (2016) encontró resultados parecidos en suelos con cultivo de cacao, dichos suelos van de colores pardo amarillento, pardo oscuro, pardo y marrón pálido, con buen rendimiento.

2.7.1.3. Inestabilidad de agregados

Es la capacidad del suelo para mantener la estabilidad de su espacio sólido y poroso al exponerse a un proceso de deterioro y tiene relación directa con la M.O del suelo (Lince & Castro, 2020), la estabilidad de agregados aumenta con la incorporación de M.O al suelo (Gran & Michel, 2020), evitando la desintegración de los gránulos de la tierra a causa de las precipitaciones (Loli, 2012), y disminuye constantemente en suelos con cultivos por acción de malas prácticas agrícolas, como son las quemadas, deforestaciones, suelos sin cobertura, aplicación de pesticidas, etc. (Marín et al., 2020); los agregados también se mantienen unidos por raíces de plantas, actividad de lombrices, productos como pegamentos que producen los organismos de la tierra Servicio Nacional de Información de la Agricultura Sostenible (ATTRA, 2007), 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. Corroborando esta información, Valenzuela et al. (2015) encontraron que un suelo con cultivo es más estable con la presencia de árboles.

Tabla 1. Rangos de estabilidad estructural del suelo

Estabilidad estructural	
80 - 100 %	Muy estable
60 - 80 %	Estable
40 - 60 %	Medianamente estable
20 - 40 %	Inestable
0 - 20 %	Muy inestable

Fuente: USDA (2004)

2.7.1.4. Densidad aparente

La D.A de un suelo, es el vínculo entre la masa del suelo seco y el volumen total del mismo (UNLP, 2019), es importante ya que con ella se determina la porosidad del suelo (Ingaramo et al., 2007), es importante también para definir la calidad del suelo, y según el uso del suelo esta varía (Agostini et al., 2014), en suelos con agricultura

extensiva va de 1,42 a 1,50 g.cm⁻³, mientras que en suelos poco aprovechados es menor a 1 g.cm⁻³ Universidad Nacional de la Plata (UNLP, 2019). Cerda (2018), encontró resultados similares en cacao monocultivo 0,9 g.cm⁻³ y en cacao con laurel 0,83 g.cm⁻³, Koicheoski (2022) corrobora el resultado, encontrando 1,04 g.cm⁻³ en suelos con cultivo de cacao.

2.7.1.5. Porosidad

La porosidad del suelo tiene gran importancia agrícola y sus propiedades necesitan de la estructura, textura, M.O contenida, tipo e intensidad de cultivos, labranza entre otras características del suelo y su manejo (Flores & Alcalá, 2010), representa también el movimiento de agua y la capacidad de almacenamiento en el suelo o en la relación agua – suelo -planta (UNLP, 2019), 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 %, Valenzuela et al. (2015) corroboran esta información, encontrando valores de 46 a 47 % de porosidad en suelos con sistema agroforestal árbol – cacao.

Tabla 2. Rangos de porosidad del suelo

Clasificación de la porosidad	
Muy bajo	< 2
Bajo	2 - 5
Media	5 - 15
Alta	15 - 40
Muy Alta	> 40

Fuente: FAO (2009)

2.7.1.6. Profundidad efectiva

Un suelo agrícola debe contar estados recomendables 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 nutrientes (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).

Tabla 3. Rangos de la profundidad efectiva del suelo (García, 2004)

Profundidad del suelo (cm)	
Muy profundo	> de 150
Profundo	15 - 100
Moderadamente profundo	100 - 50
Superficial	50 - 25
Moderadamente superficial	< de 25

Fuente: García (2017)

2.7.1.7. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración indica el nivel de compactación que se encuentra un suelo; la compactación del suelo restringe la cantidad de aire y agua que disponen las raíces para el desarrollo de la planta (CIMMYT, 2013); es utilizada para identificar y caracterizar las capas de suelo modificadas por el laboreo (Cerana et al., 2005), Draghi et al. (2005) encontraron valores de 1,20 kg/cm², en suelos con cultivos, así mismo, Koicheoski (2022), encontró valores de 1,09 en promedio, en suelos con cacao.

Tabla 4. Niveles de resistencia a la penetración del suelo

Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Nivel de resistencia
< 1	Suelos muy suaves
1 - 2	Suelos suaves
2 - 3	Suelos duros
3 - 4	Suelos muy duros
> 4	Suelos extremadamente duros

Fuente: Instituto de Cultivos Tropicales (2004)

2.7.1.8. Conductividad de hidráulica

Esta propiedad física de los suelos, describe la capacidad que tiene un suelo para transportar agua hacia el perfil del suelo (Fertilab, 2021). Y proporciona información valiosa de un suelo, 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 Na (FAO, 2012). Los suelos con conductividad hidráulica menor que 2.5 m/día, suelen tener algunos problemas de orden físico (Manzano et al., 2014), se puede mejorar esta condición física, incorporando materia orgánica, compost, estiércoles, entre otros productos orgánicos, así también el yeso agrícola para suelo con altos niveles de sodio (Castellanos, 2000), 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.

Tabla 5. Rangos de conductividad hidráulica

Conductividad hidráulica m/día	
Muy lenta	< 0.03
Lenta	0.03 - 0.12
Moderadamente lenta	0.12 - 0.5
Moderada	0.5 - 1.5
Moderadamente rápida	1.5 - 3.00
Rápida	3.00 - 4.50
Muy rápida	> 4.50

Fuente: manual de laboratorio Universidad Nacional Agraria de la Selva

2.7.2. Indicadores químicos

Hace referencia a indicadores químicos, a situaciones que dañan el vínculo de suelo planta, la capacidad amortiguadora del suelo, pH, materia orgánica, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas microorganismos (Bautista et al., 2004).

2.7.2.1. pH del suelo

Su importancia radica en su influencia sobre el desarrollo de los microorganismos y absorción de nutrientes (Osorio, 2012). Las zonas lluviosas suelen tener suelos ácidos (Aguilar, 2015), 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 (Soriano, 2018). 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 a 8,5 pH, Barrezueta (2019), encontró valores de 6,46 a 7,72 pH en 30 parcelas con cultivo de cacao con alto rendimiento.

Tabla 6. Rangos de pH en el suelo

pH	Clasificación
< 4.5	Extremadamente ácido
4.6 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido
6.1 - 6.5	Levemente ácido
6.6 - 6.9	Muy levemente ácido
7	Neutro
7.1 - 7.3	Muy levemente alcalino
7.4 - 7.8	Levemente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino
> 9.0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Cremona & Enriquez (2020)

2.7.2.2. Materia orgánica

La materia orgánica cumple un papel fundamental en las funciones de un suelo (Grand & Michel, 2020), como el secuestro y regulación de carbono, la purificación y regulación del agua, producción primaria, la biodiversidad, el ciclo de nutrientes y absorción de metales pesados como el cadmio (Schulte et al., 2014). El cultivo de cacao requiere una adecuada 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 y Gómez, 2019). Ávila et al. (2013) menciona que, en cultivos de cacao asociados con árboles, existe mayor contenido de materia orgánica ya que los árboles aportan gran cantidad de hojas al suelo, así 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.

Tabla 7. Rangos de la materia orgánica del suelo

Parámetro	Unidad de Medida	Bajo	Medio	Alto
M.O.	%	< 2	2 - 4	> 4

Fuente: Loli (2012)

3.1. 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.

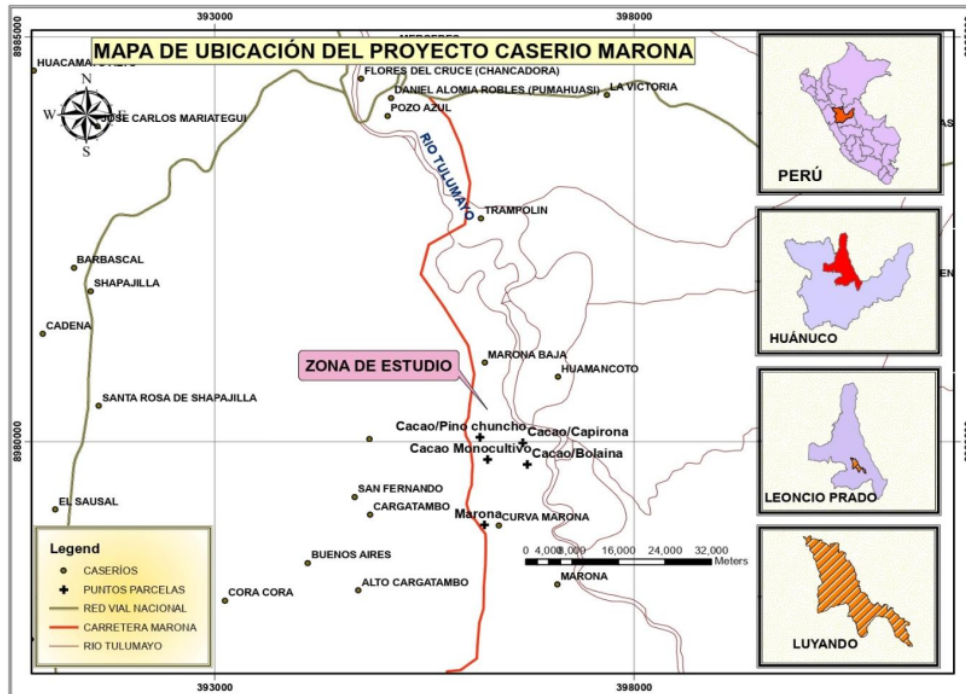


Figura 5. Mapa de ubicación del proyecto de tesis

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%, los datos corresponden al año 2017. En cuanto a las precipitaciones, la mayor precipitación del mes se alcanzó en noviembre, mientras que en julio la precipitación fue de sólo 25,8 mm, la temperatura más alta en octubre fue de 26,15°C, mientras que en enero, febrero, marzo y agosto fueron Bajas promedio de temperatura con valores, 24,6 °C, 25,25 °C, 25,2 °C y 24,85 °C respectivamente, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2018).

3.1.1. Descripción de parcelas en estudio

Las parcelas consideradas en el estudio son 4 (Tabla 4), los cuales son 1 en sistema monocultivo, 1 en sistema agroforestal (SAF) cacao – bolaina, 1 en sistema agroforestal (SAF) cacao – capirona y 1 en sistema agroforestal (SAF) cacao – pino chuncho. Se consideró 1 Ha por tratamiento. Se delimitó una parcela dentro de tratamiento de 40 x 40 m,

y se subdividió en 64 subparcelas de 25 m² cada una, se evaluaron los indicadores in situ y en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

Tabla 8. Descripción de parcelas en estudio

Parcelas (Tratamientos)	Sistema
T1	Monocultivo (cacao sólo)
T2	SAF (cacao – bolaina)
T3	SAF (cacao – capirona)
T4	SAF (cacao – pino chuncho)

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%. Suelo caracterizado por tener un color marrón claro con partes anaranjadas y amarillas.

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%. Suelos caracterizados por tener color rojo claro a rojo pardo oscuro.

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%. Suelos caracterizados por tener color marrón claro a marrón oscuro.

Sistema SAF cacao sólo – 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%. Los suelos se caracterizan por tener color rojo claro a rojo pardo oscuro.

54

3.2. Materiales, equipos y herramientas

3.2.1. Material biológico

Sistemas de plantación de Cacao (*Theobroma cacao* L.), monocultivo y sistema agroforestal.

3.3. Materiales de campo

Se utilizó los siguientes materiales:

- Flexómetro (50 m)
- Machete
- Paquete de bolsas plásticas (10x20)
- Balde de 20 litros
- Plumón indeleble
- Pala recta
- Martillo
- Cilindro muestreador
- Tabla munsell

3.3.1. Materiales de laboratorio

Se utilizó los siguientes materiales:

- Probeta de 1000 cm³.
- Vaso de precipitados
- Pipetas
- Molino amolador de suelo
- Tamices de 0.25, y 2 mm
- Peachímetro

1

3.3.2. Equipos de campo

Se utilizó los siguientes equipos:

- GPS garmin
- Cámara digital
- Penetrómetro
- Infiltrómetro doble anillo

1

3.3.3. Equipos de laboratorio

Se utilizó los siguientes equipos:

- Hidrómetro
- Balanza digital de precisión
- Estufa

- Laptop

3.4. Metodología

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

Así mismo, se utilizó las siguientes metodologías para hallar los resultados de los análisis de suelo:

Tabla 9. Metodologías para el análisis de suelo

Propiedad	Metodología	Descripción
Físicas		
Textura	Método del hidrómetro	% Arena, % Limo, % Arcilla
Color	Tabla Munsell	Color de suelo
Inestabilidad de agregados	USDA 2004	(MAg – MAr)*100/(MT – MAr)
Densidad aparente	Cilindros muestreadores	(peso suelo seco) /volumen del suelo
Porosidad	Indirecta	Espacios vacíos del suelo
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
Químicas		
pH	Acidez o alcalinidad	Peachímetro
M.O.	Walkey y Black	%

Fuente: Manual de análisis de suelos – laboratorio de suelos UNAS

3.4.1. 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.

3.4.1.1. Textura

Para hallar la textura se utilizó el método del Hidrómetro de Bouyoucos, calculada por las siguientes fórmulas:

$$x = \frac{c + (t - c) \times 0.36}{50} \times 100 \quad (1)$$

$$y = \frac{c1 + (t1 - c1) \times 0.36}{50} \times 100$$

Donde:

x = Porcentaje limo más arcilla

y = Porcentaje de arcilla

$x - y$ = Porcentaje de limo

$100 - x$ = Porcentaje de arena

c = Medida del hidrómetro en la primera lectura

3.4.1.2. Color

Para la lectura del color del suelo se utilizó la tabla Munsell.

3.4.1.3. Inestabilidad de agregados

Para medir la inestabilidad de agregados del suelo, se usó la metodología USDA (2004), para lo cual obedeció a la siguiente fórmula:

$$USDA \% Agr. estables = \frac{(MAg - MAr)}{(MT - MAr)} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

MAg = Masa de agregados retenidos en el tamiz de 0,5 mm

MAr = Masa de arena retenida en el tamiz de 0,5 mm

MT = Masa total de agregados entre 2 y 1 mm

3.4.1.4. Densidad aparente

Para hallar la D.A. del suelo se utilizó cilindros muestreadores de volumen conocido, colocados a una profundidad de 10 cm de la superficie del suelo, y se calculó con la siguiente fórmula:

$$Dap = \frac{\text{Peso seco del suelo}}{\text{volumen del cilindro}} \quad (3)$$

3.4.1.5. Porosidad

El porcentaje de porosidad obedeció a la siguiente fórmula:

$$m = \frac{Vv}{Vt} \quad (4)$$

Donde:

Vv = Volumen de vacíos

Vt = Volumen total (Volumen de vacíos + Volumen del suelo)

3.4.1.6. Profundidad efectiva

La profundidad efectiva del suelo, fue hallada mediante la apertura de una calicata hasta la profundidad en donde se encontraron la mayoría de raíces funcionales de la planta de *Theobroma cacao* L.

¹ 3.4.1.7. Resistencia a la penetración

La compactación ¹ del suelo fue hallada mediante el método del penetrómetro de bolsillo marca Humboldt.

3.4.1.8. Conductividad de infiltración

La conductividad de infiltración se halló con el método del permeámetro de Guelph el cual obedece a la siguiente fórmula:

$$K = \frac{V}{ixAxt} \quad (5)$$

Donde:

K = Conductividad hidráulica (m/d)

V = Volumen

i = Gradiente de carga (h/L)

¹¹ h = Diferencia de nivel de agua dentro y fuera del porta-anillos (cm)

L = Longitud de la muestra (cm)

A = Sección de la muestra (cm²) = πr^2

t = Tiempo

Luego de aplicar la fórmula anterior se procede a corregir la temperatura, en el cual la temperatura del agua en el laboratorio es de 18 a 22 °C, mientras que en el suelo es de 5 a 10 °C, entonces obedece a la siguiente fórmula de corrección:

$$K_{10} = \frac{NT}{N_{10}} K_T \quad (6)$$

¹¹ Donde:

K₁₀ = Conductividad hidráulica corregida a 10 °C (m/d)

K_T = Conductividad hidráulica medida a la temperatura T del laboratorio (m/d)

N₁₀ = Viscosidad dinámica del agua a 10 °C

N_T = Viscosidad dinámica a la temperatura del laboratorio T °C

¹ 3.4.2. Evaluación de los indicadores de fertilidad del suelo

3.4.2.1. pH

Para hallar la medida de acidez o alcalinidad ¹ de la muestra de suelo, se utilizó el método del potenciómetro, en el cual se pesa 10 gramos de suelo y se agrega en un vaso de precipitación se aplica 25 ml de agua destilada y se agita por 15 minutos, después de 30 minutos se realizó la lectura en el potenciómetro previamente calibrado.

3.4.2.2. Materia orgánica

Para encontrar el porcentaje de M.O del suelo fue utilizado el método de Walkley y Black, para lo cual se utiliza 1 gramo de suelo, se lo coloca en un Erlenmeyer de 250 ml, luego se agrega 10 ml de dicromato de potasio 1N, luego se añade 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, dejamos en reposo 30 minutos y se enraza con 100 ml de agua destilada; de esta solución se toma una alícuota de 20 ml, se adiciona 3 gotas de indicador difenil-amina, finalmente se titula con sal ferrosa. Este procedimiento obedece a la siguiente fórmula:

$$\%M.O. = \frac{(a - bf)0.003 \times 1.724}{p} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

a = ml de dicromato de potasio utilizado

b = ml de sal ferrosa o sal de Mohr gastado (gasto de titulación)

f = Factor de corrección

0,003 = Factor del carbón

1,724 = Factor de Van Vammelen (58 % de M.O. es carbón)

p = Peso de la muestra de suelo

3.4.3. 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 tomará el dato de la cosecha de 1 año, de enero a diciembre del presente año.

3.4.4. Fase de campo

3.4.4.1. Ubicación de las parcelas

Para la investigación se realizó el reconocimiento de las parcelas en el lugar de intervención, ubicando espacialmente las plantaciones, tanto para monocultivo y sistema agroforestal, teniendo las siguientes ubicaciones:

- Cacao en monocultivo: 398395 E – 8977391 N
- Cacao con bolaina: 396705 E – 8979880 N
- Cacao con capirona: 396671 E – 8979986 N
- Cacao con pino chuncho: 396161 E – 8980054 N

3.4.4.2. Muestreo de suelos

Para el muestreo de suelos se consideró la metodología del Ministerio del Ambiente (MINAM,2014), para parcelas agrícolas de 1000 m² a 5000 m²:

- 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.

3.4.5. Población y muestra

La población estuvo formada por 4 hectáreas de plantaciones de *T. cacao* del fundo Estrella con 1 hectáreas de *Theobroma Cacao*. L, el fundo Edensito con 1 hectárea de bolaina con cacao, fundo Rupay con 1 hectárea conformada por *Thebroma cacao* L. con capirona y el fundo Huarac conformado por *Theobroma Cacao* con pino chuncho.

3.4.6. Fase de gabinete

En esta fase se recolectó toda la información obtenida en el laboratorio y en campo, para su tabulación en tablas y gráficos de barras, para lo cual se seguirá los siguientes pasos:

3.4.6.1. 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 sub área de muestreo de 40 x 40 m, para realizar los muestreos de suelo. La figura 6 se muestra el diseño que se utilizó en cada tratamiento, siguiendo la metodología.

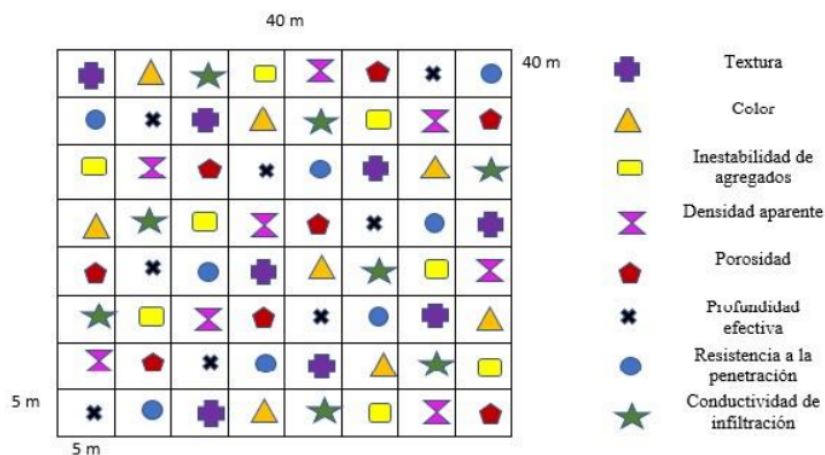


Figura 6. Diseño del experimento por tratamiento y repeticiones por indicador

3.4.6.2. Modelo aditivo lineal

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos. Por lo tanto, por diseño, este estudio adopta un modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad (8)$$

Donde:

Y_{ij} : Es la respuesta obtenida de los tratamientos.

μ : Efecto común a todas las observaciones.

T_i : Efecto del i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} : $N(\mu, \sigma^2)$ y de forma independiente.

3.4.6.3. Análisis de varianza

El ANVA se realizó con las pruebas estadísticas de Fisher y se comparó las medias con el Test pos-hot de DUNCAN, ambos con nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de varianza (ANVA) de la investigación.

FV	GL	SC	CM	Fc
Bloques	r-1	SC B	SC B / r-1	CMB/CME
Tratamientos	t-1	SC T	SC T / t-1	CMT/CME
Error	(t-1)(r-1)	SC E	SC E / GLE	
Total	rt - 1	SC Total		

t= tratamiento; r=repeticón; GL =grados de libertad; Sc = Suma de cuadrados Sc = Suma de cuadrados; Fc = F calculado

3.4.6.4. Prueba Tukey

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.

3.4.6.5. Técnicas para procesamiento y 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. La información fue procesada estadísticamente con el diseño estadístico no experimental descriptiva con ajuste al diseño completamente al azar, y se realizará el ANVA para comparar si hay diferencia significativa entre tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Indicadores físicos del suelo, en sistema agroforestal y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)

4.1.1. Textura

En la **Tabla 11** nos muestra la clase textural del suelo en cada tratamiento, los cuales varían de textura franco a franco arcilloso,

Tabla 11. Textura del suelo en los sistemas de cultivo de cacao.

Tratamientos	Arena	Limo	Arcilla	Textura
Cacao - monocultivo	32,4	41,9	25,7	Franco
Cacao - bolaina	37,1	32,1	30,7	Franco arcilloso
Cacao - capirona	37,3	31,4	31,3	Franco arcilloso
Cacao - pino chuncho	36,6	36,1	27,3	Franco

4.1.2. Color

En la **Tabla 12** nos muestra el color del suelo de los tratamientos, variando de color gris oliva oscuro, marrón oscuro y rojo oscuro.

Tabla 12. Color del suelo en los sistemas de cultivo de cacao

Tratamientos	Código	Color
Cacao - monocultivo	2.5Y 3/2	Gris oliva oscuro
Cacao - bolaina	5YR 4/4	Marrón rojizo
Cacao - capirona	10R 3/12	Rojo oscuro
Cacao - pino chuncho	7.5 YR 3/4	Rojo oscuro

4.1.3. Inestabilidad de agregados

Según el ANVA (**Tabla 13**) para inestabilidad de agregados del suelo, nos muestra que hubo diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 13. Análisis de varianza para inestabilidad de agregados del suelo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F (tab)
Entre grupos	793,18	3,00	264,39	21259,19	2,90
Dentro de los grupos	0,40	32,00	0,01		
Total	793,58	35,00			

F > F tab = diferencia significativa

La prueba de Tukey para inestabilidad de agregados en la **Tabla 14**, nos muestra la diferencia que existe entre las medias de los resultados encontrados en los tratamientos, siendo el tratamiento de mayor resultado, el tratamiento de cacao con pino chuncho con un valor de 50,92 % (moderadamente estable), seguido de cacao con bolaina y cacao con capirona con 46,32 y 46,44 % respectivamente (moderadamente estable); y el tratamiento de menor resultado pertenece a cacao en monocultivo con un valor de 37,94 %, siendo de clasificación inestable.

Tabla 14. Prueba de Tukey para inestabilidad de agregados del suelo en los sistemas de cultivo de cacao.

Tratamientos	EA (%)	Interpretación
Cacao monocultivo	37,94 a	Inestable
Cacao - bolaina	46,32 b	Moderadamente estable
Cacao - capirona	46,44 b	Moderadamente estable
Cacao - pino chuncho	50,92 c	Moderadamente estable

Valores promedio, seguidas por letras diferentes, nos indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

4.1.4. Densidad aparente

Según el ANVA para la densidad aparente del suelo, nos muestra que hubo diferencia significativa entre los tratamientos. (Ver **Tabla 15**).

Tabla 15. Análisis de varianza para densidad aparente del suelo.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F (tab)
Entre grupos	0,21	3	0,07	130,16	2,95
Dentro de los grupos	0,02	28	5E-04		
Total	0,22	31			

$F > F_{tab}$ = diferencia significativa

La prueba de Tukey para densidad aparente del suelo en la **Tabla 16**, nos muestra la diferencia que existe entre las medias de los resultados encontrados en cada tratamiento, siendo el tratamiento de menor densidad aparente, el tratamiento de cacao con pino chuncho con 1,256 g/cm³, seguido de cacao con capirona y cacao con bolaina con 1,266 y 1,391 g/cm³ respectivamente; y el sistema de mayor densidad aparente, pertenece a cacao en monocultivo con 1,445 g/cm³.

Tabla 16. Prueba de Tukey para densidad aparente del suelo en los sistemas de cultivo de cacao.

Tratamientos	Da (g/cm ³)
Cacao monocultivo	1,445 c
Cacao - bolaina	1,391 b
Cacao - capirona	1,266 a
Cacao - pino chuncho	1,256 a

Valores promedio, seguidas por letras diferentes, nos indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

4.1.5. Porosidad

Según el ANVA para la porosidad del suelo, nos muestra que hubo diferencia significativa entre los tratamientos. (Ver **Tabla 17**).

Tabla 17. Análisis de varianza para porosidad del suelo.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Entre grupos	741,61	3	247,2	24	2,9467
Dentro de los grupos	28,557	28	1,0199	2.4	
Total	770,17	31			

$F > F_{tab}$ = diferencia significativa

La prueba de Tukey para porosidad del suelo en la **Tabla 18**, nos muestra la diferencia que existe entre las medias de los resultados encontrados en los tratamientos, siendo el sistema de menor resultado, el tratamiento con cacao monocultivo con 18,732 %, seguido de cacao con capirona y cacao con pino chuncho con 23,682 y 28,910 % respectivamente; y el tratamiento que obtuvo el mayor resultado, pertenece a cacao con bolaina con 31,412 %, todos los resultados obtuvieron clasificación de porosidad alta.

Tabla 18. Prueba de Tukey para porosidad del suelo en los sistemas de cultivo de cacao.

Tratamiento	Porosidad (%)	Clasificación
Cacao monocultivo	18,732 a	Alto
Cacao - bolaina	31,412 d	Alto
Cacao - capirona	23,682 b	Alto
Cacao - pino chuncho	28,442 c	Alto

Valores promedio, seguidas por letras diferentes, nos indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

4.1.6. Profundidad efectiva

Según el ANVA para la profundidad efectiva del suelo, nos muestra que hubo diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos. (Ver **Tabla 19**)

Tabla 19. Análisis de varianza para la profundidad efectiva del suelo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F (tab)
Entre grupos	509,84375	3	170	14,8	2,95
Dentro de los grupos	320,625	28	11.5		
Total	830,46875	31			

F > F tab = diferencia significativa

La prueba de Tukey para la profundidad del suelo en la **Tabla 20**, nos muestra la diferencia que existe entre las medias de los resultados encontrados en cada tratamiento, siendo de menor resultado, el sistema cacao en monocultivo con 48,50 cm, seguido de cacao con pino chuncho con 67,13 cm; y los sistemas que obtuvieron el mayor resultado, pertenecen a cacao con bolaina y cacao con capirona con 70,88 cm y 76,88 cm respectivamente.

Tabla 20. Prueba de Tukey para la profundidad efectiva del suelo en los sistemas de cultivo de cacao.

Tratamiento	Profundidad Efectiva (cm)	Clasificación
Cacao monocultivo	48,50 a	superficial
Cacao - bolaina	70,88 c	Moderadamente profundo
Cacao - capirona	76,50 d	Moderadamente profundo
Cacao - pino chuncho	67,13 b	Moderadamente profundo

Valores promedio, seguidas por letras diferentes, nos indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

4.1.7. Resistencia a la penetración

Según el ANVA para la resistencia a la penetración del suelo, nos muestra que hubo diferencia significativa entre los tratamientos. (Ver **Tabla 21**).

Tabla 21. Análisis de varianza para la resistencia a la penetración del suelo.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F (tab)
Entre grupos	0,83	3	0,277	3624	2,947
Dentro de los grupos	0,002	28	8E-05		
Total	0,832	31			

F > F tab = diferencia significativa

La prueba de Tukey para resistencia a la penetración del suelo en la **Tabla 22**, muestra la diferencia que existe entre las medias de los resultados en cada tratamiento, siendo el sistema de menor resultado, el sistema cacao con pino chuncho con 0,70 kg/cm², seguido de cacao con bolaina y cacao con capirona con 0,91 y 0,96 kg/cm² respectivamente los cuales son suelos muy suaves; y el sistema que obtuvo el mayor resultado, pertenece a cacao en monocultivo con 1,15 kg/cm² el cual es un suelo suave.

Tabla 22. Prueba de Tukey para ¹resistencia a la penetración del suelo en los sistemas de cultivo de cacao

Tratamiento	R.P. (kg/cm ²)	Clasificación
Cacao monocultivo	1,15 d	Suelos suaves
Cacao - bolaina	0,91 b	Suelos muy suaves
Cacao - capirona	0,96 c	Suelos muy suaves
Cacao - pino chuncho	0,70 a	Suelos muy suaves

Valores promedio, seguidas por ³letras diferentes, nos indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

4.1.8. Conductividad hidráulica

Según el ANVA para la conductividad hidráulica ¹del suelo, nos muestra que hubo diferencia significativa entre los tratamientos. (Ver **Tabla 23**).

Tabla 23. ²Análisis de varianza para la conductividad hidráulica del suelo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F (tab)
Entre grupos	0,7915	3	0,2638	531.3	2,9467
Dentro de los grupos	0,0139	28	0,0005	7	
Total	0,8054	31			

F > F tab = diferencia significativa

La prueba de Tukey para conductividad hidráulica del suelo en la **Tabla 24**, nos muestra la diferencia que existe entre las medias de los resultados encontrados en cada tratamiento, siendo de menor resultado el tratamiento de cacao monocultivo con 0,34 m/día, seguido de cacao con bolaina y cacao con capirona con 0,36 y 0,63 m/día respectivamente; y el tratamiento que obtuvo el mayor resultado, pertenece a cacao con pino chuncho con 0,70 m/día.

Tabla 24. Prueba de Tukey para conductividad hidráulica ⁷ del suelo en los sistemas de cultivo de cacao

Tratamientos	C.H. (m/día)	Interpretación
Cacao monocultivo	0,34 a	Lenta
Cacao - bolaina	0,36 a	Moderadamente lenta
Cacao - capirona	0,63 b	Moderada
Cacao - pino chuncho	0,70 c	Moderada

Valores promedio, seguidas por ²⁷ letras diferentes, nos indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

4.2. Indicadores químicos del suelo, en sistema agroforestal y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)

4.2.1. pH

Según el ANVA para el pH ¹ del suelo, nos muestra que hubo diferencia significativa entre los tratamientos. (Ver **Tabla 25**).

Tabla 25. ² Análisis de varianza para el pH del suelo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F (tab)
Entre grupos	3,56	3	1,187	48	2,947
Dentro de los grupos	0,693	28	0,025		
Total	4.253	31			

$F > F_{tab}$ = diferencia significativa

La prueba de Tukey para pH del suelo en la **Tabla 26**, nos muestra la diferencia que existe entre las medias de los resultados encontrados en cada tratamiento, siendo el tratamiento de menor resultado, el sistema de monocultivo con 5,45, seguido de cacao con bolaina y cacao con capirona con 5,80 y 5,98 respectivamente; y el sistema que obtuvo el mayor resultado, pertenece a cacao con pino chuncho con 6,37.

Tabla 26. ⁷ Prueba de Tukey para pH del suelo en los sistemas de cultivo de cacao

Tratamiento	pH	Interpretación
Cacao monocultivo	5,45 a	Fuertemente ácido
Cacao - bolaina	5,80 b	Moderadamente ácido
Cacao - capirona	5,98 b	Moderadamente ácido
Cacao - pino chuncho	6,37 c	Ligeramente ácido

Valores promedio, seguidas por ²⁷ letras diferentes, nos indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

4.2.2. Materia Orgánica

Según el ANVA para la M.O ¹ del suelo, nos muestra ¹ que hubo diferencia significativa entre los tratamientos. (Ver **Tabla 27**).

Tabla 27. Análisis ¹ de varianza para la materia orgánica del suelo

²⁶ Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F (tab)
				199.	
Entre grupos	16,785	3	5,5949	81	2,9467
Dentro de los grupos	0,784	28	0,028		
Total	17,569	31			

F > F tab = diferencia significativa

La prueba de Tukey para M.O del suelo en la **Tabla 28**, nos muestra la diferencia que existe entre las medias de los resultados encontrados en cada tratamiento, siendo de menor resultado, el sistema de cacao en monocultivo con 0,96 %, seguido de cacao con bolaina y cacao con capirona con 1,77 y 1,97 % respectivamente; y el sistema que obtuvo el mayor resultado, pertenece a cacao con pino chuncho con 2,99 %.

Tabla 28. Prueba de Tukey para la M.O ⁷ del suelo en los sistemas de cultivo de cacao

Tratamiento	M.O. %	Interpretación
Cacao monocultivo	0,96 a	Bajo
Cacao - bolaina	1,77 b	Bajo
Cacao - capirona	1,97 b	Bajo
Cacao - pino chuncho	2,99 c	Medio

³ Valores promedio, seguidas por letras diferentes, nos indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

4.3. Análisis ⁴² del efecto de sistemas agroforestales y monocultivo de cacao (*theobroma cacao* L.) En los indicadores físicos del suelo

Tabla 29. Resultado general de indicadores físicos del suelo

Tratamiento	Textura	Color	Ea %	Da g/cm ³	P %	P.e. cm	R.p. kg/cm ²	C.h. 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/cm³), P (Porosidad en %), P.e. (Profundidad efectiva en cm), R.P. (Resistencia a la penetración) y C.H. (Conductividad Hidráulica)

** Elaboración propia

Según la **Tabla 29**, 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 franco 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 fierro, tal y como menciona FAO (2009) el color de los suelos están determinados por partículas finas de **óxidos de fierro (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, Varas (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.; ATTRA (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 D.A del suelo fue mayor en el sistema de cacao con monocultivo (1,44 g/cm³), mientras que el suelo del sistema cacao con pino chuncho fue menor (1,25 g/cm³), 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⁻³, mientras que en suelos poco aprovechados es menor a 1 g. cm⁻³; Cerda (2018), encontró resultados similares en cacao monocultivo 0,9 g.cm⁻³ y en cacao con laurel 0,83 g.cm⁻³, Koicheoski (2022) corrobora el resultado, encontrando 1,04 g.cm⁻³ 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 ⁹ 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 ⁶ 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/cm² siendo de clasificación suelo suave, y el suelo con menor resistencia corresponde al sistema cacao con pino chuncho con 0,70 kg/cm² 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 ²⁴ 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/cm², 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, ⁶ describe la capacidad que tiene un suelo para transportar agua hacia el perfil del suelo (Fertilab, 2021). ⁶ 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 ²³ yeso agrícola para suelo con altos niveles de sodio y mejorar esta condición física. Así mismo, ²³ 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.

4.4. Análisis del efecto ¹ de sistemas agroforestales y monocultivo de cacao (*theobroma cacao* L.) En los indicadores químicos del suelo.

Tabla 30. 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 30** 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.

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

Tabla 31. Análisis de varianza del rendimiento en los tratamientos.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F (tab)
Entre grupos	5984,3	3	1994,8	1,0	0,3882	2,8165
Dentro de los grupos	85144	44	1935,1	308		
Total	91128	47				

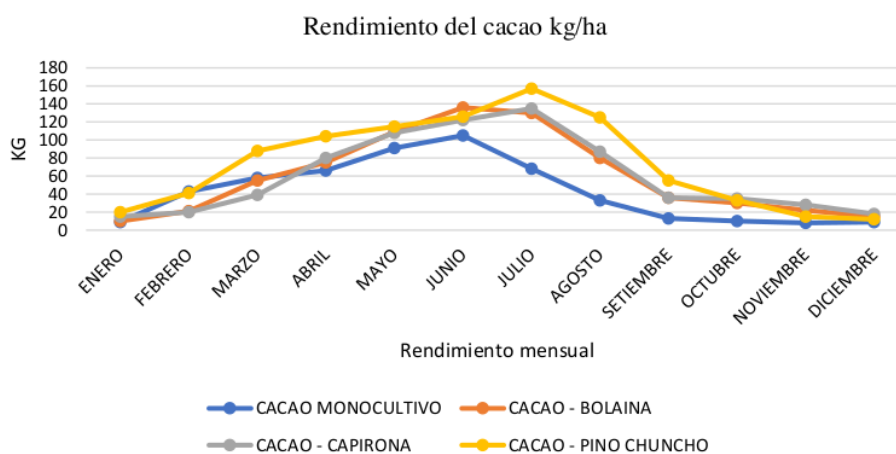
La **Tabla 31** describe el ANOVA de rendimiento del cacao en los tratamientos, observándose que no existe diferencia significativa entre unidades, sin embargo, la **Tabla 32** nos detalla el rendimiento del cultivo de cacao en los cuatro tratamientos, siendo el sistema cacao con pino chuncho, el que 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 vrac-99 aguantan altitudes de 1000 a 1400 msnm (Arvelo, 2017).

Tabla 32. Rendimiento anual del cultivo de cacao en diferentes sistemas agrícolas

Plantación (Tratamiento)	Rendimiento (kg/ha)												Total
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
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 **figura 7** nos ilustra la curva de 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.

**Figura 7.** Curva de rendimiento por mes en cada uno de los tratamientos en estudio.

V. CONCLUSIONES

1. Los indicadores físicos del suelo evaluados nos muestran que el sistema del monocultivo obtuvo valores no favorables, debido a las malas prácticas agrícolas. Asimismo, el suelo del sistema agroforestal con cacao y pino chuncho, obtuvo valores favorables, siendo el sistema con mejor condición física del suelo ya que proporciona un mejor microclima para el cultivo de cacao haciéndose que se desarrolle de manera óptima.
2. Los indicadores de fertilidad del suelo evaluados son el pH y la M.O, encontrándose el sistema de pino chuncho con cacao con un pH de 6,37 siendo ligeramente ácido, mientras el monocultivo obtuvo menor pH con 5,45, siendo fuertemente ácido. Respecto a la M.O el sistema agroforestal tuvo mejor resultado con 2,99%, siendo de clasificación media, mientras el sistema de monocultivo obtuvo el menor valor 0,96% de clasificación baja.
3. El sistema cacao en monocultivo obtuvo el menor rendimiento de los tratamientos, el cual cuenta con mala calidad física y química del suelo, y al no tener presencia de árboles forestales, existe menor incorporación de materia orgánica, así mismo, el mal manejo del cultivo hace que el suelo pierda su capacidad productiva. En cambio, los sistemas cacao con árboles forestales, mejoran la calidad productiva del suelo, elevando así el rendimiento del cultivo y generando mejores ingresos para el agricultor.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar una agricultura orgánica, ayuda a aumentar la vida útil y productiva del suelo, esto incluye la incorporación de microorganismos eficientes y materia orgánica al suelo, fraccionando la fertilización convencional, y evitando la aplicación de pesticidas sintéticos, y cambiarlos por pesticidas orgánicos.
2. Lograr un mayor provecho de los sistemas agroforestales, el productor tiene que capacitarse en el manejo del cultivo y se tiene que obedecer estrictamente el diseño (cada especie tiene que tener su espacio), el lugar donde será instalado (área total), las especies a instalar (nativas o exóticas), el personal para ejecutar dicha labor, y sobre todo que se desea lograr a mediano y largo plazo.
3. Complementar este tipo de investigación, analizando la parte biológica del suelo, los cuales son responsables de mantener distintos procesos edáficos.
4. Lograr mayor rendimiento, utilizar clones de cacao altamente productivos y adaptados a la zona donde serán instalados, así mismo, realizar la renovación de plantas poco productivas y plagosas, finalmente completar las plantas por hectárea.

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

repositorio.unas.edu.pe

Internet Source

7%

2

Submitted to Universidad Francisco de Paula Santander

Student Paper

1%

3

repositorio.unu.edu.pe

Internet Source

1%

4

repositorio.inia.gob.pe

Internet Source

1%

5

Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA

Student Paper

1%

6

Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD

Student Paper

1%

7

LEONARD EDMOND QUENUM. "Comparación entre la producción ecológica e integrada de hortalizas en base a parámetros del cultivo y del suelo", Universitat Politecnica de Valencia, 2010

Publication

<1%

8	www.minambiente.gov.co Internet Source	<1 %
9	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
10	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Student Paper	<1 %
11	fdocuments.ec Internet Source	<1 %
12	repositorio.unp.edu.pe Internet Source	<1 %
13	www.colibri.udelar.edu.uy Internet Source	<1 %
14	hdl.handle.net Internet Source	<1 %
15	www.unas.edu.pe Internet Source	<1 %
16	adega.gal Internet Source	<1 %
17	Submitted to Atlantic International University Student Paper	<1 %
18	123dok.net Internet Source	<1 %
19	repositorio.uca.edu.ni Internet Source	<1 %

20	es.slideshare.net Internet Source	<1 %
21	repositorio.unisucre.edu.co Internet Source	<1 %
22	magicanaturaleza.com Internet Source	<1 %
23	ANA CECILIA AMALIA DUFILHO. "Caracterización y modelación del transporte preferencial de plaguicidas organofosforados en suelos productivos bajo riego. Aplicación al Distrito Colonia Centenario, Patagonia Argentina.", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 Publication	<1 %
24	Submitted to tec Student Paper	<1 %
25	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Student Paper	<1 %
26	core.ac.uk Internet Source	<1 %
27	biblioteca.itson.mx Internet Source	<1 %
28	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Student Paper	<1 %

29	portaldeturismo.pe Internet Source	<1 %
30	tesis.ipn.mx Internet Source	<1 %
31	coolfarmtool.org Internet Source	<1 %
32	repositorio.espe.edu.ec Internet Source	<1 %
33	repositorio.umsa.bo Internet Source	<1 %
34	vdocuments.site Internet Source	<1 %
35	www.cubanet.org Internet Source	<1 %
36	animalesyplantasdeperu.blogspot.com Internet Source	<1 %
37	infoandina.org Internet Source	<1 %
38	Submitted to Universidad Estatal a Distancia Student Paper	<1 %
39	repository.javeriana.edu.co Internet Source	<1 %
40	repository.unad.edu.co Internet Source	<1 %

41	sigrid.cenepred.gob.pe Internet Source	<1 %
42	www.revistas.unitru.edu.pe Internet Source	<1 %
43	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC Student Paper	<1 %
44	Submitted to Universitat Politècnica de València Student Paper	<1 %
45	documentop.com Internet Source	<1 %
46	publicaciones.uat.edu.mx Internet Source	<1 %
47	renati.sunedu.gob.pe Internet Source	<1 %
48	repositorio.uwiener.edu.pe Internet Source	<1 %
49	www.asociacionadhoc.org Internet Source	<1 %
50	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
51	www.tesis.unjbg.edu.pe:8080 Internet Source	<1 %

52 repositorio.unesum.edu.ec <1 %
Internet Source

53 ri.conicet.gov.ar <1 %
Internet Source

54 web2.unas.edu.pe <1 %
Internet Source

55 www.fontagro.org <1 %
Internet Source

56 www.monografias.com <1 %
Internet Source

Exclude quotes

Off

Exclude matches

< 12 words

Exclude bibliography

On