

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA DE RAÍCES DE *Theobroma cacao* L. EN
CUATRO SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL DISTRITO PADRE FELIPE
LUYANDO, REGIÓN HUÁNUCO**

Tesis

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN
FORESTALES**

PRESENTADO POR:

OSCAR VASQUEZ VEGA

Asesor

Ing. M.Sc. EDILBERTO DÍAZ QUINTANA

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 035-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 05 de Agosto del 2022 a horas 7:00 p. m. a través de la plataforma virtual MS Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA DE RAÍCES DE *Theobroma cacao* L. EN CUATRO SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL DISTRITO PADRE FELIPE LUYANDO, REGIÓN HUÁNUCO”

Presentado por el Bachiller: **VASQUEZ VEGA, Oscar**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

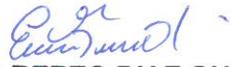
Tingo María, 16 de Setiembre de 2022


Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO
PRESIDENTE


Ing. RAUL ARAUJO TORRES
MIEMBRO




Ing. M. Sc. WARREN RIOS GARCIA
MIEMBRO


Ing. M. Sc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA DE RAÍCES DE *Theobroma cacao* L. EN CUATRO SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL DISTRITO PADRE FELIPE LUYANDO, REGIÓN HUÁNUCO

Autor : Oscar Vasquez Vega.

Asesor : Ing. M.Sc. Edilberto Díaz Quintana.

Programa de investigación : Valoración de la biodiversidad y recursos naturales.

Línea de investigación : Manejo, conservación de la biodiversidad y recursos naturales.

Eje temático : Plantaciones forestales y agroforestales.

Lugar de ejecución : Distrito Padre Felipe Luyando.

Duración : Seis meses.

Financiamiento : S/ 2.312,20 soles

Tingo María – Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme en este proceso de aprendizaje y por las bendiciones que me ha dado en cada momento de mi vida.

A mis adorados padres Segundo VASQUEZ, Esmeralda VEGA (Q.E.P.D.) y Flor VASQUEZ agradeciendo que con su apoyo moral, afectivo, económico y su comprensión, me dieron la fuerza necesaria para cumplirse mí anhelo.

A mis hermanos Alexis y Esmeralda, porque ustedes son el arma que me impulsa a seguir adelante y no defraudarlos, siempre serán los mejores hermanos.

A mi novia Sherly Vanessa ESPEJO MEZA, por su gran amor y compañía sin ella no podría haber cumplido este logro y sueño.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ Durante mi formación profesional y elaboración del presente trabajo he recibido el valioso consejo y apoyo incondicional de varias personas, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento a todos ellos.
- ✓ A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables que formaron parte de mi enseñanza durante la carrera profesional y que me brindaron todos sus conocimientos en mi formación profesional.
- ✓ En particular agradecer al M.Sc. Edilberto DIAZ QUINTANA, quien me ofreció su invaluable asesoramiento en la presente investigación.
- ✓ Al Ing. Frits PALOMINO VERA, por su paciencia y apoyo en campo, análisis y revisiones del documento.
- ✓ A los propietarios de los predios: Rufino ESTRADA SARAVIA, Aurelio GOBEA DOLORES, Aureliana RETIS JUANAN y Miguel Ángel RUEDA ATAVILLOS, quienes me facilitaron sus parcelas, en donde se desarrolló el trabajo de investigación.
- ✓ A los amigos: Juan TURPO MORALES, José Luis ROJAS ALLJAHUAMAN y Briam Sting MALLQUI ESPIRITU, que me apoyaron incansablemente en el trabajo de campo.
- ✓ A todas las personas que de alguna manera especial hicieron posible la culminación de este trabajo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Raíces botánicas.....	3
2.2. La biomasa en las raíces	3
2.3. Sistemas agroforestales.....	6
2.4. El cultivo del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	8
2.4.1. Asociaciones de cacao con árboles.....	9
2.5. Carbono almacenado en sistemas agroforestales.....	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1. Lugar de ejecución del estudio	12
3.2. Materiales y equipo.....	17
3.2.1. Unidad de análisis.....	17
3.2.2. Materiales y herramientas	17
3.2.3. Equipos	17
3.3. Aspectos del estudio	17
3.3.1. Variables consideradas en el estudio	17
3.3.2. Diseño de la investigación a nivel explicativo.....	18
3.3.3. Determinación del número de muestra	18
3.3.4. Muestreo	18
3.4. Metodología.....	19

3.4.1. Determinación de la biomasa de raíces gruesas (>3,00 mm) en los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Biomasa de raíces gruesas (>3,00 mm) en los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando.....	25
4.2. Biomasa de raíces finas (<3,00 mm) de los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando	27
4.3. Caracterización de los cuatro sistemas agroforestales sobre la biomasa de raíces en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco	31
4.3.1. Especies forestales de los sistemas agroforestales.....	31
4.3.2. Biomasa de raíces en los sistemas agroforestales	35
4.4. Características del suelo en los cuatro sistemas agroforestales	37
V. CONCLUSIONES	39
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	40
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Coordenadas y altitud de la parcela de cacao asociado a caoba.....	13
2. Coordenadas y altitud de la parcela de cacao asociado a guaba.....	14
3. Coordenadas y altitud de la parcela de cacao asociado a varios árboles.....	15
4. Coordenadas y altitud de la parcela de cacao asociado a bolaina.	16
5. Estadísticos descriptivos de la biomasa de raíces gruesas (tn/ha) en sistemas agroforestales.....	25
6. Contrastación de hipótesis de la biomasa de raíces gruesas en sistemas agroforestales.....	25
7. Comparación de medias de la biomasa de raíces gruesas (tn/ha) en sistemas agroforestales.....	26
8. Estadísticos descriptivos de la biomasa de raíces finas (tn/ha) en sistemas agroforestales.....	28
9. Contrastación de hipótesis de la biomasa de raíces finas (tn/ha) en sistemas agroforestales.....	28
10. Comparación de medias de la biomasa de raíces finas (tn/ha) en sistemas agroforestales.....	29
11. Estadísticos descriptivos de la altura total (m) en los árboles de los sistemas agroforestales.....	31
12. Contrastación de hipótesis de la altura total en los árboles de los sistemas agroforestales.....	31
13. Comparación de medias de la altura total (m) en los árboles de los sistemas agroforestales.....	32
14. Estadísticos descriptivos de la altura comercial (m) en los árboles de los sistemas agroforestales.	32
15. Contrastación de hipótesis de la altura comercial en los árboles de los sistemas agroforestales.	33

16.	Comparación de medias de la altura comercial (m) en los árboles de los sistemas agroforestales.....	33
17.	Estadísticos descriptivos del diámetro de fuste (cm) en los árboles de los sistemas agroforestales.....	34
18.	Contrastación de hipótesis del diámetro de fuste en los árboles de los sistemas agroforestales.....	34
19.	Comparación de medias del diámetro de fuste (cm) en los árboles de los sistemas agroforestales.....	35
20.	Estadísticos descriptivos de la biomasa de raíces (tn/ha) en sistemas agroforestales.....	35
21.	Contrastación de medias de la biomasa de raíces en sistemas agroforestales.....	35
22.	Comparación de medias de la biomasa de raíces (tn/ha) en sistemas agroforestales.....	36
23.	Matriz de datos de los árboles en diferentes sistemas agroforestales.....	48
24.	Matriz de datos del peso fresco y biomasa de raíces en diferentes sistemas agroforestales.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Distribución de las repeticiones (transecto con 12 monolitos) en los sistemas agroforestales.....	19
2. Muestreo sistemático de raíces en una parcela de 50 x 50 m.....	19
3. Delimitación (izquierda) y extracción de tierra con raíces (derecha).....	20
4. Oreo de las raíces a la intemperie.....	21
5. Medición de la circunferencia a 1,30 m en caoba (izquierda) y bolaina (derecha).....	22
6. Identificación de raíces finas y gruesas.....	22
7. Biomasa de raíces gruesas en sistemas agroforestales con cacao.....	26
8. Biomasa de raíces finas (tn/ha) en sistemas agroforestales con cacao.....	29
9. Biomasa de raíces en sistemas agroforestales con cacao.....	36
10. Resultado del análisis de suelos.....	65
11. Materiales y herramientas utilizadas en la ejecución de la tesis.....	66
12. Obtención del ángulo recto para demarcar el cuadrante 50 m x 50 m.....	66
13. Lavado de raíces muestreadas.....	67
14. Muestras de raíces rotuladas y codificadas puestas en estufa.....	67

RESUMEN

El estudio se ejecutó con la finalidad de caracterizar los cuatro sistemas agroforestales sobre la biomasa de raíces en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco, estableciéndose parcelas de muestreo con dimensiones de 50 m x 50 m en cuatro predios constituidos por cacao con caoba (CC), cacao con guaba (CG), cacao con diversos árboles (CDA) y cacao con bolaina blanca (CB); se realizó el muestreo sistemático en forma de “X” de las raíces mediante monolitos de 30 x 30 x 30 cm a los cuales se determinó la biomasa, se utilizó la estadística no paramétrica para la comparación de resultados entre sistemas. Se encontró que la biomasa de raíces gruesas (>3,00 mm) no difieren entre sistemas, sin embargo, los sistemas CB, CC y CG obtuvieron mayores promedios en la biomasa de raíces finas (<3,00 mm); de manera global, la biomasa total fueron superiores en los sistemas CG y CB con valores de 5,10 y 4,88 tn/ha respectivamente. Se concluye que, las dinámicas de la biomasa en las raíces difieren entre sistemas a consecuencia de las especies forestales establecidas.

Palabras clave: Sistema, biomasa, cacao, monolito, raíz.

ABSTRACT

The study was carried out in order to characterize the four agroforestry systems on root biomass in the Padre Felipe Luyando district, Huánuco region, establishing sampling plots with dimensions of 50 mx 50 m in four farms consisting of cocoa with mahogany (CC) , cocoa with guaba (CG), cocoa with various trees (CDA) and cocoa with white ball (CB); systematic sampling in the form of "X" of the roots was carried out by means of monoliths of 30 x 30 x 30 cm to which the biomass was determined, non-parametric statistics were used for the comparison of results between systems. It was found that the thick root biomass (> 3.00 mm) did not differ between systems, however, the CB, CC and CG systems obtained higher averages in the fine root biomass (<3.00 mm); overall, the total biomass was higher in the CG and CB systems with values of 5.10 and 4.88 tn / ha respectively. It is concluded that the biomass dynamics in the roots differ between systems as a consequence of the established forest species.

Keywords: System, biomass, cocoa, monolith, root.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más repetitivos en la Amazonía peruana es el cambio de uso de las áreas con cobertura boscosa los cuales generan cambios abismales en sus características originales como la capacidad de almacenar biomasa dentro del sistema, razón por el cual algunos agricultores optan por imitar a los sistemas boscosos mediante la asociación de cultivos agrícolas con los cultivos forestales, que comúnmente son denominados como sistemas agroforestales, los cuales que en cierta medida presentan componentes arbóreos y especies agrícolas que poseen dinamismo de manera diferente de acuerdo a los componentes que los conforman cada sistema agroforestal.

Como mecanismo para la mitigación del efecto invernadero, se consideran temas como la fijación de carbono, por ser muy importante para mejorar la calidad del medio ambiente; las investigaciones referidas a las plantaciones forestales o agroforestales delimitan su recolección de datos en la biomasa del componente aéreo, dejando de lado, de manera parcial o en su totalidad, la biomasa existente debajo del suelo que es el resultado de la fijación a través del sistema de raíces de la vegetación existente, lo cual subestima el valor total de la biomasa en dichos ecosistemas, debido a que ciertos autores toman en consideración la biomasa de las raíces tiende a aportar desde los 10% hasta los 50% de la totalidad de biomasa que presenta un determinado ecosistema (Jackson, 1997; Sierra et al., 2001).

Los sistemas agroforestales (SAF) presentan su gran capacidad para optimizar la producción a través de una explotación diversificada, en la que los árboles cumplen la función de proveer muchos productos tales como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, principios activos de interés farmacéutico, cosméticos, aceites y resinas, entre otras (Arcila et al., 2007); como un servicio adicional esta la biomasa que presentan en cada uno de sus componentes. El cultivo de *Theobroma cacao* L. (cacao) en la provincia Leoncio Prado está forjando el desarrollo en los agricultores, la cual vienen almacenando biomasa en abundancia tanto en la parte aérea y la parte edáfica, no solamente por las raíces que soportan y obtienen agua sino también por las raíces finas de los cuales no se tiene mucho reportes respecto al aporte de biomasa, la cual generan interrogantes como si ¿Cuál sería la diferencia de la biomasa del sistema radicular entre los cuatro sistemas agroforestales?

La importancia de la investigación radica en saber qué asociación del cacao con especies forestales presenta mayor abundancia de la biomasa en el sistema radicular con

mayor enfoque a las raíces finas cuyo diámetro son inferiores a los 3 mm, la cual será factible proponer su réplica con la finalidad de promover la acumulación de biomasa en el sistema radicular, recalcando también que dicha asociación no debe perjudicar la producción del cacao. Se corroboró la hipótesis correspondiente a que existe diferencias estadísticas significativas entre las biomásas de las raíces entre los cuatro sistemas agroforestales en estudio.

Objetivo general

Caracterizar los cuatro sistemas agroforestales sobre la biomasa de raíces en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco.

Objetivos específicos

- Determinar la biomasa de raíces gruesas ($>3,00$ mm) en los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando.
- Determinar la biomasa de raíces finas ($<3,00$ mm) de los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando.
- Describir las características de los suelos en los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Raíces botánicas

De acuerdo a la página Botanical (2022), la raíz viene a ser un órgano de la planta que por lo general se encuentra debajo de la tierra, poseen geotropismo positivo y fototropismo negativo, siendo originado de la radícula en el hipocótilo del embrión. De manera general lo clasifican según algunos criterios como son:

- Basados en el origen (principal, secundarias o laterales y las adventicias).
- Basados en la morfología (pivotante o axonomorfa y las fibrosas o fasciculadas).
- Raíces modificadas (neumatóforos, zancos, adherentes, columnares, tabulares y haustorios).

2.2. La biomasa en las raíces

La clasificación de raíces generalmente lo consideran como fina y gruesa; el diámetro de las raíces finas son inferiores de 2 mm y en algunos casos inferiores a 5 mm, estas raíces son las más investigadas debido a su cumplimiento fundamental de absorber agua y nutrientes (Macdiken, 1997; Pavón, 2005). Sin embargo, este puede representar (raíces finas) entre 90 y 95% de la longitud total de las raíces, por consiguiente, tiene una mayor área en contacto en el suelo (Baker et al., 2001; Bowen, 1984).

La biomasa de raíces en bosques templados se ha estimado, generalmente, bajo el supuesto que representa menos del 36 % de la biomasa aérea (Santantonio, 1980) con un valor aproximado de $2,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (Jarvis et al., 2001). Sin embargo, la biomasa de raíces sobre todo las finas es altamente variable dependiendo de la época de muestreo, las condiciones de los sitios y la composición de especies (Pavón et al., 2012).

En la formación de agregados la raíz juega un papel fundamental (Buckman y Brady, 1991) también en el progreso del suelo como soporte (Vanninen y Makela, 1999). Estas raíces al introducirse al suelo, rompen la estructura y dejan espacios por donde existe dinámica de agua y aire, como también extraen nutrientes del suelo. A la vez proporciona una fuente de tejidos muertos para alimentar a los microorganismos del suelo (Buckman y Brady, 1991).

Cuando cae las hojas y ramas secas al suelo o cuando muere una planta, da inicio al proceso de descomposición entrando en acción diversos microorganismos, produciendo

nutrientes que se las reincorpora al sistema edáfico (Arias, 2001). La actividad indicada anteriormente se le denomina como reciclaje de nutrientes. Los sistemas radiculares de los vegetales también proveen de área superficial para que crezcan los microorganismos, específicamente en la rizósfera, definida como la superficie del suelo bajo la influencia directa de las raíces, debido a que tienden a exudar nutrientes inorgánicos y orgánicos, además de las vitaminas que es de suma importancia para la actividad de los microorganismos (Eweis et al., 2000).

Falta considerar, resaltar necesariamente en la literatura por grupos las raíces finas y las leñosas debido por sus propiedades de crecimiento, mortalidad y funcionalidad, porque las raíces leñosas se asocian a la función de soporte mecánico de la especie y suministra la conducción de los sustratos asimilados por las raíces finas. También, la raíz fina se caracteriza por la función de asimilar y reciclar sustancias del suelo (Santantonio, 1990; citado por Morales, 1997).

Estudiar a las raíces de las plantas, se fundamenta en las funciones que cumplen como órgano que ancla a las plantas, absorbe nutrientes y agua, almacena los carbohidratos y sintetizan los reguladores de crecimiento para dichas plantas (López et al., 2001). De manera general, la totalidad de minerales, así como el agua se absorben por medio del sistema radicular; siempre teniendo en consideración de que también el follaje puede absorber agua y solutos, pero lo realizan en poca cantidad al compararlas con lo que absorbe el sistema radicular (Kramer, 1989).

La extensión y profundidad de la raíz, depende en la mayoría por la estructura del suelo, compactado, humedad disponible y la nutrición. Un buen suelo aireado favorece sobre la morfología de la raíz, sin embargo la existencia de elementos tóxicos podría perjudicar puede su incremento (Pritchett 1986). Además, afectan en la competencia intra e interespecífica con raíces de otras especies, como plaga y enfermedad, la existencia y grado de progreso de individuo mutualista y simbiótico (Morales, 1997). Los orificios hechos por microorganismos tales como larva de insecto, abejas y lombrices favorecen a la introducción de la raíz al suelo, como infiltrar el agua, y la aireación (Arias, 2001).

Mullins (2011) al evaluar áreas con diferentes edades de bosques secos tropicales en el Pacífico Noroeste de Costa Rica, en donde consideró como fase inicial la cobertura por pasturas y las fases superiores fueron los bosques secundarios: bosque temprano, bosque intermedio y bosque tardío; concluye que hay una posibilidad de que las fases en estudio afectaron a la producción de raíces finas, debido a que se registró mayor producción durante

el período de menor disponibilidad de agua en el suelo. Asimismo, propició diferencias entre la biomasa de las raíces en las pasturas y el bosque temprano.

El dinamismo de agua adentro del medio edáfico es vital en el ecosistema, porque hace control no simplemente de infiltración, también del abastecimiento de agua para la raíz y el movimiento de agua en el subsuelo en dirección de hacia los ríos (Kramer, 1989). El incremento de la raíz es afectado por la escasez de humedad del suelo cuando la raíz está en pleno desarrollo (Pritchett, 1986).

Es notorio que, las investigaciones respecto a las raíces tienen falencias por el medio en el que crecen, ya que tiende a no poder realizar las mediciones de una manera directa. Algunos de los problemas asociados a esta limitación, consisten en la dificultad de extraer sistemas radicales completos de su hábitat natural y la gran cantidad de tiempo requerido para las investigaciones (Morales, 1997). De igual manera, no se deben dejar de lado factores como minimizar el disturbio causado en el sitio de muestreo, coleccionar información de raíces intactas, considerar la fenología de las plantas y determinar la variabilidad de los cambios estacionales en la actividad de las raíces, para el diseño de un protocolo de muestreo de raíces (Vogt et al., 1998).

Mcgroddy y Silver (2000) mencionan que el conjunto de raíces finas está directamente en relación con la altitud y humedad del medio edáfico. Lo mismo sucede, con un bosque siempre verde en Malasia, establecieron que la recolección en producción de biomasa de raíces finas fue bajo en la estación seca (Green et al., 2005). También mencionan, Kavanagh y Kellman (1992) lograron determinar mayor biomasa de raíces finas en el inicio de época lluvioso.

En bosques tropicales secos cercanos al Parque Nacional Santa Rosa en Costa Rica se determinó que conforme aumenta la edad de abandono del sitio, las especies arbóreas pioneras sustituyen el componente herbáceo, aumenta la adición anual de hojarasca y raíces finas, se conserva mejor la humedad y se enriquece la superficie del suelo con cationes y materia orgánica (Alfaro et al., 2001).

Pavón et al. (2012) señala que la biomasa radicular es un indicador funcional del ecosistema ya que atribuye en su mayoría con la biomasa viva del medio edáfico y también controla sobre los procesos de pedogénesis, en la acumulación del material orgánica y el dinamismo de nutrientes. En su investigación desarrollo una comparación sobre la biomasa de raíces finas y gruesas, una vegetación conservado y una vegetación de manejo forestal selectivo. El promedio de la biomasa de raíces entre dos vegetaciones no hubo diferencias, en la vegetación con manejo forestal $3,05 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (E.E. = 0,25) y en la vegetación conservado

3,39 Mg·ha⁻¹ (E.E. = 0,24). El mayor porcentaje de la biomasa fueron las raíces finas en las dos vegetaciones.

Otros estudios revelan que la concentración de mayor densidad de raíces finas ocurre en las capas superficiales del suelo con una tendencia de disminución conforme se profundiza en el suelo (López et al., 2001; Morales, 1997; Cavalier et al., 1996; Cavalier, 1992). El aumento en la proporción de arcillas, reducción en la fertilidad del suelo y materia orgánica, además de la escasa aireación, pueden ser algunos de los factores por los cuales se da este comportamiento (López et al., 2001).

Cavalier (1992), la investigación realizada en vegetaciones de semidecídulo y montano bajo-Panamá, se recolectó más de 90 % de raíces totales en profundidades de 0 – 25cm. Moreno-Chacón y Lusk (2004) en el parque nacional Puyehue (Chile) encontraron que el 69% de raíces finas se encuentran en los primeros 0,3 m de suelo.

Igualmente, en un estudio realizado en La Planada, Colombia, en una sucesión de bosque de 10 y 20 años y en bosque maduro, a 5 cm de profundidad del suelo se determinó un considerable aumento en la biomasa de raíces finas de 1,3 a 2,4 mg/ha en la sucesión de bosque de 10 años a bosque maduro (Cavalier et al., 1996).

Calvo et al. (2009) en un estudio de biomasa de pastos registraron un valor de 0,454 kg/m² y 1,139 kg/m², correspondientes a bosques de Costa Rica, las raíces finas alcanzaron un 97,5 y 39%. También Jiménez (2004) registró 74,62 g/cm² biomasa de raíces de pastos; 440,62 g/cm² en vegetación secundaria de 24 años de edad; y 357,77 g/cm² en vegetación primaria de Costa Rica.

En los alrededores de Jaboncillo de Dota, Costa Rica, en una sucesión de bosque montano, se determinaron valores de biomasa de raíces finas de hasta 7 veces mayor en el bosque maduro en comparación con el bosque temprano (1300 vs. 200 g/m² respectivamente) (Hertel et al., 2003).

Es fundamental recordar que, durante el procedimiento de muestreo, almacenamiento, y lavado hay una pérdida de biomasa radical aproximadamente un 30 a 40% de masa seca (Grzebisz et al., 1989).

2.3. Sistemas agroforestales

Dentro de los sistemas de producción agrícola, también se practica la Agroforestería, la cual se refiere a sistemas y tecnologías de uso del suelo en los cuales las especies leñosas perennes como los árboles, los arbustos y las palmas, entre otras, se usan de forma deliberada

en el mismo sistema de manejo con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (Nair, 1989).

Las propiedades en los sistemas Agroforestales, se puede nombrar la capacidad de producción en la explotación como: madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, principios activos de interés farmacéutico, cosméticos, aceites y resinas, entre otras (Arcila et al., 2007).

Por otra parte, los árboles son proveedores importantes de servicios como seguridad alimenticia, conservación de suelos, aumento de la fertilidad del suelo, mejora del microclima, cercas vivas para los cultivos y árboles frutales, demarcación de límites, captura de carbono, estabilización de cuencas, protección de la biodiversidad, recuperación de tierras degradadas y control de arvenses (Arcila et al., 2007).

Para Mantagnini (1992), son formas y manejos de los recursos, lo cual es una especie leñosa arbustiva, que se utilizan en asociación deliberada en cultivo agrícola y a veces con ganaderías, existen una interrelación ecológica y económica en los componentes de forma simultáneo secuencialmente, que coinciden con la condición socioculturales.

Las asociaciones diversos llamados sistemas agroforestales compone árboles, arbustos, cultivos agrícolas, pastos y animales. Su principio es la forma de manejo que siempre será mantener en productividad el suelo, permitiendo que el agricultor sea diverso en sus actividades, en asociación con dichas componentes como: madera, leña, frutos, plantas medicinales, forrajes y otros productos agrícolas (Ramírez, 2000).

La combinación multidisciplinaria llamado agroforestería se define como diversas técnicas medioambientalmente viables, que conllevan el manejo arbustivo, cultivos alimentarios y animales, un plan a largo plazo y un rendimiento de aceptación sin descuidar las prácticas de manejo cultural de los habitantes locales. Este manejo se realiza con una serie de técnicas de combinación agronómica, silvicultural y zootecnia para que, esta combinación en conjunto sea económicamente mejor rentable (Palomeque, 2009).

Varias técnicas agroforestales lo utilizan de acuerdo a la condición social, económica y ecológica. En lugares de suelo fértil es productivo, pero el manejo, la técnica potencia a mejorar la productividad en áreas de menor fertilidad. Las técnicas agroforestales generalmente incrementan la productividad en establecimiento agropecuario, plantación forestal de distintos métodos. También la técnica o manejo agroforestal controla sobre la degradación del suelo (Gutiérrez, 2003).

Según CATIE (2001), las características de cualquier sistema como agroforestal tienen un nivel de jerarquía de una finca dinámica porque existe interacción en sus componentes, límites, ingresos y egresos.

Son los contornos de las plantaciones llamados límites y los componentes son aquellos partes como físicos, socioeconómicos y biológicos. El ingreso se define como actividades realizadas por el hombre, productos químicos, luz solar, etc. Egresos se define como: piezas maderables, productos animales, fruto, cultivos, etc. Ejemplo de SAF “cultivo de cafeto bajo la sombra de árboles podados periódicamente”. Y los componentes son: los árboles y el cafeto, límite son la asociación del cultivo dentro de la parcela. Los ingresos son: las precipitaciones, luz solar, abonos, actividad laboral y los egresos son: cosecha, trozos de madera, leña por actividad de poda. Son el dinamismo de reciclar nutrientes mediante la hojarasca que caen al suelo y se descompone por la humedad de la sombra de asociación de los cultivos (Vázquez, 2004).

2.4. El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.)

Las características generales del cultivo son:

Planta. Es una planta de la familia de las malváceas, alcanza hasta 20 m de altura cuando crece libremente bajo sombra (Alarcón, 2001).

Raíz. La principal es pivotante o sea que penetra hacia abajo, especialmente en los primeros meses de vida de la planta puede crecer normalmente entre 120 a 150 cm, luego nacen muchas raíces secundarias. La mayoría de las raicillas funcionales del árbol, se encuentran casi en la superficie del suelo (Aldona, 1995).

Tallo. Es vertical y su incremento se desarrolla variadamente, por la condición ambiental y el manejo de la plantación. En general el cacao clonal, que se extrae de una ramilla, un acodo o un injerto, cuyo caso a partir de ahí forma una planta. La planta toma de su tallo principal unos chupones adquirido por la incrustación del injerto hasta desarrollar un árbol.

Hojas. Son simples, enteras y pigmentadas, variando mucho el color de esta pigmentación, la mayoría es de color verde bastante variable. Algunas plántulas tienen hojas tiernas bien pigmentadas (coloreadas) que pueden llegar a ser de un color marrón claro, morado o rojizo; también las hay de color verde pálido (casi sin coloración). El tamaño de la hoja varía mucho, con una alta respuesta al ambiente (Suárez et al., 1993).

Flores. Las flores son reducidas que aparecen en forma de racimo en el tronco principal y en las ramas bien desarrolladas, y tiene cinco sépalos, cinco pétalos, cinco estambres y un pistilo. Sólo unas 30 de las aproximaciones 6,000 flores que se abren durante el año llegan a formar semillas. “Éstas, llamadas a veces habas del cacao, están encerradas en una mazorca”.

Los frutos. Son una baya bastante grande, le sostiene un pedúnculo no muy largo pero robusto, que se origina del crecimiento del pedicelo de la flor. Los frutos tienen cinco lóculos y cada lóculo tiene dos partes formados por dos surcos interno, lo que en algunos es evidente y en otros casi ha desaparecido. El color de los frutos varía notablemente desde casi blancos y verdes hasta colores morados bien fuertes, también hay combinaciones de colores morados con verdes especialmente diferenciando lomos y surcos (Vera, 1993).

Semillas. Tienen forma de oblonga que podría haber mucha variabilidad en el tamaño. Otras, en la parte más larga son redondeadas por ejemplo el cacao tipo Criollo y el Nacional de Ecuador como también algunos son aplanados por ejemplo los Forasteros. Tienen un recubrimiento o cutícula que protege a los cotiledones y en la parte exterior está el mucílago que permite la fermentación de las semillas. El color de la semilla tiene mucha variabilidad desde un blanco ceniciento, blanco puro, hasta morado oscuro y las tonalidades (Vera, 1993).

2.4.1. Asociaciones de cacao con árboles

Las asociaciones de cacao con árboles generan diferentes valores de biomasa en su sistema radicular, Poveda et al. (2013) en asociaciones con una edad mínima de cinco años encontró hasta una profundidad de 10 cm del suelo biomasa de raíces gruesas en 13,8 tn/ha (CV: 52,6%) y raíces finas cuyas dimensiones fueron 2 mm alcanzaron 7,6 tn/ha (CV:66,6%), atribuyendo la variación de los datos a la diversidad arbórea del dosel de sombra correspondientes al número de especies, la densidad, el área basal y la cantidad de biomasa.

En asociaciones de (*Theobroma cacao*) en el país centroamericano de costa Rica, Muñoz (2006) encontró que en el periodo húmedo la biomasa de raíces finas (<2,0 mm) en cacao asociado con poró se pierden el 34% (en 18 semanas), en cacao con laurel un 28%, en poró solo un 73% y en laurel solo un 34%, dichas disminuciones de biomasa es menor que durante la época húmeda; esto ratifica las aseveraciones de que la pudrición de la raíz fina y las hojarascas son la principal nutrición vegetal de la dinámica de nutrimentos.

2.5. Carbono almacenado en sistemas agroforestales

Concha et al. (2007) en la región San Martín (Perú), evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de (*Theobroma cacao*) asociado con especies forestales maderables y frutales con edades de 5, 12 y 20 años. Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26,2 t C ha⁻¹ para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45,07 t C ha⁻¹ del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12,09 t ha⁻¹ hasta 35,5 t ha⁻¹, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha⁻¹ hasta 9,97 t ha⁻¹; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan el 66,7 % de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C ha⁻¹; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C ha⁻¹.

Timoteo et al. (2016) cuantificaron la biomasa y el carbono en suelo en tres sistemas agroforestales en el primer año de establecimiento en el distrito “José Crespo y Castillo”. En los SAF se utilizaron las siguientes especies forestales en combinación “*Guazuma crinita*” con tres especies de uso comestible o forrajero: *Inga edulis*, *T. cacao* y *Cajanus cajan* (SAF₁), *Schizolobium amazonicum*, *T. cacao* y *C. cajan* (SAF₂), y *Leucaena leucocephala*, *T. cacao* y *C. cajan* (SAF₃). En resultado muestra mayor almacenamiento carbono en el primer periodo (primer año) en la biomasa y necromasa aérea de 9,44 t.C ha⁻¹ en SAF₁, 11,40 t.C ha⁻¹ en SAF₂ y 11,37 t.C ha⁻¹ en SAF₃; y en el suelo de 23,98 t.Cha⁻¹ en SAF₁, 25,39 t.C ha⁻¹ en SAF₂ y 25,83 t.C ha⁻¹ en SAF₃. El C orgánico en el suelo presenta casi el 60% Del C total almacenado en este tipo de sistema agroforestal, es importante mencionar que el aumento es en los primeros años.

Chávez y Huamaní (2016) estimaron el contenido de carbono almacenado en los diferentes componentes de los tres Sistemas Agroforestales cacao + guaba, cacao + bolaina y cacao + laurel, evaluados por cuatro años en la provincia Leoncio Prado (Perú). El carbono almacenado en la biomasa arbórea en el SAF cacao + guaba fue 24,1, 35,1, 49,8 y 67,7 t C ha⁻¹ y menor en el SAF cacao + bolaina con 22,9; 29,7; 39,5 y 46,0 t C ha⁻¹ a los 3; 4; 5 y 6 años de edad respectivamente, mientras que para el SAF cacao + laurel fue de 103,9; 118,8; 77,9 y 91,2 t C ha⁻¹ a los 8; 9; 10 y 11 años de edad respectivamente. El componente que aporta mayor carbono en el sistema agroforestal es el suelo, seguido por los árboles forestales y el cultivo de cacao. En los tres sistemas agroforestales el almacenamiento de carbono tiene una relación directa con el tiempo, donde el SAF cacao + guaba se obtuvo una fórmula de

crecimiento $Y = 76,123 \ln (x) - 63,662$, para el SAF cacao + bolaina es $Y=50,097 \ln (x) - 34,469$ y para el SAF cacao + laurel es $Y = 112,46 \ln (x) - 129,67$, este último tiene una relación directa con SAF cacao + guaba.

Poveda et al. (2013) En un estudio se encontró que el carbono almacenado en sistemas agroforestales *T. cacao* cultivados por las familias de la etnia bribri en Talamanca (Costa Rica). El sistema registró con un promedio de carbono total de $122 \pm 24 \text{ t C ha}^{-1}$. En donde la biomasa aérea registro el 43% del carbono almacenado y el 41% en suelo. Y el carbono de biomasa aérea fue en un intervalo de $3,0 \pm 1,9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Un estudio de la cantidad de carbono en sistemas agroforestales que incluyen al cacao, muestra valores de 19 t.C ha^{-1} y 47 t.C ha^{-1} en el primer metro de profundidad del suelo (Lapeyre et al., 2004). A esta misma profundidad (1 m), las pasturas almacenan en el suelo 70 t.C ha^{-1} (Trumbmore et al., 1995) y los bosques tropicales varían con valores entre 60 y 115 t.C ha^{-1} (Kanninen, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución del estudio

La investigación se realizó en predios de la localidad de Naranjillo, distrito de Padre Felipe Luyando, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. Geográficamente, el distrito se encuentra ubicada en 10°41'55' de Latitud Sur, 75°01'08' de Longitud Oeste y 564 msnm. La condición climática del año 2019 fue: temperatura máxima de 30,43 °C, mínima de 20,71 °C, y media de 25,57 °C, precipitación promedio anual de 3454,60 mm, humedad relativa de 82,93 % (SENAMHI, 2020). De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida y el diagrama bioclimático de Holdridge, el distrito de Luyando se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo Pre montano Sub Tropical (bmh - PST) y de acuerdo a las regiones naturales del Perú, según Javier Pulgar Vidal, se encuentra en la selva alta o Rupa Rupa.

Específicamente la investigación se realizó en cuatro predios de agricultores que presentan sistemas agroforestales con cacao CCN-51 *T. cacao* distribuidos en el distrito mencionado (Tabla 1 al 4).

Parcela 01: Cacao y caoba (Tabla 1)

- Propietario : Rufino Estrada Saravia
- Caserío : Río Negro
- Edad cacao : 12 años
- Variedad : CCN 51
- Dist. siembra : 3 m x 3 m
- Producción : 1500 kg/año (con abono), 800 - 1000 kg/año (sin abono)
- Edad caoba : 25 años
- Dist. siembra : 10 m x 10 m
- Pendiente : 12%
- Nivel de pH : Fuertemente ácido
- Nivel de MO : Bajo
- Nivel de N : Bajo
- Nivel de P : Bajo
- Nivel de K : Bajo

- Nivel de Ca : Medio
- Nivel de Mg : Bajo

Tabla 1. Coordenadas y altitud de la parcela de cacao asociado a caoba.

Cuadrante	Vértice	Este	Norte	Altitud (msnm)
1	1	399965	8971724	720
	2	399948	8971681	716
	3	399904	8971698	737
	0	399936	8971713	727
2	1	399888	8971704	739
	2	399841	8971712	742
	3	399837	8971667	744
	4	399882	8971656	738
3	1	399951	8971676	710
	2	399937	8971626	718
	3	399897	8971634	728
	4	399907	8971680	735
	0	399927	8971650	722

Parcela 02: Cacao y guaba (Tabla 2)

- Propietario : Aurelio Gobeá Dolores
- Caserío : Cadena
- Edad cacao : 12 años
- Variedad : CCN 51
- Dist. siembra : 3 m x 3 m
- Producción : 800 kg/año
- Edad guaba : 8 años
- Dist. siembra : 15 m x 15 m
- Pendiente : 6,5%
- Nivel de pH : Fuertemente ácido
- Nivel de MO : Medio
- Nivel de N : Medio
- Nivel de P : Bajo

- Nivel de K : Medio
- Nivel de Ca : Medio
- Nivel de Mg : Bajo

Tabla 2. Coordenadas y altitud de la parcela de cacao asociado a guaba.

Cuadrante	Vértice	Este	Norte	Altitud (msnm)
1	1	390309	8983216	630
	2	390365	8983231	629
	3	390338	8983277	629
	4	390290	8983264	631
	0	390322	8983248	630
2	1	390309	8983281	630
	2	390354	8983288	631
	3	390339	8983330	629
	4	390298	8983322	626
	0	390324	8983310	629
3	1	390362	8983316	648
	2	390406	8983321	631
	3	390399	8983370	628
	4	390352	8983363	634
	0	390382	8983343	644

PARCELA 03: Cacao y especies forestales como capirona, guaba, bolaina, cedro y pucaquiro (Tabla 3).

- Propietario : Aureliana Retis Juanan
- Caserío : Huáscar
- Edad cacao : 10 años
- Variedad : CCN 51
- Dist. siembra : 3 m x 2 m

- Producción : 1000 kg/año
- Edad : Se considera variada debido a que hay árboles con edades de 3, 5 y 10 años.
- Dist. siembra : Diferentes distanciamientos como 8 m x 5 m, 3 m x 3 m
- Pendiente : 8%
- Nivel de pH : Fuertemente ácido
- Nivel de MO : Medio
- Nivel de N : Medio
- Nivel de P : Bajo
- Nivel de K : Medio
- Nivel de Ca : Medio
- Nivel de Mg : Bajo

Tabla 3. Coordenadas y altitud de la parcela de cacao asociado a varios árboles.

Cuadrante	Vértice	Este	Norte	Altitud (msnm)
1	1	398184	8973204	729
	2	398186	8973252	695
	3	398235	8973250	738
	4	398233	8973202	728
2	1	398241	8973201	730
	2	398241	8973247	743
	3	398295	8973237	741
	4	398288	8973192	729

PARCELA 04: Cacao y bolaina (Tabla 4)

- Propietario : Miguel Ángel Rueda Atavillos
- Caserío : San Gregorio la Playa
- Edad cacao : 7 años
- Variedad : CCN 51
- Dist. siembra : 3 m x 2 m
- Producción : 500 kg/año

- Edad bolaina : 8 años
- Dist. siembra : 3,5 m x 7,0 m
- Pendiente : 15%
- Nivel de pH : Fuertemente ácido
- Nivel de MO : Medio
- Nivel de N : Medio
- Nivel de P : Bajo
- Nivel de K : Medio
- Nivel de Ca : Medio
- Nivel de Mg : Bajo

Tabla 4. Coordenadas y altitud de la parcela de cacao asociado a bolaina.

Cuadrante	Vértice	Este	Norte	Altitud (msnm)
1	1	399186	8975865	694
	2	399149	8975879	698
	3	399130	8975836	738
	4	399175	8975820	731
	0	399157	8975842	725
2	1	399126	8975848	747
	2	399085	8975880	740
	3	399076	8975827	753
	4	399112	8975807	752
	0	399099	8975847	743
3	1	399035	8975807	769
	2	398995	8975837	778
	3	398989	8975784	787
	4	399020	8975761	785
	0	399011	8975794	779

3.2. Materiales y equipo

3.2.1. Unidad de análisis

Estuvo constituida por una parcela de sistema agroforestal en donde el componente agrícola fue el cacao CCN-51 *T. cacao*, dicha unidad presentó dimensiones de 50 m x 50 m, abarcando un área de 2500 m².

3.2.2. Materiales y herramientas

Se consideró una ficha de registros de datos (formato de evaluación), una palana recta para la obtención de las muestras de suelo con dimensiones de 30 x 30 x 30 cm (ancho, largo y profundidad), colador, machete, lima triangular, wincha de 5 m, cinta métrica de 50 m para la delimitación del terreno en cada sistema agroforestal, bolsas de polietileno 16 x 19 cm, plumón indeleble para codificar las muestras, costales para la separación de muestras y el traslado, sobres de manila tamaño medio oficio, cinta métrica para la medición de circunferencia de los fustes en las especies forestales, pintura esmalte color naranja para la codificación de las especies forestales, lapicero para el registro de datos, tablero para colocar los formatos, conos de rafia para la delimitación de la parcela y jalones.

3.2.3. Equipos

Entre los equipos, se consideró su uso de la cámara fotográfica para la captura de imágenes en la fase de campo y laboratorio, una brújula para orientar la parcela de análisis y su posterior elaboración de un mapa de ubicación y de dispersión, receptor GPS para obtener las coordenadas específicas de las parcelas analizadas y para el caso del laboratorio se empleó la estufa con la finalidad de secar las muestras del sistema radicular y una balanza de precisión para obtener la biomasa solicitada.

3.3. Aspectos del estudio

3.3.1. Variables consideradas en el estudio

De acuerdo a Supo (2014), para un nivel de investigación de tipo explicativo, las variables pueden ser:

- La variable independiente (X), que estuvo constituida por los cuatro sistemas agroforestales con *T. cacao*.
- La variable dependiente (Y) que estuvo constituida por la biomasa de raíces muestreadas hasta una profundidad de 30 cm sobre el suelo.

3.3.2. Diseño de la investigación a nivel explicativo

A pesar de que la investigación no presentaba manipulación deliberada de las variables independientes (Sistemas agroforestales), se midió las variables dependientes (biomasa de raíces), existiendo más de dos grupos de comparación (cuatro sistemas agroforestales), el diseño de la investigación corresponde a al tipo experimental, específicamente a los cuasi experimentos (Hernández et al., 2014).

3.3.3. Determinación del número de muestra

La cantidad de muestra a obtener por cada sistema agroforestal fue de manera direccionada debido a que se consideró como una subunidad de análisis a un monolito de 30 cm x 30 cm x 30 cm y la repetición estuvo conformado por dos a tres subparcelas de 50 x 50 m (Figura 1) de acuerdo al tamaño de las fincas, las cuales otorgaron entre 24 a 36 monolitos por cada sistema agroforestal, y estas estuvieron ubicadas a cada 10 m de distancia.

3.3.4. Muestreo

Se colectó muestras cuadradas de suelo de 30 cm de ancho, 30 cm de largo y 30 cm de profundidad mediante un muestreo sistemático en forma de X, separando cada submuestra con una distancia de 10 m entre ellos (Figura 2), prosiguiendo lo empleado por los autores Keyes y Grier (1981).

Para la ubicación de las unidades de análisis (monolitos con las dimensiones mencionadas) se ha tenido en cuenta el efecto de borde que causan las carreteras cercanas, los caminos, el bosque y otras áreas de plantaciones con asociaciones diferentes a lo considerado en el presente estudio, también se ha tenido en cuenta que esta área sea representativa de la población, realizando su ubicación en el centro de cada sistema agroforestal (una muestra) y dos en los costados (dos muestras). La cantidad de subparcelas o transectos de muestreo fue variable en algunos casos debido a que el tamaño del sistema agroforestal fue diferente para cada asociación.

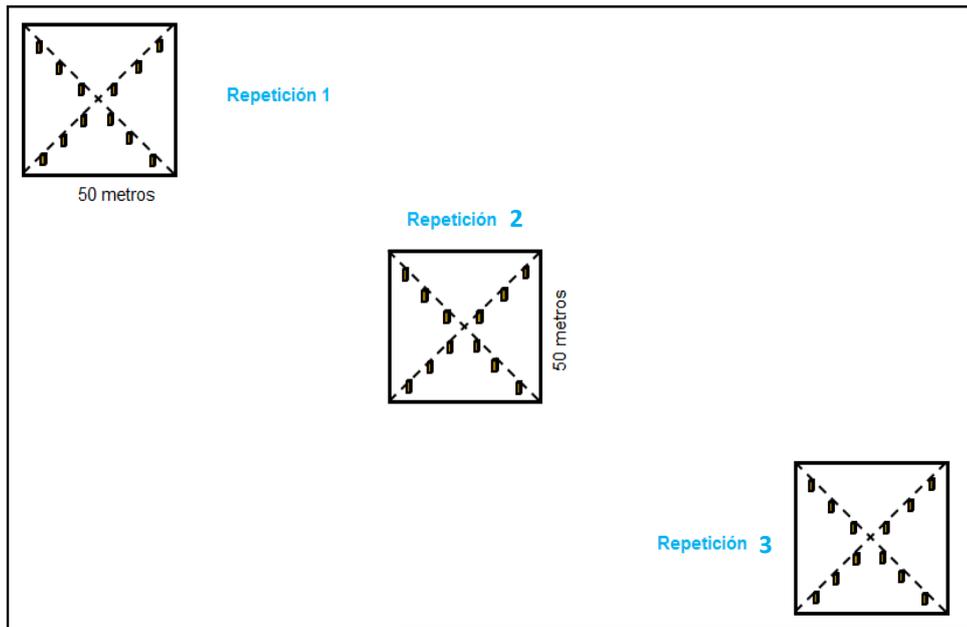


Figura 1. Distribución de las repeticiones (transecto con 12 monolitos) en los sistemas agroforestales.

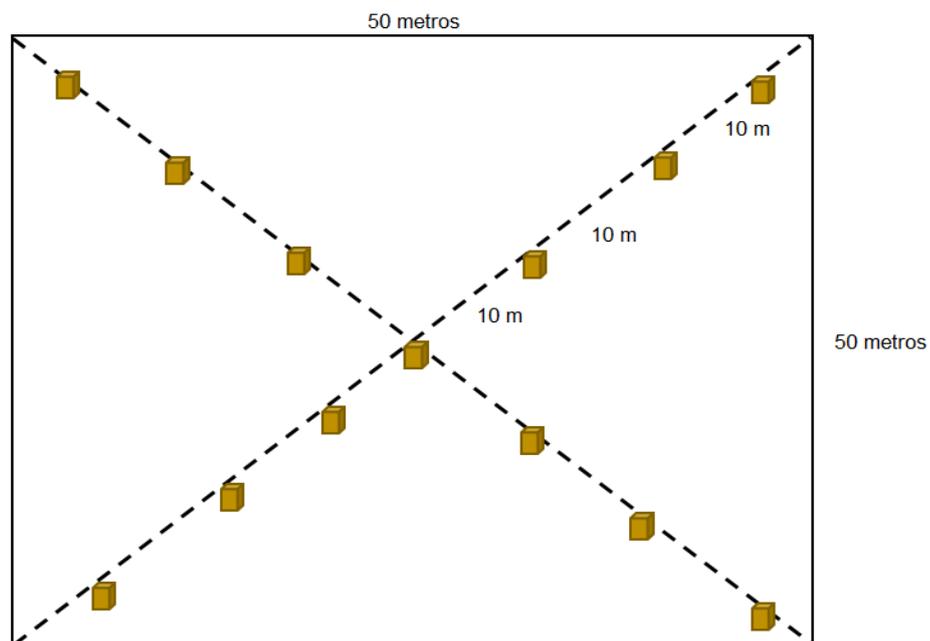


Figura 2. Muestreo sistemático de raíces en una parcela de 50 x 50 m.

3.4. Metodología

3.4.1. Determinación de la biomasa de raíces gruesas (>3,00 mm) en los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando

Con actividad inicial, se realizó las coordinaciones con los propietarios de los predios (sistemas agroforestales) con la finalidad de solicitar la autorización de acceso hacia las

plantaciones para poder realizar la recolección de datos y además se consideró en el presente ítem las coordinaciones sobre la adquisición del GPS, cámara fotográfica y la planificación de la compra de materiales y herramientas para el muestreo.

3.4.1.1. Muestreo del sistema radicular en sistemas agroforestales con *Theobroma cacao* L. (cacao)

Se consideró actividades como la delimitación de los sistemas agroforestales mediante un traqueo empleando el GPS y posteriormente se delimitó la parcela de 50 m x 50 con rafia con la finalidad de ubicar los puntos de muestreos de los monolitos de 30 cm x 30 cm x 30 cm (Figura 3).

Una vez ubicado los puntos de muestreo como se representa en el esquema de la Figura 1, se utilizó una cinta métrica para asignarle las dimensiones de muestreo, luego empleando una pala recta se ha tenido que extraer la tierra con todo el sistema radicular y se les colocó sobre un costal con fines de separar las raíces de la tierra (Figura 3), en dichos monolitos no se realizó la identificación ni la separación de las raíces por especies forestales o agrícolas.



Figura 3. Delimitación (izquierda) y extracción de tierra con raíces (derecha).

Una vez separadas el sistema radicular, se colocó en bolsas de polietileno (Figura 3) con sus respectivos códigos de la parcela, el número de cuadrante y el número de monolito,

siendo posteriormente trasladado a un lugar donde se tenía al alcance agua con el cual se les lavó las raíces para que se les quite en su totalidad las pequeñas porciones de tierra adheridas siendo necesario el uso de un colador.

Una vez limpias las raíces, se les consideró llevar a un lugar libre donde se les puso sobre costales a la intemperie (Figura 4) dejándolas por un periodo de tiempo promedio de 1,0 horas (60 minutos), con fines de que se pierda la gran cantidad de agua retenida en las raíces o en caso de que corteza de las mismas sean muy succulentas ya que de esta manera se evitó llevar muestras saturadas al laboratorio y que perjudicaría a la estufa al secarlo.



Figura 4. Oreo de las raíces a la intemperie.

3.4.1.2. Muestreo de suelos en los sistemas agroforestales

Las muestras de suelos se obtuvieron de los mismos puntos donde se obtuvieron los monolitos con la finalidad de obtener las raíces, de las cuales se juntó las submuestras, mezclándolas hasta alcanzar un peso de 1 kg por cada sistema (Figura 10 del Anexo).

3.4.1.3. Evaluación de los parámetros en los árboles

Actividad referida al conteo de la cantidad de individuos forestales asociados al cultivo de cacao, midiendo el Dap (diámetro a la altura del pecho), estimando la altura total y la altura comercial (Figura 5).



Figura 5. Medición de la circunferencia a 1,30 m en caoba (izquierda) y bolaina (derecha).

3.4.1.4. Fase de laboratorio

El manejo de las raíces se realizó en el Laboratorio de Certificación de Semillas, en donde se ha tenido que separar las raíces gruesas cuyas dimensiones superaron los 3 mm de diámetro, dicha identificación se ejecutó empleando un vernier mecánico; de manera similar se agrupó las raíces con dimensiones menores a 3 mm consideradas como raíces finas, dicho nominación se basó a los criterios indicados por Pavón et al. (2012). Posteriormente, se ha tenido que volver a codificar en sobre manila de tamaño medio oficio a cada muestra del sistema radicular y se colocó en la estufa a una temperatura de 70 °C por un periodo de tres días con el cual posteriormente se obtuvo el peso seco o biomasa mediante el uso de una balanza de precisión donde se ha tenido que descontar el peso del sobre manila.



Figura 6. Identificación de raíces finas y gruesas.

3.4.1.5. Determinación de la biomasa de raíces finas (<3,00 mm) de los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando

Para la biomasa de raíces finas, se consideró los mismos procedimientos del acápite 3.4.1., caracterizándose únicamente al peso seco de las raíces cuyas dimensiones fueron inferiores a los 3,0 mm.

Por otra parte, las muestras de suelos fueron enviados al Laboratorio de análisis de suelos y agua (LASA), ubicado en la localidad de Tingo María en donde determinaron la textura, pH (KCl 1:2,5), conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono, concentración de iones y sales intercambiables como son el sodio, potasio, calcio, magnesio; además de ello se determinó el nitrógeno total.

3.4.1.6. Análisis e interpretación de los datos

Para el análisis de los datos, se procedió a digitalizar los resultados obtenidos en una hoja de cálculo Ms Excel 2010, luego se realizó las verificaciones en caso de ingresar algunos datos erróneos, actividad ejecutada mediante la opción filtro; una vez verificado los datos, se procedió a estimar la biomasa radicular por metro cuadrado y por hectárea debido a que la mayoría de los autores lo consideran sus resultados de sus estudios en estas unidades y se pueda utilizar los presentes resultados en las discusiones respectivas, con esto se finalizó la elaboración de la matriz de datos para posteriormente guardarlo en una carpeta personal.

Una vez que se tenía la matriz de datos, se optó por utilizar el paquete estadístico SPSS v. 25 en donde se abrió y se importó el archivo en Excel para realizar el análisis respectivo de los datos. Se calculó los estadísticos descriptivos (cantidad, mínimo, máximo, promedio y el coeficiente de variación).

Debido a la carencia de normalidad en los datos para algunos sistemas agroforestales, en la contrastación de hipótesis se utilizó el ANVA no paramétrico denominado como el estadístico Kruskal Wallis, mientras que en caso de encontrar significancia estadística, se aceptó la hipótesis concerniente al menos de que uno de los sistemas presentaba media diferente a la variable analizada, siendo identificados los sistemas agroforestales mediante subconjuntos agrupados por la comparación de medias de Duncan a un nivel de confiabilidad del 95%.

3.4.1.7. Elaboración del informe

El informe final de la tesis se realizó luego de la recolección de las variables independientes y dependientes, su respectivo análisis e interpretación, para que mediante el software Ms Word 2010 se procedió a plasmar en un documento final prosiguiendo el esquema y pautas reportadas en la “Normas técnicas para redacción y presentación de documentos científicos” considerado por la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Biomasa de raíces gruesas (>3,00 mm) en los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando

Mayor cantidad de biomasa se reporta en el sistema cacao con guaba, reportando una media de 3,15 tn/ha. Las biomásas representadas por las raíces correspondiente a las especies encontradas en los sistemas agroforestales fueron muy variables (Tabla 5).

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de la biomasa de raíces gruesas (tn/ha) en sistemas agroforestales.

Sistemas de cacao	Nombre científico	N	Mín.	Máx.	Media	CV
Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	36	1,00	7,11	2,49	56,32
Con guaba	<i>I. edulis</i>	36	0,89	15,22	3,15	103,30
Con diversos árboles	<i>C. spruceanum</i> , <i>I. edulis</i> , <i>G. crinita</i> , <i>C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	24	1,00	4,89	2,04	46,66
Con bolaina blanca	<i>G. crinita</i>	24	1,11	5,22	2,81	39,71

N: Cantidad de datos; CV: Coeficiente de variación.

Considerando las estimaciones realizadas por metro cuadrado y por hectárea, se demuestra que no hubo significancia estadística en la biomasa de raíces gruesas para los sistemas agroforestales en estudio (Tabla 6).

Tabla 6. Contrastación de hipótesis de la biomasa de raíces gruesas en sistemas agroforestales.

Variables	H de Kruskal-Wallis	GL	p-valor
Biomasa de la raíz gruesa (kg/m ²)	6,259	3	0,100 ^{ns}
Biomasa de la raíz gruesa (tn/ha)	6,259	3	0,100 ^{ns}

Ns: No existen diferencias estadísticas entre sistemas analizadas.

En la comparación numérica teniendo en consideración los promedios, se muestra que en mayor medida el sistema constituido por el cacao y la guaba reportó una media de 3,1 tn/ha, mientras que en caso del sistema que se encontraban el cacao asociado con diversas

especies forestales como la guaba, bolaina, cedro, pucaquiro, pinochuncho, capirona y shaina obtuvieron la menor media de 2.04 tn/ha; además con las barras de error se muestran la alta variabilidad de los datos (Tabla 7 y Figura 7).

Tabla 7. Comparación de medias de la biomasa de raíces gruesas (tn/ha) en sistemas agroforestales.

OM	Sistemas	Nombre científico	N	Media	Subc.
1	Con guaba	<i>I. edulis</i>	36	3,15	a
2	Con bolaina	<i>G. crinita</i>	24	2,81	a
3	Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	36	2,49	a
4	Con diversos árboles	<i>C. spruceanum, I. edulis, G. crinita, C. odorata y A. cylindrocarpon</i>	24	2,04	a

Letras diferentes demuestran significancia estadística.

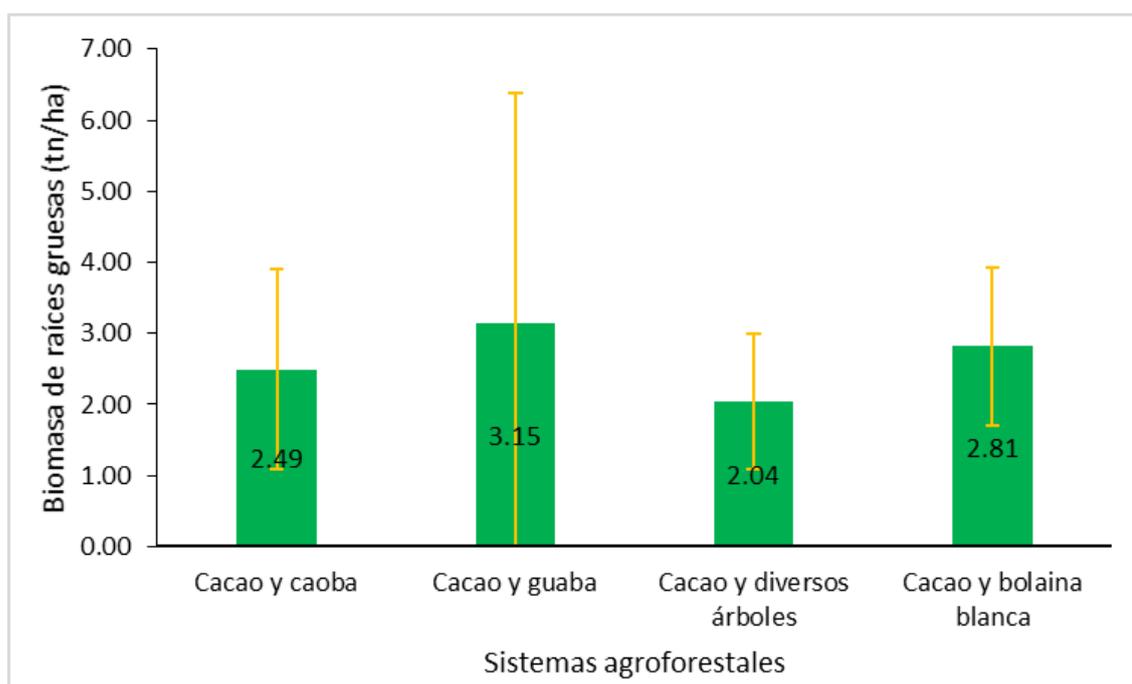


Figura 7. Biomasa de raíces gruesas en sistemas agroforestales con cacao.

El rango de los promedios en la biomasa de raíces gruesas fue superior en la asociación de cacao con guaba con 3,15 tn/ha hasta la mínima de 2,04 tn/ha en el sistema cacao con árboles diversos, muy inferiores a lo reportado por Poveda et al. (2013) en asociaciones con una edad mínima de cinco años encontró 13,8 tn/ha constituida por las raíces gruesas, esta superioridad puede ser atribuida a la diversidad de especies arbóreas que

conforman el dosel de sombra lo cual es característico de los sistemas agroforestales, ya que se consideran el establecimiento o regeneración natural de los distintos árboles, arbustos, palmeras, entre otras especies, que se utilizan de forma deliberada en el mismo sistema de manejo (Nair, 1989), además, posee una característica por su gran capacidad con la finalidad de buscar la optimización de la producción a través de una explotación más diversificada (Arcila et al., 2007).

Los valores registrados en el estudio muestran alta variabilidad de los datos, con valores que alcanzan los 39,71% observado en el sistema constituido por el cacao con la especie forestal bolaina blanca, alcanzando hasta un coeficiente de variación del 103,30% registrado para la asociación del cacao con la guaba, dicha heterogeneidad es referida por Poveda et al. (2013) al encontrar un 52,6% de variabilidad en las raíces gruesas de las asociaciones de cacao con árboles, la ligera superioridad de los valores heterogéneos puede atribuirse a la profundidad de muestreo debido a que el autor en mención realizó el estudio en solo 10 cm sobre el suelo mientras que en caso de la tesis se realizó hasta los 30 cm de profundidad.

Las raíces gruesas casi en su totalidad correspondían a las especies forestales que se encontraban como componente del sistema agroforestal, esto debido a que tienen que soportar a los individuos de gran tamaño con fines de sostener y buscar humedad del suelo, enunciado ratificado por Santantonio (1990), citado por Morales (1997) donde indica que, las raíces leñosas se encuentran asociadas a la función de soporte mecánico de la planta y proveen la red de conducción de las sustancias asimiladas por las raíces finas en distintos micrositos; además de esto, proveen área superficial para el crecimiento de microorganismos, particularmente en la rizósfera, definida como la superficie del suelo bajo la influencia directa de las raíces (Eweis et al., 2000), esta particularidad de las especies de mayor dimensión al cultivo del cacao generaría competencia por nutrientes en el suelo, motivo por el cual ratifica la importancia de conocer más sobre asociación de cultivos agrícolas con especies forestales.

4.2. Biomasa de raíces finas (<3,00 mm) de los cuatro sistemas agroforestales en el distrito Padre Felipe Luyando

La biomasa de raíces finas de los sistemas en estudio, registraron menores valores al encontrarse asociado el cacao con diversas especies forestales alcanzando un valor de 1,52 tn/ha, resaltando también en que dichos valores fueron mucho más homogéneos en comparación a los demás sistemas (Tabla 8).

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la biomasa de raíces finas (tn/ha) en sistemas agroforestales.

Sistemas de cacao	Nombre científico	N	Mín.	Máx.	Media	CV
Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	36	1,22	3,89	2,01	30,79
Con guaba	<i>I. edulis</i>	36	1,11	3,33	1,95	28,63
Con diversos árboles	<i>C. spruceanum</i> , <i>I. edulis</i> , <i>G. crinita</i> , <i>C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	24	1,11	2,00	1,52	15,43
Con bolaina blanca	<i>G. crinita</i>	24	1,11	4,33	2,07	32,71

N: Cantidad de datos; CV: Coeficiente de variación.

En prueba de contrastación de la hipótesis (Tabla 9), las biomásas encontradas en la raíz fina por parte de los sistemas agroforestales reportaron diferencias estadísticas significativas, el cual ratifica que al menos uno de los sistemas en estudio presentaron mayor biomasa radicular.

Tabla 9. Contrastación de hipótesis de la biomasa de raíces finas (tn/ha) en sistemas agroforestales.

Variables	H de Kruskal-Wallis	GL	p-valor
Biomasa de la raíz fina (kg/m ²)	16,072	3	0,001**
Biomasa de la raíz fina (tn/ha)	16,072	3	0,001**

** : Existen diferencias estadísticas entre sistemas analizadas.

En la comparación de medias se generaron dos subconjuntos o grupos bien demarcados, en donde el primer grupo contenía al sistema agroforestal del cultivo de cacao con la especie forestal bolaina blanca, el cacao con la caoba y el cacao con la guaba por reportar estadísticamente los mayores promedios con valores de 2,07, 2,01, 1,95 tn/ha respectivamente, mientras que en caso del segundo grupo lo constituyó el sistema constituido por el cacao con diversas especies forestales alcanzó el menor promedio con 1,52 tn/ha; además, se observa que hubo mucha variabilidad de los datos representados por las barras de error (Tabla 10 y Figura 8).

Tabla 10. Comparación de medias de la biomasa de raíces finas (tn/ha) en sistemas agroforestales.

Mérito	Sistemas	Nombre científico	N	Media	Subc.
1	Con bolaina	<i>G. crinita</i>	24	2,07	a
2	Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	36	2,01	a
3	Con guaba	<i>I. edulis</i>	36	1,95	a
4	Con diversos árboles	<i>C. spruceanum, I. edulis, G. crinita, C. odorata y A. cylindrocarpon</i>	24	1,52	b

Letras diferentes demuestran significancia estadística.

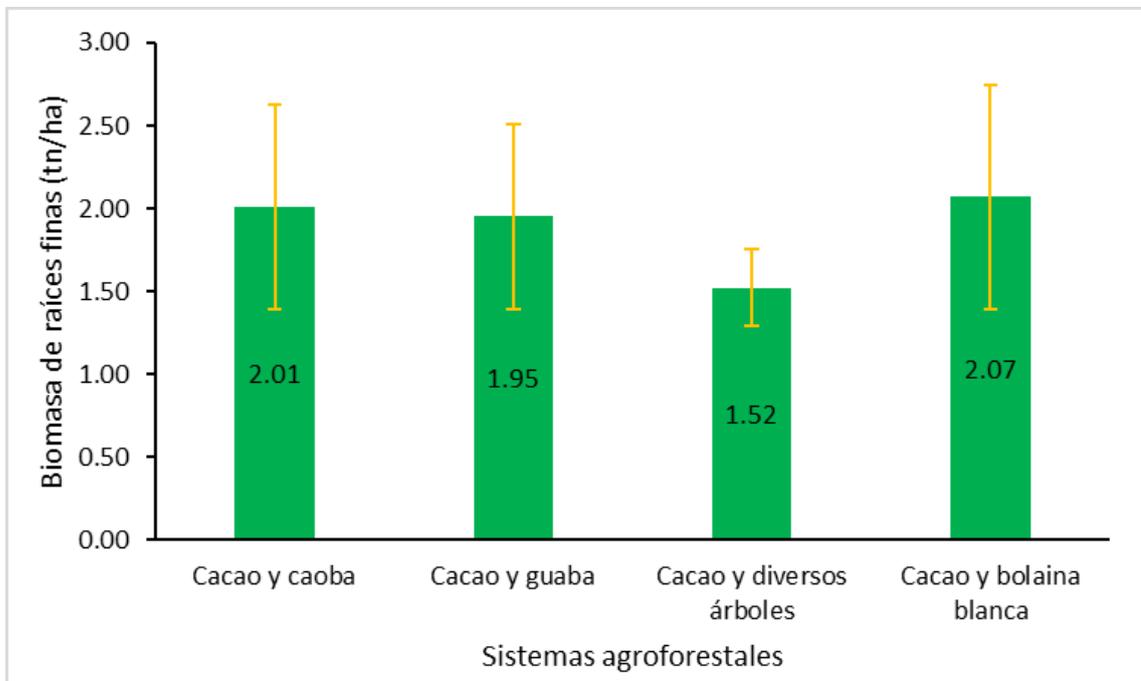


Figura 8. Biomasa de raíces finas (tn/ha) en sistemas agroforestales con cacao.

En caso del sistema agroforestal conformado por el cultivo agrícola cacao con la especie forestal bolaina blanca se obtuvo el mayor promedio con un valor de 2,07 tn/ha, pero las repeticiones mostraron datos muy heterogéneos o variables; además, la cantidad de datos utilizados en el estudio variaron debido que el tamaño global de las plantaciones en estudio fueron diferentes (Tabla 8).

Hubo diferencias estadísticas significativas en la biomasa de raíces finas, en donde el cacao con bolaina blanca fue el que obtuvo mayor biomasa (2,07 tn/ha) y el menor promedio lo reportó el cacao con árboles diversos (1,52 tn/ha), muy cercanos a los 1,3 a 2,4 tn/ha

reportados por Cavalier et al. (1996) que le atribuyó a la edad de una sucesión de bosque con 10 y 20 años, mientras que hay resultados superiores encontrados por Jarvis et al. (2001) en bosques templados con una media de 22 tn/ha, posiblemente atribuido a la mayor humedad en el medio y la elevación del lugar (Mcgroddy y Silver (2000) superior a los lugares donde se ejecutó la tesis, aunque hay divergencias en la humedad del suelo ya que Green et al. (2005) encontraron los valores más bajos de producción de biomasa de raíces finas en el período seco, mientras que, Kavanagh y Kellman (1992) reportan mayor crecimiento de raíces finas en el inicio de la época lluviosa, posiblemente vinculado a la dinámica más acelerada por las especies vegetales ya que les resultaría más factible la asimilación de los nutrientes en el suelo por la humedad existente.

La biomasa de raíces finas fue superior en la asociación de cacao con bolaina blanca con una media de 2,07 tn/ha, muy inferior a los reportes de Poveda et al. (2013) quienes encontraron 7,6 tn/ha de biomasa, pero se encontró alta variabilidad (CV=66,6%) que le fue atribuido a la diversidad de especies arbóreas que presentaban los sistemas estudiados diferenciados por la cantidad de especies en las parcelas, el área basal que representa los fustes de los árboles y la biomasa total, esto es corroborado ya que en la tesis ejecutada se encontró cuadrantes donde se estimaban una densidad de 1414 hasta 1442 árboles de bolaina blanca por hectárea.

Las variabilidades de los resultados fueron altas en los sistemas cacao con caoba y cacao con bolaina blanca con 30,79% y 32,71% del coeficiente de variación respectivamente, valores muy similares a los estudios reportados por los autores Pavón et al. (2012) y Poveda et al. (2013), quienes atribuyen dicho comportamiento a las características como la composición de las diversas especies vegetales existentes en un sistema agroforestal, mientras que, Morales (1997) le considera responsabilidad a la competencia existente entre la misma especie ya que sus raíces necesitan espacio, mientras que otros autores como Alfaro et al. (2001) con Cavalier et al. (1996) refieren dicha variación se encuentra vinculada a la edad que presentan las especies vegetales al analizar una sucesión.

Otra de las diferencias que se les atribuye respecto a los resultados obtenidos son la profundidad de muestreo y el diámetro de las raíces, ya que en la tesis se consideró 30 cm de profundidad y diámetros inferiores a los 3 mm como lo señalan Pavón et al. (2012) y Moreno-Chacón y Lusk (2004), mientras Cavalier et al. (1996), Calvo et al. (2009), Muñoz (2006), Mullins (2011) realizaron estudios con diámetros menores a 2 mm y las profundidades fluctuaron desde los 5 cm hasta 1,0 m.

4.3. Caracterización de los cuatro sistemas agroforestales sobre la biomasa de raíces en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco

4.3.1. Especies forestales de los sistemas agroforestales

4.3.1.1. Altura total

La altura total de los árboles de bolaina blanca fueron más homogéneas, mientras que al instalarse árboles diversos las alturas son muy heterogéneas; el cacao con guaba reportó menor altura total promedio (6,51 m), mientras que al instalarse bolaina se obtuvo mayor promedio (Tabla 11).

Tabla 11. Estadísticos descriptivos de la altura total (m) en los árboles de los sistemas agroforestales.

Sistemas de cacao	Nombre científico	N	Mín.	Máx.	Media	CV
Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	65	4,00	20,00	9,65	38,88
Con guaba	<i>I. edulis</i>	100	2,50	15,00	6,51	36,19
Con diversos árboles	<i>C. spruceanum</i> , <i>I. edulis</i> , <i>G. crinita</i> , <i>C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	64	3,00	25,00	10,20	50,42
Con bolaina	<i>G. crinita</i>	102	7,00	26,00	20,13	19,78

N: Cantidad de datos; CV: Coeficiente de variación.

En el contraste de la hipótesis (Tabla 12), se observa que la variable altura total de las especies forestales como componentes de los sistemas agroforestales fueron diferentes estadísticamente.

Tabla 12. Contrastación de hipótesis de la altura total en los árboles de los sistemas agroforestales.

Variable del árbol	H de Kruskal-Wallis	GL	p-valor
Altura total (m)	202,829	3	<0,001**

** : Existen diferencias estadísticas entre sistemas analizadas.

En la comparación de medias se observa que se generó tres subconjuntos en base a los cuatro sistemas agroforestales en estudio, siendo la primera y con mayor altura total la asociación de cacao con bolaina blanca con una media de 20,13 m, siendo seguido por dos sistemas: cacao con árboles diversos y cacao con caoba con valores de 10,20 y 9,65 m respectivamente, mientras que el tercer grupo lo constituyó la asociación de cacao con guaba que solo reportó una media de 6,51 m, existiendo diferencias estadísticas significativas entre cada subconjunto observado (Tabla 13).

Tabla 13. Comparación de medias de la altura total (m) en los árboles de los sistemas agroforestales.

Mérito	Sistemas	Nombre científico	N	Media	Subc.
1	Con bolaina	<i>G. crinita</i>	102	20,13	a
2	Con diversos árboles	<i>C. spruceanum</i> , <i>I. edulis</i> , <i>G. crinita</i> , <i>C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	64	10,20	b
3	Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	65	9,65	b
4	Con guaba	<i>I. edulis</i>	100	6,51	c

Letras diferentes demuestran significancia estadística.

4.3.1.2. Altura comercial

La altura comercial de los árboles asociados al cacao fueron superiores en la bolaina blanca, mientras que los menores valores se registraron en las plantas de guaba; además, los valores más heterogéneos se encontraron en el sistema que contenía varias especies (Tabla 14).

Tabla 14. Estadísticos descriptivos de la altura comercial (m) en los árboles de los sistemas agroforestales.

Sistemas de cacao	Nombre científico	N	Mín.	Máx.	Media	CV
Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	65	2,00	8,00	4,54	34,04
Con guaba	<i>I. edulis</i>	100	0,80	6,00	2,53	42,72
Con diversos árboles	<i>C. spruceanum</i> , <i>I. edulis</i> , <i>G. crinita</i> , <i>C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	64	1,50	18,00	6,16	62,74
Con bolaina	<i>G. crinita</i>	102	6,00	24,00	17,53	23,51

N: Cantidad de datos; CV: Coeficiente de variación.

Al contrastar la hipótesis (Tabla 15), la variable altura comercial de las especies forestales en los sistemas agroforestales fueron estadísticamente diferentes, el cual ratifica que al menos unas de las especies forestales presentaban mayor dimensión longitudinal respecto a las demás especies forestales.

Tabla 15. Contrastación de hipótesis de la altura comercial en los árboles de los sistemas agroforestales.

Variable del árbol	H de Kruskal-Wallis	GL	p-valor
Altura comercial (m)	243,866	3	<0,001**

** : Existen diferencias estadísticas entre sistemas analizadas.

En la prueba de comparación de medias para la altura comercial por parte de las especies forestales asociadas al cacao, se reportan que hubo cuatro subconjuntos generados, en donde el primer subconjunto lo constituían los árboles de bolaina blanca con una media de 17,53 m, siendo superior estadísticamente a los árboles diversos con una media de 6.16 m, luego estuvo la caoba y finalmente se encontraba la guaba (Tabla 16).

Tabla 16. Comparación de medias de la altura comercial (m) en los árboles de los sistemas agroforestales.

Mérito	Sistemas	Nombre científico	N	Media	Subc.
1	Con bolaina	<i>G. crinita</i>	102	17,53	a
2	Con diversos árboles	<i>C. spruceanum, I. edulis, G. crinita, C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	64	6,16	b
3	Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	65	4,54	c
4	Con guaba	<i>I. edulis</i>	100	2,53	d

Letras diferentes demuestran significancia estadística.

4.3.1.3. Diámetro del fuste

Los valores del diámetro del fuste de las especies asociadas al cultivo del cacao fueron muy variables para los cuatro sistemas; considerando esta apreciación, se registra que los mayores promedios fueron en los individuos de bolaina blanca con un valor de 23,52 cm, a pesar que en el sistema cacao con árboles diversos hubo un individuo que presentaba 58,89 cm de diámetro del fuste que correspondía a un cedro (Tabla 17).

Tabla 17. Estadísticos descriptivos del diámetro de fuste (cm) en los árboles de los sistemas agroforestales.

Sistemas de cacao	Nombre científico	N	Mín.	Máx.	Media	CV
Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	65	4,93	34,38	18,74	41,69
Con guaba	<i>I. edulis</i>	100	7,00	27,37	14,20	32,37
Con diversos árboles	<i>C. spruceanum</i> , <i>I. edulis</i> , <i>G. crinita</i> , <i>C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	64	3,50	58,89	13,09	72,14
Con bolaina	<i>G. crinita</i>	102	8,59	41,70	23,52	24,79

N: Cantidad de datos; CV: Coeficiente de variación.

En el contraste de la hipótesis respecto a la variable diámetro del fuste de las especies forestales en los sistemas agroforestales, se demuestra que hubo diferencias estadísticas significativas, ratificando que al menos una de las especies forestales registraba mayor dimensión del diámetro del fuste (Tabla 18).

Tabla 18. Contratación de hipótesis del diámetro de fuste en los árboles de los sistemas agroforestales.

Variable del árbol	H de Kruskal-Wallis	GL	p-valor
Diámetro del fuste	113,137	3	0,001**

** : Existen diferencias estadísticas entre sistemas analizadas.

Respecto a la comparación de medias, se observa que existen tres subconjuntos diferenciados estadísticamente, siendo el más resaltante los árboles de bolaina blanca con una media de 23,52 cm, siendo seguido por los individuos de la caoba con una media de 18,74 cm (4,78 cm inferior a la media encontrada en la bolaina blanca), mientras que el subconjunto con menores valores lo constituían la guaba y los diversos árboles con medias de 14,20 y 13,09 cm respectivamente, siendo las diferencias respecto al mayor promedio del diámetro en 9.32 cm para la guaba y 10,43 cm en caso de comparar a los árboles diversos que se encontraban en el sistema en estudio (Tabla 19).

Tabla 19. Comparación de medias del diámetro de fuste (cm) en los árboles de los sistemas agroforestales.

Mérito	Sistemas	Nombre científico	N	Media	Subc.
1	Con bolaina	<i>G. crinita</i>	102	23,52	a
2	Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	65	18,74	b
3	Con guaba	<i>I. edulis</i>	100	14,20	c
4	Con diversos árboles	<i>C. spruceanum, I. edulis, G. crinita, C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	64	13,09	c

Letras diferentes demuestran significancia estadística.

4.3.2. Biomasa de raíces en los sistemas agroforestales

Tanto los valores más bajos, así como los más altos se reportaron en el sistema de cacao con guaba, mientras que, en caso de la media se reportó que hubo mayor valor en el sistema de cacao asociado con la guaba por presentar una media de 5,10 tn/ha; en caso de la parcela que reportó menor promedio de la biomasa radicular por hectárea fue el sistema de cacao con diversas especies forestales (Tabla 20).

Tabla 20. Estadísticos descriptivos de la biomasa de raíces (tn/ha) en sistemas agroforestales.

Sistemas	Nombre científico	N	Mín.	Máx.	Media	CV
Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	36	2,44	10,00	4,50	40,79
Con guaba	<i>I. edulis</i>	36	2,11	17,44	5,10	68,29
Con diversos árboles	<i>C. spruceanum, I. edulis, G. crinita, C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	24	2,22	6,89	3,56	29,53
Con bolaina	<i>G. crinita</i>	24	2,22	8,44	4,88	30,40

N: Cantidad de datos; CV: Coeficiente de variación.

La biomasa de las raíces en los sistemas agroforestales fueron estadísticamente diferentes (Tabla 21).

Tabla 21. Contrastación de medias de la biomasa de raíces en sistemas agroforestales.

Variables	H de Kruskal-Wallis	GL	p-valor
Biomasa raíz (kg/m ²)	10,378	3	0,016*
Biomasa raíz (tn/ha)	10,378	3	0,016*

*: Existen diferencias estadísticas entre sistemas analizadas.

En la comparación de medias considerando la biomasa almacenada por hectárea hasta una profundidad de los 30 cm desde la superficie del suelo, se tiene que hubo dos subconjuntos generados, siendo superior estadísticamente en las asociaciones de cacao con guaba y bolaina blanca con medias de 5,10 y 4,88 tn/ha respectivamente; de manera contraria se reportó al sistema cacao con árboles diversos presentó menor promedio con un valor de 3,56 tn/ha y en caso del cacao con caoba presentó significancia estadística intermedia (Tabla 22 y Figura 9). Esta diferencia ratifica que tanto la bolaina como la guaba presentan raíces en mayor abundancia y con mayores diámetros en comparación a las demás especies.

Tabla 22. Comparación de medias de la biomasa de raíces (tn/ha) en sistemas agroforestales.

Mérito	Sistemas	Nombre científico	N	Media	Subc.
1	Con guaba	<i>I. edulis</i>	36	5,10	a
2	Con bolaina	<i>G. crinita</i>	24	4,88	a
3	Con caoba	<i>S. macrophylla</i>	36	4,50	ab
4	Con diversos árboles	<i>C. spruceanum, I. edulis, G. crinita, C. odorata</i> y <i>A. cylindrocarpon</i>	24	3,56	b

Letras diferentes demuestran significancia estadística.

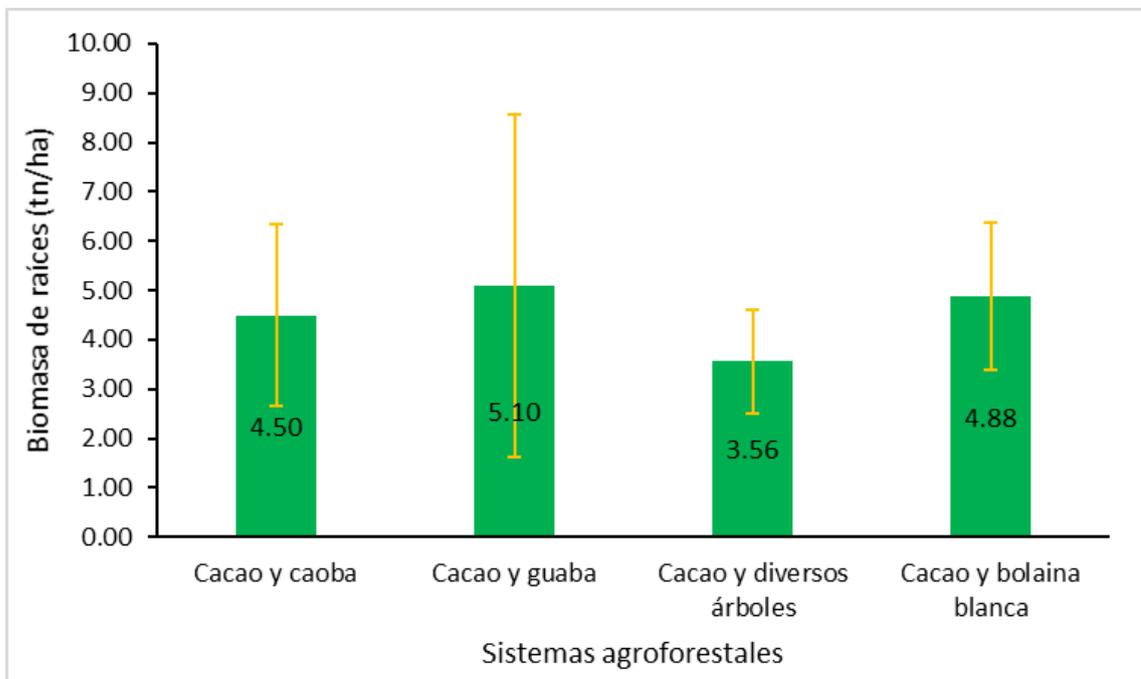


Figura 9. Biomasa de raíces en sistemas agroforestales con cacao.

El sistema de cacao con especies forestales diversos presentó los datos más homogéneos correspondiente a la biomasa de las raíces, mientras que en caso del sistema que

presentaba a la guaba como parte de la sombra se reportó que hubo alta variabilidad de los datos respecto a las repeticiones muestreadas (Tabla 20).

Una de las asociaciones con mayor biomasa radicular fue la de cacao con guaba y cacao con bolaina blanca debido a que aparte de producir cacao se aprovechan a los frutos de la guaba y la madera de la bolaina ya que es una de las características de los sistemas agroforestales (Arcila et al., 2007), y son asociaciones que se están replicando como lo reportado por Chávez y Huamaní (2016) en la provincia de Leoncio Prado, con muy buenos resultados de biomasa en sus componentes de dichos sistemas.

La mayor biomasa de las raíces fue en el sistema cacao con guaba que reportó una media de 5,10 tn/ha, valores muy inferiores a lo encontrado por Poveda et al. (2013) en asociaciones de cacao con árboles con un promedio de 21,4 tn/ha pero alta variabilidad de los datos atribuidos posiblemente a la diversidad arbórea del dosel de sombra (número de especies, densidad, área basal y biomasa), además Vogt et al. (1998) añaden que se debe considerar la fenología de las plantas y determinar la variabilidad de los cambios estacionales en la actividad de las raíces. Además, la variación de los resultados en la biomasa de las raíces se les puede atribuir a las especies forestales asociadas, su distanciamiento de plantación y la edad de los árboles que se atribuyen en variaciones de altura total, altura comercial y el diámetro a la altura del pecho como lo encontrado en los resultados.

4.4. Características del suelo en los cuatro sistemas agroforestales

Los suelos de los sistemas agroforestales en estudio fueron muy similares respecto a la textura, con predominancia de suelos franco arcillosos a excepción del sistema de cacao con guaba que se encontraba en un suelo de textura franca; en el caso de los niveles de pH, todos los sistemas agroforestales registraron suelos fuertemente ácidos; en el caso de la materia orgánica, las asociaciones del cacao con una sola especie forestal presentaron suelos con bajo nivel de materia orgánica y nitrógeno respectivamente; el nivel de fósforo asimilable en los suelos fue bajo para los cuatro sistemas agroforestales; el potasio en dichas muestras de suelos fue en su mayoría de categoría media, a excepción del sistema cacao con caoba que presentó una categoría de baja para dicho elemento; el nivel de calcio en todos los sistemas fue considerado como medio; además, el magnesio en los suelos se encontraban en una categoría baja (Figura 10). De acuerdo a los resultados obtenidos en las propiedades químicas de los suelos correspondientes a los sistemas agroforestales, Pavón et al. (2012) señalan que la biomasa radicular es un indicador funcional del ecosistema ya que atribuye en su mayoría con

la biomasa viva del medio edáfico y también controla sobre los procesos de pedogénesis, en la acumulación del material orgánica y el dinamismo de nutrientes.

Figura 10. Características de los suelos en los sistemas agroforestales.

Muestra	Textura	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg
Cacao y caoba	Franco Arcilloso	Fuertemente ácido 4,53	Bajo 1,44	Bajo 0,07	Bajo 5,56	Bajo 87,33	Medio 3,36	Bajo 1,27
Cacao y guaba	Franco	Fuertemente ácido 5,16	Medio 2,06	Medio 0,10	Bajo 3,85	Medio 123,33	Medio 4,05	Bajo 1,24
Cacao y árboles	Franco Arcilloso	Fuertemente ácido 5,34	Bajo 1,99	Medio 0,10	Bajo 4,74	Medio 127,00	Medio 4,31	Bajo 1,13
Cacao y bolaina	Franco Arcilloso	Fuertemente ácido 5,49	Medio 2,80	Bajo 0,14	Bajo 4,02	Medio 141,33	Medio 4,79	Bajo 1,35

V. CONCLUSIONES

1. La biomasa de raíces gruesas ($>3,00$ mm) por hectárea hasta una profundidad de los 30 cm sobre el ras del suelo no fueron diferentes en los cuatro sistemas en estudio, en donde las medias fueron: Cacao y guaba (3,15 tn), Cacao y bolaina blanca (2,81 tn), Cacao y caoba (2,49 tn) y Cacao con diversos árboles (2,04 tn).
2. La biomasa por hectárea de raíces finas ($<3,00$ mm) de los sistemas en estudio, fueron superiores al asociar el cacao con bolaina blanca (2,07 tn), con caoba (2,01 tn) y con la guaba (1,95 tn).
3. En el cacao, los árboles establecidos presentaron mayores valores en altura total, comercial y diámetro del fuste fue la bolaina blanca con medias de 20,13 m, 17,53 m y 23,52 cm respectivamente; para el caso de la biomasa total de raíces hasta los 30 cm de profundidad, sobresalió estadísticamente el sistema de cacao en asocio con guaba y bolaina blanca con medias de 5,10 y 4,88 tn/ha respectivamente.
4. En caso de las propiedades químicas, los indicadores presentaron en su mayoría categorías de bajo y medio, el cual es característico de los suelos del trópico húmedo como es el caso del distrito enmarcado en el estudio.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Recomendar a las instituciones públicas (UNAS, IIAP, DEVIDA, Agencia Agraria – Huánuco) y privadas (TECHNOSERVE) el establecimiento de sistemas agroforestales donde se utilicen mayor diversidad de especies forestales como parte de la sombra debido a que existirá mayor cantidad de las raíces finas para mejorar la dinámica de los sistemas agroforestales con cacao.
2. Considerar en posteriores estudios la recolección de datos en periodos de estiaje y lluvioso, la cual es característica de la zona en estudio, siendo los meses desde octubre hasta marzo donde hay abundante lluvia y en caso de los demás meses es caracterizada por su baja precipitación.
3. Realizar estudios a nivel relacional con la finalidad de conocer los factores asociados a la densidad, longitud y biomasa de raíces finas para avanzar y ampliar el comportamiento de dicha variable que es de suma importancia para manejar sistemas agroforestales y no tener parcelas muy homogéneas o se acceda al uso de fertilizantes inorgánicos.
4. Proponer la elaboración de un protocolo para el muestreo de raíces acorde a las características de la zona en estudio donde se considera el procedimiento de muestreo, la manera de minimizar los daños ocasionados al realizar el muestreo, la fenología de las plantas en asociación, la estacionalidad entre otros.
5. Realizar estudios con futuros tesis donde se estime la captura de carbono en el componente aéreo de los sistemas agroforestales con cacao, con la finalidad de otorgarle el valor de importancia sobre dicho servicio ambiental.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, E. (2001). *Foro de las América para la Investigación y desarrollo tecnológico (FORAGRO): Un camino hacia su consolidación para la cooperación*. Agricultura con conocimiento, México. 15 p.
- Aldona, H. (1995). *Terranova*. 2 ed. Bogotá, Colombia. p. 392-394.
- Alfaro, E., Alvarado, A., Chaverri, A. (2001). Cambios edáficos asociados a tres etapas sucesionales tropical seco en Guanacaste. *Agronomía Costarricense*, 25(001), 7-19.
- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A.M., Salazar, L.F., Hincapié, E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. *Chinchiná*, Colombia, Cenicafé. 309 p.
- Arias, A. C. (2001). *Suelos tropicales; Agroindustria*. San José, Costa Rica, EUNED. 188 p.
- Baker, T. T., Conner, W. H., Lockaby, B. G., Stanturf, J. A., Burke, M. K. (2001). Fine root productivity and dynamics on a forested floodplain in South Carolina. *Soil Science Society of American Journal*, 65, 545–556.
- Botanical. (2022). *Clasificación de las raíces*. Botanical. <https://sites.google.com/site/botanicalicaro/clasificacion-de-la-raices>
- Bowen, G. D. (1984). *Roots as a component of tree productivity*. In M. G. R. Cannell (Ed.), *Attributes of trees as crop plants* (p. 303–315). Huntingdon: Institute of Terrestrial Ecology.
- Buckman, H., Brady, N. (1991). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Distrito Federal, México, LIMUSA. 590 p.
- Calvo, J., Lawton, R., Arias, O. (2009). *Distribución de biomasa de raíces finas en bosque y pasto en una gradiente ambiental en Costa Rica*. In XVIII Congreso Latinoamérica de la Ciencia de Suelo. San José, Costa Rica 16-20 Nov, 2009.
- Cavalier, J. (1992). Fine root biomass and soil properties in a semideciduous and lower montane rain forest in Panama. *Plant and Soil*, 142, 182-201.
- Cavalier, J., Estevez, J., Arjona, B. (1996). Fine –roots biomass in three successional stages of and Andean Cloud Forest in Colombia. *Biotropica*, 28(4)B, 728-736.

- Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza (CATIE). (2001). *Módulos de enseñanza agroforestal. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. Turrialba, Costa Rica. 187 p.
- Chávez, J.J., Huamaní, H. (2016). *Estimación de almacenamiento de carbono en Sistemas Agroforestales con cacao (Theobroma cacao L.) en Tingo María, Perú* [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://www.unas.edu.pe/web/content/estimaci%C3%B3n-de-almacenamiento-de-carbono-en-sistemas-agroforestales-con-cacao-theobroma-cac-0>
- Concha, J. Y., Alegre, J. C., Pocomucha, V. S. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de san Martín, Perú. *Ecología Aplicada, Lima*, 6(1,2), 75-82.
- Cuesta, P., Villaneda, E. (2010). *El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera*. Tomado del Manual Técnico “Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones Caribe y valles interandinos”. 1-10 p.
- Eweis, J., Ergas, S., Chang, D., Schroeder, E. (2000). *Principios de biorrecuperación: Tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos*. ES, McGraw-Hill.
- Green, J., Dawson, A., Proctor, J., Duff, I., Elston, A. (2005). Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. *Plant and Soil*, 276, 23-32.
- Grzebisz, W., Floris, J., Van Noordwijk, M. (1989). Loss of dry matter and cell contents from fibrous roots of sugar beet due to sampling, storage and washing. *Plant Soil*, 113, 53-57.
- Gutiérrez, B. (2003). *Primer Capítulo del libro Diagnóstico y diseño participativo en sistemas agroforestales*. Cundinamarca, Colombia. s.p.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6 ed. México, McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. 600 p.
- Hertel, D., Leuschner, C., Holscher, D. (2003). Size and structure of fine root systems in old-growth and secondary tropical montane forests (Costa Rica). *Biotropica*, 35(2), 143-153.

- Jackson, R., Mooney, H., Schulze, D. (1997). A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Ecology. National Academy of Sciences*, 94, 7362-7366.
- Jarvis, P. G., Saugier, B., Schulze, E. D. (2001). *Productivity of boreal forests*. In J. Roy, A. Saugier, & H. A. Mooney (Eds.), *Terrestrial global productivity* (p. 211–244). San Diego: Academic Press.
- Jiménez, C. (2004). *Caracterización de la distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en un gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica*. Informe Final de Proyecto de Investigación, Cartago, Costa Rica, ITCR. 39 p.
- Kanninen, M. (2003). *Secuestro de carbón en bosques, su papel en el ciclo global*. [En línea]. FAO, <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s09.htm>
- Kavanagh, T., Kellman, M. (1992). Seasonal pattern of fine root proliferation in a tropical dry forest. *Biotropica*, 24(2a), 157-165.
- Keyes, M. R., Grier, C. C. (1981). Above- and below-ground net production in 40-years-old Douglas-fir on low and high productivity sites. *Canadian Journal of Forest Research*, 11, 599–605.
- Kramer, P. J. (1989). *Relaciones hídricas de suelo y plantas*. Trad. L Tejada. México, Editorial Industrial Mexicana. 538 p.
- Lapeyre, T., Alegre, J., Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Revista Ecología Aplicada*, 3(1-2), 35-44.
- López, B., Sabaté, S., Gracia, C. A. (2001). Vertical distribution of Forest fine root density, length density, area index and mean diameter in a *Quercus ilex* forest. *Tree Physiology*, 21, 555-560.
- Macdiken, K. G. (1997). *A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Arlington, TX, USA: Winrock International.
- Mantagnini, F. (1992). *Sistemas agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, Subsecretaría de Desarrollo rural Dirección General de Apoyo para el Desarrollo Rural, Sistemas agroforestales, Puebla, México. 622 p.

- Mcgroddy, M., Silver, L. (2000). Variations in belowground carbon storage and soil CO₂ flux rates a long a wet tropical climate gradient. *Biotropica*, 32(4a), 614-624.
- Morales, E. (1997). *Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales*. In: Simposio Internacional Posibilidades de Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. CATIE.
- Muñoz, F. (2006). Descomposición y liberación de nutrimentos desde las raíces finas de los sistemas agroforestales de cacao con sombras de poró y laurel, en Turrialba, Costa Rica. *Acta Agron.*, 55(2), 15-22.
- Mullins, S. (2011). *Biomasa de raíces finas en cuatro estadios de sucesión del bosque seco tropical y dos estaciones climáticas, Santa Rosa, Costa Rica*. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5745>
- Nair, P. K. R. (1989). *Agroforestry defined*. In: NAIR, P. K. R. Ed. *Agroforestry systems in the tropics*. Netherlands: Kluwer Academy Publishers.
- Palomeque, F. (2009). *Sistemas agroforestales*. Huehuetán, Chiapas, México. 29 p.
- Pavón, N. P. (2005). Biomass and root production of two plant life forms in a semiarid Mexican scrub: Responses to soil nitrogen availability. *Canadian Journal of Botany*, 83, 1317–1321.
- Pavón, N. P., Moreno, C. E., Ramírez-Bautista, A. (2012). Biomasa de raíces en un bosque templado con y sin manejo forestal en Hidalgo, México. *Revista Chapingo*, 18(3), 303-312.
- Pérez, C., Armesto, J. J., Ruthsatz, B. (1991). Descomposición de hojas, biomasa de raíces y características de los suelos en bosques mixtos de coníferas y especies laurifoliadas en el Parque Nacional Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 64, 479-490.
- Poveda, V., Orozco, L., Medina, C., Cerda, R., López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas, Turrialba*, 49, 42-50.
- Pritchett, W. (1986). *Suelos forestales: Propiedades, conservación y mejoramiento*. México, LIMUSA. 213-233 p.

- Ramírez, W. (2000). *Manejo se sistemas agroforestales*. Instituto Nacional Autónomo de Investigadores Agropecuarios (INIAP), Boletín Técnico, Ecuador.
- Santantonio, D. (1980). *Seasonal dynamics of fine roots in mature stands of Douglas-fir of different water regimens – A preliminary report*. In A. Riedacker, & J. Gagnaire-Michard (Eds.), *Symposium: Root physiology and symbiosis*, Nancy (p. 190–203). Seichamps, France: Centre Nationale de Recherches Forestières.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Lima). 2000. *Datos Hidrometeorológicos en Huánuco*. Lima, Perú, SENAMHI. [En línea]. Senamhi. <https://senamhi.gob.pe/main.php?dp=huanuco&p=estaciones>
- Sierra, C., Del Valle, J., Orrego, S. (2001). *Ecuaciones de biomasa y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales maduros y tropicales de Colombia*. En: *Simposio internacional de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*.
- Suárez, C., Moreira, M., Vera, J. (1993). *Manual del cultivo de cacao*. 2 ed. Quevedo, Ecuador, INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias), Estación Experimental Tropical Pichilingue. Manual N° 25. 135 p.
- Supo, J. (2014). *Seminarios de investigación científica: Metodología de la investigación para las ciencias de la salud*. 2 ed. Bioestadístico EIRL. Arequipa, Perú.
- Timoteo, K., Remuzgo, J., Valdivia, L. A., Sales, F., García, D., Abanto, C. (2016). Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia Amazónica*, 25(1), 45-54.
- Trumbmore, S., Davidson, E., Nepstap, D., Martinelli, L. (1995). *Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia*. *Global biogeochemical cycles*. [En línea]. FAO. www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm
- Vanninen, P., Makela, A. (1999). Fine root biomass of Scots pine stands differing in age and soil fertility in southern Finland. *Tree physiology*, 19, 823-830.
- Vázquez, L. (2004). *El manejo agroecológico de la finca. Una estrategia para la prevención y disminución de afectaciones por plagas agrarias* ed. ACTAF Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal.
- Vera, B. (1993). *Material de siembra y propagación*. In *manual del cultivo de cacao*. 2 ed. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. p. 24-37.

Vogt, A., Vogt, J., Bloomfield, J. (1998). Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forest at an ecosystem level. *Plant and Soil*, 200, 71-89.

ANEXOS

Anexo A. Matriz de datos

Tabla 23. Matriz de datos de los árboles en diferentes sistemas agroforestales.

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
1	1	399902	8971697	737	6	3	39,5
1	1	399913	8971706	739	7	4	38
1	1	399923	8971712	731	9	4	63,5
1	1	399914	8971721	739	10	5	65
1	1	399921	8971719	737	5	2,3	18
1	1	399917	8971729	739	14	5	65
1	1	399926	8971728	728	7	3	38
1	1	399925	8971729	739	12	7	64
1	1	399930	8971729	738	14	6	87,5
1	1	399933	8971733	739	7	3	47
1	1	399929	8971724	733	16	6	104
1	1	399929	8971711	730	6,5	4	32
1	1	399925	8971699	730	4,5	2	33,5
1	1	399924	8971691	731	17	5	104,5
1	1	399935	8971693	720	4	3	21,5
1	1	399937	8971703	724	11	3,5	70
1	1	399943	8971719	726	12	4	97,5
1	1	399942	8971727	735	8	5	48
1	1	399951	8971723	731	8	6,5	46,5
1	1	399956	8971718	729	10	6	105,5
1	1	399966	8971721	726	11	6	89
1	1	399962	8971709	718	7	4	45,5
1	1	399951	8971712	722	10	6	75,5
1	1	399946	8971702	718	12	4	94
1	1	399955	8971696	721	8	4,5	74,5
1	1	399945	8971687	722	9	3	55
1	2	399894	8971702	640	8	5	48

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
1	2	399882	8971702	741	6	2,5	49
1	2	399884	8971693	740	6	3	31
1	2	399884	8971682	741	5	2,5	30
1	2	399884	8971672	739	7	2,5	46
1	2	399873	8971672	742	4	2	24
1	2	399875	8971681	741	8	3	40,5
1	2	399871	8971702	741	7	3	44,5
1	2	399861	8971710	741	12	4,5	81,5
1	2	399860	8971700	741	10	3	56
1	2	399863	8971684	743	11	6	65,5
1	2	399867	8971675	742	8	5	54
1	2	399858	8971673	743	15	7	68
1	2	399855	8971693	743	7	3,5	60
1	2	399852	8971709	742	12	6	74
1	2	399849	8971700	742	8,5	4,5	45
1	2	399844	8971689	743	10	6	76,5
1	2	399847	8971679	744	13	7	94
1	2	399837	8971673	743	7,5	5	47
1	3	399932	8971624	709	12,5	4,5	86
1	3	399939	8971649	723	13	6	84
1	3	399948	8971654	731	8	4	54
1	3	399943	8971660	716	6	3	27
1	3	399945	8971661	717	6	4	28
1	3	399936	8971665	727	18	4,5	101
1	3	399925	8971673	734	12	6	57
1	3	399915	8971671	728	8	3	50
1	3	399928	8971647	737	18	4,5	78
1	3	399923	8971647	730	12	6	73
1	3	399919	8971643	729	10	6	53
1	3	399917	8971639	738	13	8	66

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
1	3	399903	8971650	738	8	4	36,5
1	3	399910	8971646	736	5	3,5	18
1	3	399906	8971658	729	4,5	3	22
1	3	399919	8971656	739	20	6	108
1	3	399918	8971666	732	13	7	65
1	3	399908	8971673	734	14	7	78
1	3	399909	8971674	731	12	7	70
1	3	399909	8971677	738	4	2	15,5
2	1	390307	8983221	625	8	2	50
2	1	390307	8983221	625	7,5	3,5	40
2	1	390310	8983220	623	10	6	56,5
2	1	390314	8983224	625	11	3	57,5
2	1	390319	8983222	629	13	4	51
2	1	390320	8983226	634	11	2	78
2	1	390307	8983235	627	7	1,2	54
2	1	390302	8983233	628	6,5	4	41,5
2	1	390302	8983233	628	8	3	45,5
2	1	390304	8983247	630	8	2,5	86
2	1	390292	8983253	627	15	2,5	70
2	1	390293	8983261	629	7	4	42
2	1	390296	8983263	629	7	6	53,5
2	1	390307	8983266	626	7,5	4	50
2	1	390307	8983266	626	8	3	48,5
2	1	390302	8983258	628	12	2,5	83
2	1	390306	8983255	626	8,5	5	53
2	1	390311	8983258	630	8	3	57,5
2	1	390311	8983258	630	10	2,5	68
2	1	390314	8983251	625	9	3	79
2	1	390316	8983242	626	8,5	3,5	64
2	1	390327	8983235	625	6	3	49,5

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
2	1	390325	8983227	627	6	3,5	40
2	1	390334	8983232	626	5	2,5	34,5
2	1	390337	8983240	627	10	6	51,5
2	1	390334	8983248	628	6,5	3,5	36
2	1	390331	8983246	629	7	2	47,5
2	1	390328	8983251	629	14	4	82,5
2	1	390319	8983260	630	8	1,5	61
2	1	390319	8983267	630	6,5	2,5	46
2	1	390331	8983270	629	7	1,5	64,5
2	1	390339	8983271	630	8	3	68,5
2	1	390334	8983262	631	10	1,5	74
2	1	390332	8983258	630	7	1,5	54,5
2	1	390343	8983247	632	7	3,5	61
2	2	390320	8983280	634	6	3,5	41
2	2	390320	8983288	634	6	2	45,5
2	2	390325	8983281	643	5	2,5	36
2	2	390325	8983289	631	6	2	47,5
2	2	390323	8983295	628	3	1	30
2	2	390320	8983295	625	6	1,5	44
2	2	390315	8983303	628	5,5	1,5	42,5
2	2	390315	8983309	627	7	3	34
2	2	390313	8983308	631	4	1	28,5
2	2	390307	8983322	644	5	3	47,5
2	2	390314	8983318	632	6	3	30
2	2	390312	8983322	639	4,5	2	33,5
2	2	390306	8983327	638	4	2,5	40,5
2	2	390321	8983320	624	5	2	35
2	2	390333	8983328	626	7	3	48,5
2	2	390338	8983326	626	3,5	1,4	28,5
2	2	390338	8983326	626	2,5	1,5	26,5

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
2	2	390342	8983318	628	6,5	1,4	66
2	2	390338	8983311	633	6	1,5	42,5
2	2	390330	8983313	629	3,5	1	35,5
2	2	390325	8983310	629	5,5	1	31,5
2	2	390325	8983310	629	6	1,5	34
2	2	390325	8983310	629	5	3,5	38
2	2	390326	8983299	629	6	3	28
2	2	390326	8983299	629	6,5	2,5	33
2	2	390324	8983296	632	6	1	30
2	2	390331	8983289	629	5	1,5	45,5
2	2	390338	8983288	629	6	4	22
2	2	390343	8983292	629	3	2,5	35,5
2	2	390348	8983295	631	6	1	46
2	2	390351	8983289	628	6	2,5	50,2
2	2	390344	8983287	632	3,5	1,5	22
2	3	390365	8983319	646	4	1	33,1
2	3	390366	8983320	633	3	1,5	22,5
2	3	390365	8983326	639	2,5	1,5	28,5
2	3	390362	8983332	631	5	2	42
2	3	390368	8983326	631	5,5	1,4	50
2	3	390372	8983334	631	5	2	33
2	3	390372	8983334	631	4,5	3,5	29
2	3	390372	8983340	632	3,5	2,5	26,5
2	3	390370	8983343	626	3,5	0,8	26
2	3	390359	8983346	632	6	2	50,8
2	3	390354	8983357	639	5,5	3,5	46
2	3	390364	8983356	648	7	2,5	48,5
2	3	390373	8983351	638	6	2	35
2	3	390374	8983344	633	5	2	28,5
2	3	390389	8983352	630	8	3,5	60

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
2	3	390393	8983360	631	8	3,5	39,5
2	3	390397	8983346	638	9	2	49,5
2	3	390393	8983341	633	10	2,5	50
2	3	390383	8983340	636	6	2,5	29,5
2	3	390383	8983340	636	6	3	27
2	3	390376	8983340	635	6	2	36
2	3	390376	8983340	635	6	3,5	34,7
2	3	390380	8983334	642	7	2,5	48
2	3	390381	8983331	632	7	3	34
2	3	390393	8983331	642	5	2	34
2	3	390398	8983323	639	4	2	46
2	3	390393	8983326	635	6,5	3	53
2	3	390386	8983319	634	4,5	2	36,5
2	3	390381	8983322	634	3,5	1,5	30,2
2	3	390376	8983323	633	4	2	33,5
2	3	390373	8983323	633	5	2,5	40,5
2	3	390361	8983320	633	7	3	42
2	3	390361	8983320	633	7,5	3,5	39
3	1	398205	8973250	691	12	5	68
3	1	398234	8973249	735	21	18	47,5
3	1	398235	8973244	735	6	3,5	40
3	1	398229	8973246	737	13	7	53
3	1	398199	8973246	740	5	3	33
3	1	398192	8973241	740	8	5	20
3	1	398194	8973241	739	4	2	12
3	1	398199	8973244	738	7	4	23
3	1	398212	8973240	737	14	9	52,5
3	1	398214	8973240	736	18	12	63,5
3	1	398229	8973233	734	14	6	53,5
3	1	398222	8973232	735	13	8	44

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
3	1	398225	8973227	733	14	6	78,5
3	1	398214	8973228	735	12	5	46
3	1	398201	8973235	736	12	6	38
3	1	398197	8973234	738	3,5	2	11
3	1	398202	8973223	734	5	3	17
3	1	398205	8973220	733	7	3	37,5
3	1	398208	8973221	733	8	5	24,5
3	1	398217	8973224	733	5	2,5	17,5
3	1	398230	8973218	730	13	8	44
3	1	398217	8973218	733	4	3,5	16,5
3	1	398205	8973218	731	10	5	25
3	1	398184	8973216	733	4	2	22
3	1	398185	8973210	730	5	2,5	24,5
3	1	398184	8973205	729	3	1,5	18,5
3	1	398187	8973206	729	15	4	81
3	1	398193	8973205	729	4	2	17
3	1	398194	8973214	732	14	5	80,5
3	1	398202	8973212	732	7	4	22
3	1	398203	8973207	729	14	10	37,5
3	1	398209	8973207	729	10	6	22
3	1	398208	8973203	730	5	3	16,5
3	1	398215	8973202	729	14	12	32
3	1	398223	8973200	728	15	6	113
3	1	398222	8973208	730	18	12	61
3	1	398226	8973210	729	9	5	21
3	1	398229	8973201	728	13	11	31
3	2	398242	8973204	734	17	14	52
3	2	398242	8973199	734	8	6	29,5
3	2	398246	8973197	733	5	3	22
3	2	398248	8973197	733	15	10	57,5

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
3	2	398256	8973199	733	14	12	54,5
3	2	398256	8973203	733	12	8	31,5
3	2	398255	8973207	735	12	10	33
3	2	398259	8973201	735	14	8	54
3	2	398263	8973196	733	5	3	18,5
3	2	398268	8973196	733	9	4	32,5
3	2	398274	8973194	733	5	2,5	18,5
3	2	398277	8973195	733	12	5	79,5
3	2	398283	8973190	733	22	14	185
3	2	398284	8973189	732	8	6	33,5
3	2	398289	8973186	734	6	3	21,5
3	2	398290	8973214	741	12	7	66
3	2	398279	8973234	741	5	3	17,5
3	2	398273	8973237	741	5	2	15,5
3	2	398271	8973241	742	4	3	15
3	2	398267	8973236	740	5	3	18
3	2	398263	8973239	741	17	12	52,5
3	2	398263	8973229	739	6	2	26
3	2	398267	8973229	739	5	3	17,5
3	2	398248	8973240	743	12	10	36,5
3	2	398250	8973246	745	25	15	114,5
3	2	398249	8973255	746	14	8	64,5
4	1	399179	8975869	727	22	18	73
4	1	399178	8975865	727	22	20	75
4	1	399179	8975861	728	21,5	20	71
4	1	399178	8975858	729	15	12	66
4	1	399178	8975856	730	18	15	84,5
4	1	399177	8975853	731	17	15	77
4	1	399176	8975851	732	17,5	16	74,5
4	1	399172	8975840	736	16	12	106,5

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
4	1	399171	8975845	735	12	11	42,5
4	1	399170	8975847	734	22	20	82,5
4	1	399171	8975854	734	24	22	72,5
4	1	399170	8975854	733	23	20	77
4	1	399171	8975857	732	23,5	22	65,5
4	1	399171	8975858	733	25	24	64,5
4	1	399171	8975861	732	22,5	20	71,5
4	1	399174	8975869	731	20	18	64,5
4	1	399172	8975869	732	20	18	72
4	1	399168	8975867	732	21,5	20	67
4	1	399166	8975862	735	16	15	49,5
4	1	399164	8975858	736	21,5	20	78
4	1	399164	8975854	737	23	22	70
4	1	399164	8975850	738	23,5	22	72,5
4	1	399163	8975847	738	23	18	97,5
4	1	399159	8975851	738	26	24	87
4	1	399160	8975853	738	24	22	90
4	1	399160	8975858	738	19	18	47,5
4	1	399161	8975862	737	18	15	56
4	1	399163	8975862	736	23	22	86,5
4	1	399162	8975866	736	13	12	45
4	1	399162	8975872	735	20	18	65,5
4	1	399162	8975873	735	22	20	73
4	1	399158	8975870	737	21	18	73,5
4	1	399159	8975867	738	24	22	76,5
4	1	399154	8975863	740	22,5	21	60
4	1	399153	8975861	741	23,5	22	79,5
4	1	399151	8975855	742	25	22	86
4	1	399143	8975832	752	14	13	65,5
4	1	399146	8975864	741	23	20	97,5

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
4	1	399147	8975866	740	23	21	83,5
4	1	399149	8975873	739	22	21	78,5
4	1	399148	8975875	738	19,5	16	80
4	1	399145	8975876	739	17	14	53
4	1	399142	8975871	741	20	15	87,5
4	1	399142	8975868	742	22	20	64
4	1	399142	8975865	744	21	15	106,5
4	1	399137	8975836	754	19	16	69,5
4	1	399139	8975834	755	17	15	48,5
4	1	399130	8975839	754	23	20	89,5
4	1	399130	8975838	754	7	6	27
4	1	399136	8975870	746	24	22	67
4	1	399137	8975880	741	21	17	109,5
4	1	399133	8975875	744	15	12	106,5
4	2	399119	8975844	755	17	15	58,5
4	2	399118	8975843	756	15	13	52
4	2	399118	8975841	757	17	15	72
4	2	399118	8975835	758	23	20	65,5
4	2	399118	8975833	758	20	18	70,5
4	2	399117	8975831	761	22	18	78,5
4	2	399118	8975826	762	22	18	65,5
4	2	399118	8975825	761	22	20	65
4	2	399115	8975821	763	23	21	81,5
4	2	399115	8975818	764	21,5	19	76,5
4	2	399114	8975816	763	21,5	20	65,5
4	2	399113	8975810	765	22	20	71
4	2	399113	8975806	767	23	21	74
4	2	399107	8975806	767	19	16	80,5
4	2	399106	8975812	766	21	18	84,5
4	2	399105	8975816	765	15	12	49

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
4	2	399110	8975831	759	20,5	18	74,5
4	2	399112	8975835	758	19	17	73
4	2	399112	8975839	758	13	9	59
4	2	399112	8975842	757	13	10	51,5
4	2	399112	8975847	755	19	12	114
4	2	399113	8975852	753	24	20	92
4	2	399109	8975860	754	25	22	94
4	2	399110	8975856	755	26	23	76,5
4	2	399108	8975853	756	23,5	20	70,5
4	2	399109	8975851	757	17	15	36
4	2	399108	8975850	757	24	22	67
4	2	399109	8975847	757	16	14	40
4	2	399106	8975837	758	22	20	80
4	2	399105	8975842	741	13	10	74
4	2	399104	8975848	739	16	14	88
4	2	399103	8975849	740	23	20	87
4	2	399103	8975854	737	24	22	78
4	2	399103	8975853	738	25	22	85
4	2	399107	8975861	736	14	12	49
4	2	399107	8975866	735	19	16	82
4	2	399103	8975865	737	25	22	78,5
4	2	399102	8975865	738	24,5	22	69
4	2	399102	8975862	738	24	21	84
4	2	399100	8975859	740	23	20	53,5
4	2	399097	8975844	745	22	18	131
4	2	399096	8975829	748	15	10	109
4	2	399088	8975825	749	16	12	95,5
4	2	399092	8975860	740	25	22	90,5
4	2	399094	8975865	739	22	20	74,5
4	2	399094	8975868	739	14	12	39,5

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
4	2	399086	8975880	739	19	15	92,5
4	2	399085	8975869	744	24	18	111,5
4	2	399084	8975869	744	11	8	44
4	2	399085	8975861	745	11	7	48,5
4	3	399030	8975798	773	17	7	135,5
4	3	399028	8975795	776	18	14	114
4	3	399025	8975784	779	14	8	121,5
4	3	399021	8975774	782	11	5	98,5
4	3	399020	8975770	784	14	7	118
4	3	399017	8975772	783	8	6	88
4	3	399017	8975775	782	16	12	114
4	3	399019	8975797	779	15	9	120,5
4	3	399017	8975797	781	14	6	102,5
4	3	399011	8975781	784	17	10	75
4	3	399009	8975779	787	19	12	133,5
4	3	398995	8975784	787	17	10	122,5
4	3	398992	8975800	784	16	13	94,5
4	3	398994	8975801	782	21	10	122
4	3	399007	8975805	780	24	18	117,5
4	3	399012	8975805	779	25	20	94,5
4	3	399016	8975806	778	26	20	98
4	3	399017	8975808	777	22	11	90,5
4	3	399027	8975809	776	8	9	88,5
4	3	399020	8975816	776	18	12	83
4	3	399016	8975815	777	21,5	18	107
4	3	399010	8975815	779	26	20	121
4	3	399005	8975813	781	21	14	119,5
4	3	398999	8975812	782	15	12	97
4	3	398995	8975818	781	12	9	50,5
4	3	399002	8975822	780	15	8	110,5

Sistema	Cuadrante	Este	Norte	Altitud (msnm)	HT (m)	HC (m)	Circ. (cm)
4	3	399010	8975823	778	16	7	102,5
4	3	398995	8975825	780	14	11	56,5

HT: Altura total en metros; HC: Altura comercial en metros; Circ.: Circunferencia del fuste a 1,30 m sobre el suelo.

Tabla 24. Matriz de datos del peso fresco y biomasa de raíces en diferentes sistemas agroforestales.

Sistema	C	D	M	PFRF (g)	BRF (g)	BRF (tn/ha)	PFRG (g)	BRG (g)	BRG (tn/ha)
1	1	1	1	30	26	2,89	72,00	64,00	7,11
1	1	1	2	28	26	2,89	29,00	27,00	3,00
1	1	1	3	23	21	2,33	27,00	23,00	2,56
1	1	1	4	24	21	2,33	34,00	29,00	3,22
1	1	1	5	39	35	3,89	27,00	24,00	2,67
1	1	1	6	21	19	2,11	29,00	25,00	2,78
1	1	2	1	14	11	1,22	14,00	12,00	1,33
1	1	2	2	14	13	1,44	12,00	9,00	1,00
1	1	2	3	17	14	1,56	14,00	13,00	1,44
1	1	2	4	26	24	2,67	17,00	16,00	1,78
1	1	2	5	25	23	2,56	51,00	46,00	5,11
1	1	2	6	15	12	1,33	16,00	13,00	1,44
1	2	1	1	16	14	1,56	13,00	12,00	1,33
1	2	1	2	14	13	1,44	18,00	16,00	1,78
1	2	1	3	14	13	1,44	21,00	19,00	2,11
1	2	1	4	15	14	1,56	15,00	14,00	1,56
1	2	1	5	13	12	1,33	14,00	12,00	1,33
1	2	1	6	15	13	1,44	12,00	11,00	1,22
1	2	2	1	25	24	2,67	64,00	58,00	6,44
1	2	2	2	14	13	1,44	18,00	16,00	1,78
1	2	2	3	17	16	1,78	23,00	21,00	2,33
1	2	2	4	19	17	1,89	32,00	29,00	3,22
1	2	2	5	17	16	1,78	15,00	14,00	1,56

Sistema	C	D	M	PFRF (g)	BRF (g)	BRF (tn/ha)	PFRG (g)	BRG (g)	BRG (tn/ha)
1	2	2	6	15	14	1,56	22,00	20,00	2,22
1	3	1	1	16	15	1,67	31,00	28,00	3,11
1	3	1	2	25	22	2,44	18,00	16,00	1,78
1	3	1	3	15	15	1,67	14,00	12,00	1,33
1	3	1	4	18	18	2,00	25,00	23,00	2,56
1	3	1	5	20	19	2,11	14,00	12,00	1,33
1	3	1	6	16	14	1,56	17,00	15,00	1,67
1	3	2	1	23	21	2,33	14,00	13,00	1,44
1	3	2	2	30	28	3,11	38,00	33,00	3,67
1	3	2	3	25	23	2,56	36,00	32,00	3,56
1	3	2	4	20	18	2,00	33,00	30,00	3,33
1	3	2	5	13	12	1,33	20,00	18,00	2,00
1	3	2	6	23	21	2,33	37,00	33,00	3,67
2	1	1	1	23	18	2,00	39,00	20,00	2,22
2	1	1	2	23	19	2,11	76,00	36,00	4,00
2	1	1	3	24	18	2,00	11,00	9,00	1,00
2	1	1	4	38	30	3,33	78,00	38,00	4,22
2	1	1	5	16	12	1,33	27,00	17,00	1,89
2	1	1	6	19	18	2,00	27,00	18,00	2,00
2	1	2	1	37	27	3,00	246,00	108,00	12,00
2	1	2	2	32	27	3,00	33,00	22,00	2,44
2	1	2	3	17	14	1,56	14,00	12,00	1,33
2	1	2	4	26	20	2,22	33,00	19,00	2,11
2	1	2	5	19	16	1,78	24,00	15,00	1,67
2	1	2	6	25	20	2,22	355,00	137,00	15,22
2	2	1	1	12	10	1,11	12,00	10,00	1,11
2	2	1	2	20	13	1,44	69,00	31,00	3,44
2	2	1	3	23	16	1,78	29,00	17,00	1,89
2	2	1	4	22	16	1,78	34,00	19,00	2,11

Sistema	C	D	M	PFRF (g)	BRF (g)	BRF (tn/ha)	PFRG (g)	BRG (g)	BRG (tn/ha)
2	2	1	5	20	14	1,56	33,00	18,00	2,00
2	2	1	6	33	23	2,56	14,00	11,00	1,22
2	2	2	1	17	13	1,44	20,00	14,00	1,56
2	2	2	2	22	17	1,89	41,00	24,00	2,67
2	2	2	3	15	11	1,22	14,00	8,00	0,89
2	2	2	4	29	22	2,44	84,00	45,00	5,00
2	2	2	5	16	12	1,33	14,00	11,00	1,22
2	2	2	6	13	10	1,11	11,00	9,00	1,00
2	3	1	1	33	26	2,89	50,00	25,00	2,78
2	3	1	2	23	19	2,11	27,00	19,00	2,11
2	3	1	3	24	20	2,22	18,00	14,00	1,56
2	3	1	4	29	23	2,56	46,00	28,00	3,11
2	3	1	5	16	13	1,44	25,00	15,00	1,67
2	3	1	6	21	17	1,89	31,00	20,00	2,22
2	3	2	1	13	11	1,22	10,00	9,00	1,00
2	3	2	2	21	17	1,89	91,00	43,00	4,78
2	3	2	3	18	16	1,78	221,00	108,00	12,00
2	3	2	4	23	19	2,11	64,00	36,00	4,00
2	3	2	5	17	15	1,67	29,00	19,00	2,11
2	3	2	6	23	21	2,33	19,00	15,00	1,67
3	1	1	1	21	14	1,56	79,00	28,00	3,11
3	1	1	2	21	16	1,78	13,00	9,00	1,00
3	1	1	3	21	15	1,67	43,00	22,00	2,44
3	1	1	4	19	14	1,56	30,00	17,00	1,89
3	1	1	5	18	12	1,33	94,00	34,00	3,78
3	1	1	6	25	16	1,78	66,00	25,00	2,78
3	1	2	1	21	16	1,78	18,00	10,00	1,11
3	1	2	2	18	13	1,44	22,00	13,00	1,44
3	1	2	3	20	14	1,56	18,00	12,00	1,33

Sistema	C	D	M	PFRF (g)	BRF (g)	BRF (tn/ha)	PFRG (g)	BRG (g)	BRG (tn/ha)
3	1	2	4	18	12	1,33	22,00	12,00	1,33
3	1	2	5	18	13	1,44	23,00	13,00	1,44
3	1	2	6	19	15	1,67	20,00	12,00	1,33
3	2	1	1	17	11	1,22	15,00	10,00	1,11
3	2	1	2	14	11	1,22	13,00	11,00	1,22
3	2	1	3	18	13	1,44	42,00	22,00	2,44
3	2	1	4	17	12	1,33	36,00	17,00	1,89
3	2	1	5	19	15	1,67	25,00	16,00	1,78
3	2	1	6	28	18	2,00	44,00	19,00	2,11
3	2	2	1	18	14	1,56	50,00	21,00	2,33
3	2	2	2	18	12	1,33	30,00	16,00	1,78
3	2	2	3	14	10	1,11	16,00	10,00	1,11
3	2	2	4	18	12	1,33	59,00	26,00	2,89
3	2	2	5	28	18	2,00	151,00	44,00	4,89
3	2	2	6	19	13	1,44	40,00	21,00	2,33
4	1	1	1	24	19	2,11	36,00	22,00	2,44
4	1	1	2	25	20	2,22	47,00	29,00	3,22
4	1	1	3	16	13	1,44	56,00	31,00	3,44
4	1	1	4	17	15	1,67	68,00	39,00	4,33
4	1	1	5	22	19	2,11	18,00	15,00	1,67
4	1	1	6	21	18	2,00	34,00	23,00	2,56
4	1	2	1	24	21	2,33	15,00	12,00	1,33
4	1	2	2	16	14	1,56	46,00	27,00	3,00
4	1	2	3	16	13	1,44	19,00	14,00	1,56
4	1	2	4	17	14	1,56	23,00	18,00	2,00
4	1	2	5	17	15	1,67	101,00	47,00	5,22
4	1	2	6	12	10	1,11	12,00	10,00	1,11
4	2	1	1	20	16	1,78	62,00	36,00	4,00
4	2	1	2	31	25	2,78	52,00	30,00	3,33

Sistema	C	D	M	PFRF (g)	BRF (g)	BRF (tn/ha)	PFRG (g)	BRG (g)	BRG (tn/ha)
4	2	1	3	26	21	2,33	32,00	19,00	2,11
4	2	1	4	28	20	2,22	75,00	39,00	4,33
4	2	1	5	19	16	1,78	14,00	12,00	1,33
4	2	1	6	62	39	4,33	79,00	37,00	4,11
4	2	2	1	36	29	3,22	66,00	33,00	3,67
4	2	2	2	20	17	1,89	37,00	22,00	2,44
4	2	2	3	16	13	1,44	25,00	19,00	2,11
4	2	2	4	22	18	2,00	36,00	23,00	2,56
4	2	2	5	23	19	2,11	23,00	18,00	2,00
4	2	2	6	29	23	2,56	53,00	33,00	3,67

C: Cuadrante; D: dirección; M: Muestra; PFRF: peso fresco de la raíz fina, BRF: Biomasa de la raíz fina; PFRG: peso fresco de la raíz gruesa, BRG: Biomasa de la raíz gruesa.



LASA TINGO MARÍA

Laboratorio de análisis de Suelos y Agua

A.V. Asunción Saldaña Lt. 34 Teff. 999250084 – 969655735 Correo: Lasatingomaria@gmail.com

RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELO

SOLICITANTE: Oscar Vasquez Vega

FECHA: 04 - 02 - 2020

Número de Muestra	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES me/100 g							%	%	%									
	Arena	Arcilla	Limo							Textura	Ca	Mg	K	Na	Al	H				CiCe	Bas.Caim	Ac.Camb	Sat.Al					
Laborat.	Campo	%	%	%	1:1	%	ppm	ppm	ppm																			
M1921	P1C1	27	24	49	Franco	4.30	1.44	0.07	7.60	95				3.20	1.20				3.20	1.45	9.05	48.62	51.38	35.36				
M1922	P1C2	27	28	45	Franco Arcilloso	4.70	1.29	0.06	5.12	85				3.50	1.60				3.00	1.55	9.65	52.85	47.15	31.09				
M1923	P1C3	25	28	47	Franco Arcilloso	4.58	1.58	0.08	3.96	82				3.38	1.00				3.10	1.46	8.94	48.99	51.01	34.68				
M1924	P2C1	37	14	49	Franco	4.93	1.44	0.07	4.46	105				3.91	1.60				0.90	0.15	6.56	83.99	16.01	13.72				
M1925	P2C2	37	18	45	Franco	5.36	2.01	0.10	4.29	130				4.24	1.03				0.20	0.06	5.53	95.30	4.70	3.62				
M1926	P2C3	29	20	51	Franco Limoso	5.18	2.73	0.14	2.81	135				4.00	1.10				0.20	0.06	5.36	95.15	4.85	3.73				
M1927	P3C1	27	24	49	Franco	5.49	1.87	0.09	3.14	120				4.44	1.20				0.10	0.04	5.78	97.58	2.42	1.73				
M1928	P3C2	29	28	43	Franco Arcilloso	5.15	2.01	0.10	6.28	136				4.14	1.08				0.30	0.06	5.58	93.55	6.45	5.38				
M1929	P3C3	24	29	47	Franco Arcilloso	5.37	2.10	0.10	4.79	125				4.34	1.10				0.20	0.05	5.69	95.61	4.39	3.51				
M1930	P4C1	22	33	45	Franco Arcilloso	5.44	2.70	0.13	4.13	142				4.68	1.14				0.20	0.05	6.07	95.88	4.12	3.29				
M1931	P4C2	26	35	39	Franco Arcilloso	5.48	3.00	0.15	4.29	138				4.70	1.30				0.10	0.03	6.13	97.88	2.12	1.63				
M1932	P4C3	36	31	33	Franco Arcilloso	5.55	2.70	0.13	3.63	144	6.64	5.00	1.60	0.04	0.00							100.00						

Observaciones : Muestras proporcionadas por el interesado

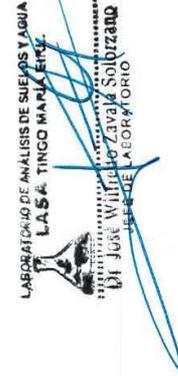




Figura 12. Materiales y herramientas utilizadas en la ejecución de la tesis.



Figura 13. Obtención del ángulo recto para demarcar el cuadrante 50 m x 50 m.

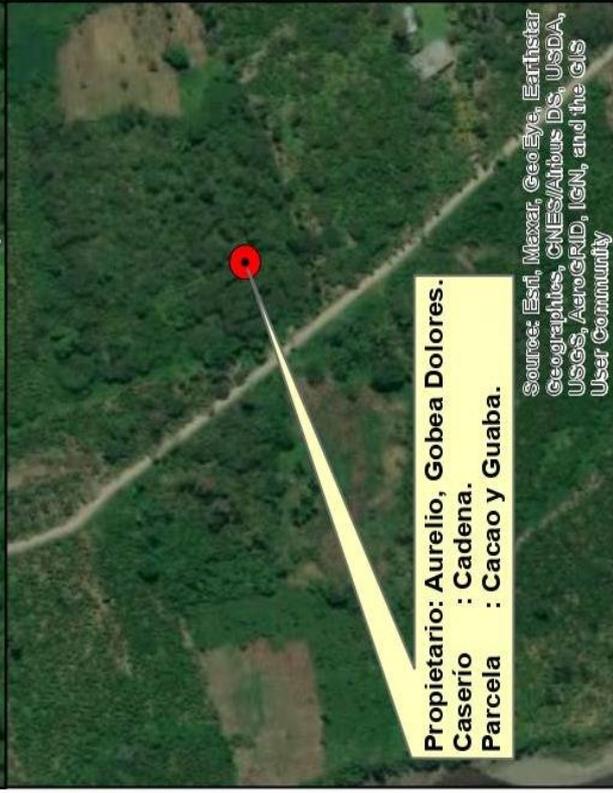
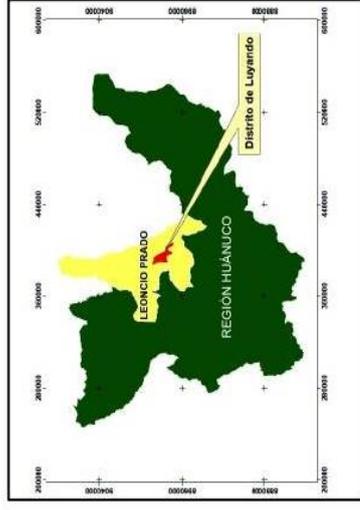
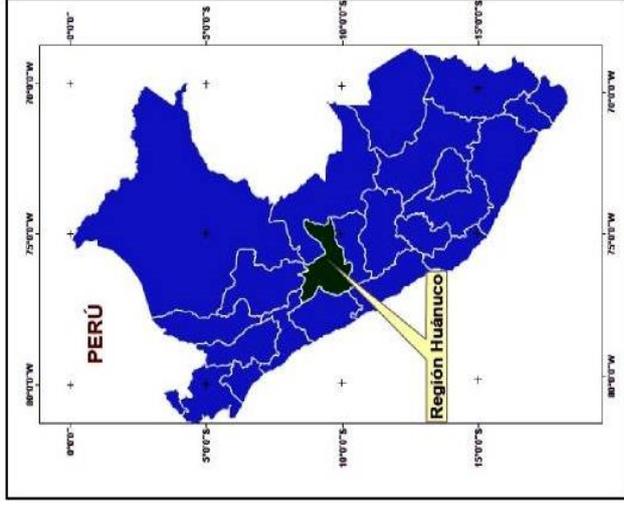


Figura 14. Lavado de raíces muestreadas.



Figura 15. Muestras de raíces rotuladas y codificadas puestas en estufa.

MAPA DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN



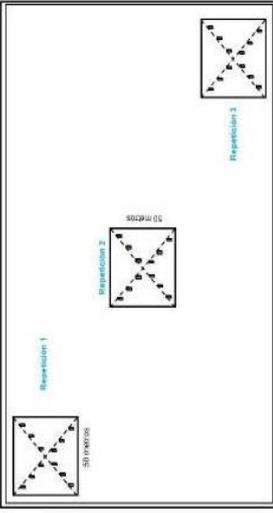
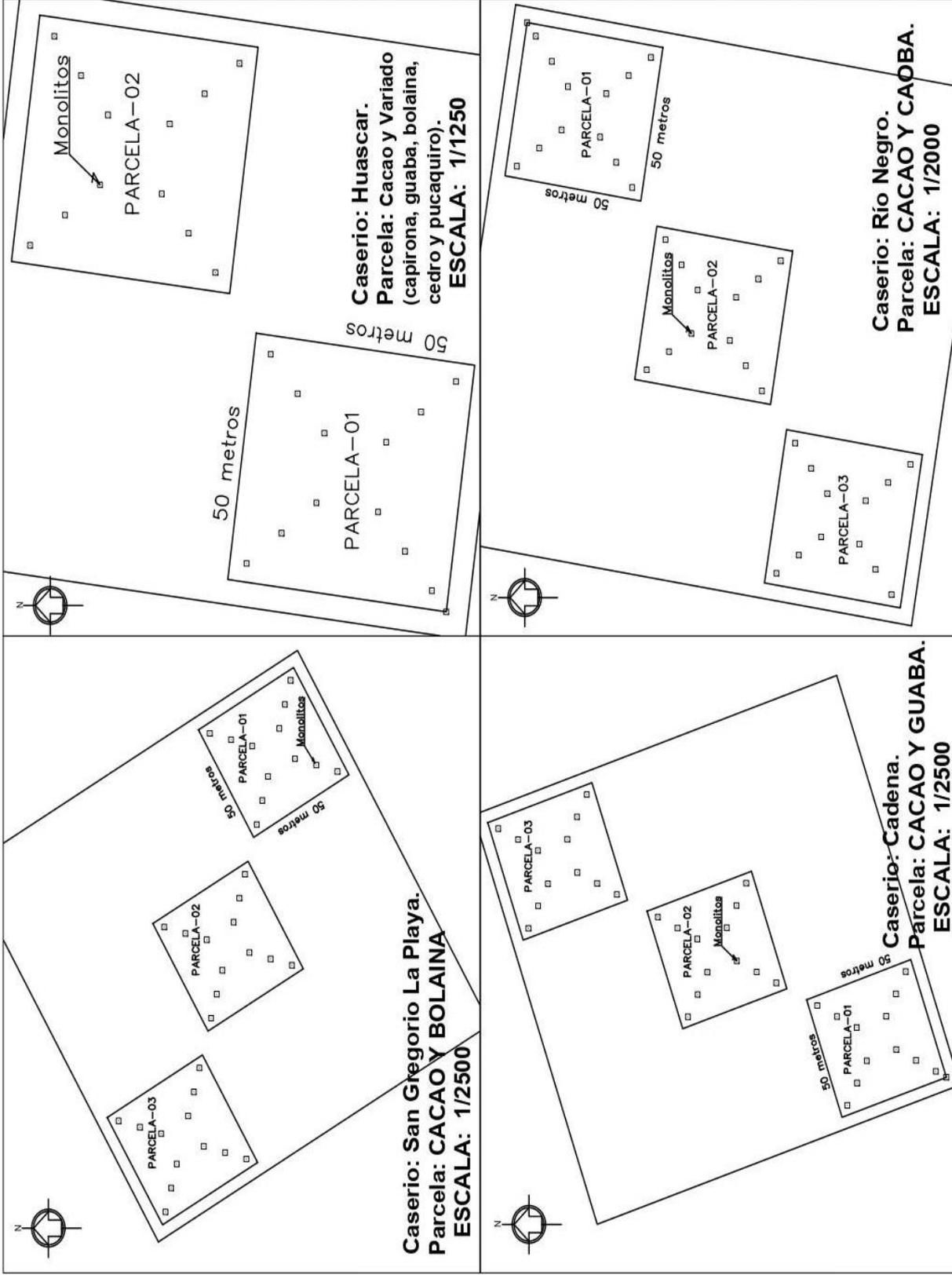
TESIS "COMPARACIÓN DE BIOMASA DE RAÍCES DE THEOBROMA CACAO L. EN CUATRO SISTEMAS A GROFORESTALES EN EL DISTRITO PADRE FELIPE LUYA HDO., REGIÓN HUÁNUCO."

MAPA DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

ESCALA	INDICADA	PROYECCIÓN	UTM
REGION	HUANUCO	DATUM	WGS84 ZONA 18S
PROVINCIA	LEONCIO PRADO	FECHA	MARZO DEL 2020
DISTRITO	PADRE FELIPE LUYA HDO.	TESTISTA	OSCAR VASQUEZ VEGA

DISTRIBUCIÓN DE LAS CUATRO PARCELAS

Distribución de las repeticiones (trayecto con 12 monolitos) en los sistemas agroforestales



DATOS DE LOS CUATRO SISTEMAS AGROFORESTALES	
Casero	San Gregorio La Playa
Propietario	Miguel Ángel Rueda Atavillos
DNI	41127991
Edad de cacao	7 años
Variedad	CCN 51
Dist. de siembra	3x2 metros
Producción	500 kg/año
Edad de especies	8 años (bolaina)
Dist. de siembra	3,5x7 metros

DATOS DE LOS CUATRO SISTEMAS AGROFORESTALES	
Casero	Huascar
Propietario	Aureliana, Retis Juanan
DNI	22989561
Edad de cacao	10 años
Variedad	CCN 51
Dist. de siembra	3x2 metros
Producción	1000 kg/año
Edad de especies	3, 5, 10 años Variado (capirona, guaba, bolaina, cedro y pucaquiro)
Dist. de siembra	8x5, 3x3 metros

CUADRO DE COORDENADAS		
Caseros	Norte	Este
San Gregorio La Playa.	8975878	399096
Cadena.	8983244	390324
Huascar.	8973225	398226
Río Negro.	8971688	399867

		TESIS "COMPARACIÓN DE BIOMASA DE RAÍCES DE THEOBROMA CACAO L. EN CUATRO SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL DISTRITO PADRE FELIPE LUYANDO, REGIÓN HUANUCO."	
MAPA DISTRIBUCIÓN DE LAS PARCELAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES			
ESCALA	INDICADA	PROYECCIÓN	UTM
REGIÓN	HUANUCO	DATUM	WGS84 ZONA 18S
PROVINCIA	LEONDO FRADO	FECHA	MARZO DEL 2020
DISTRITO	PADRE FELIPE LUYANDO	TESISTA	OSCAR VASQUEZ VEGA

ACTIVIDADES EJECUTADAS DE LA TESIS

