

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO TOTAL DE UN SISTEMA FORESTAL  
ASOCIADO DE *Schizolobium amazonicum* (PINO CHUNCHO) Y *Ladenbergia  
oblongifolia* (ÁRBOL DE LA QUINA) EN SAIPAI, PUEBLO NUEVO**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR:**

**ORTIZ SUAREZ, DANILO II**

**Tingo María – Perú**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 041-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 07 de Febrero de 2024, a horas 10:00 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“ALMACENAMIENTO DE CARBONO TOTAL DE UN SISTEMA FORESTAL ASOCIADO DE *Schizolobium amazonicum* (PINO CHUNCHO) Y *Ladenbergia ablongifolia* (ÁRBOL DE LA QUINA) EN SAPAI, PUEBLO NUEVO”**

Presentado por el Bachiller: **ORTIZ SUAREZ, Danilo II**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 01 de abril de 2024


  
**Dra. TANIA E. GUERRERO VEJARANO**  
**PRESIDENTE**

  
**Ing. MSc. RAUL ARAUJO TORRES**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. BRAYAN A. CALDAS DE LA CRUZ**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. WILFREDO TELLO ZEVALLOS**  
**ASESOR**

  
**Ing. MSc. JOSE V. QUIROZ RAMIREZ**  
**ASESOR**

  
**Ing. FELIX A. EUGENIO QUIROZ**  
**ASESOR**





“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 134 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

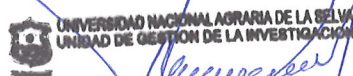
Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
ALMACENAMIENTO DE CARBONO TOTAL DE UN SISTEMA FORESTAL ASOCIADO DE <i>Schizolobium amazonicum</i> (PINO CHUNCHO) Y <i>Ladenbergia oblongifolia</i> (ÁRBOL DE LA QUINA) EN SAIPAI, PUEBLO NUEVO	ORTIZ SUAREZ, DANILLO II	18 % Dieciocho

Tingo María, 15 de abril de 2024



Dr. Tomas Menacho Mallqui  
JEFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



Título	: Almacenamiento de carbono total de un sistema forestal asociado de <i>Schizolobiúm Amazonicum</i> (Pino Chuncho) y <i>Ladenbergia Oblongifolia</i> (Árbol de la Quina) en SaiPai, Pueblo Nuevo.
Autor	: Ortiz Suarez, Danilo II
Asesor (es)	: M. Sc. Ing. Tello Zevallos, Wilfredo M. Sc. Ing. Quiroz Ramírez, José Víctor Ing. Eugenio Quiroz, Andi
Objetivo General	: Estimar el almacenamiento de carbono total de un sistema forestal asociado de <i>Schizolobiúm Amazonicum</i> (Pino Chuncho) y <i>Ladenbergia Oblongifolia</i> (Árbol de la Quina) en SaiPai, Pueblo Nuevo
Programa de investigación	: Gestión de bosques y plantaciones forestales.
Línea de investigación	: Biomasa
Eje temático	: Biomasa total
Lugar de ejecución	: Distrito Pueblo Nuevo (fundo del IIAP).
Duración del trabajo	: 7 meses
Financiamiento	: Propio(x) FEDU ( ) Externo ( )
Presupuesto	: S/. 4 043.05



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION  
OFICINA DE INVESTIGACION**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL  
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE  
Y TESISTA**


**(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)**

**I. Datos Generales de Pregrado**


**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva  
**Facultad** : Recursos Naturales Renovables  
**Título de tesis** : Almacenamiento de carbono total de un sistema forestal asociado de *Schizobium amazonicum* (Pino Chunchu) y *Ladenbergia oblongifolia* (árbol de la quina) en Saipai, Pueblo Nuevo.  
**Autor** : Bach. Ortiz Suarez, Danilo II  
**Asesor (es) de tesis** : M. Sc. Ing. Tello Zevallos, Wilfredo  
M. Sc. Ing. Quiroz Ramírez, José Víctor  
Ing. Eugenio Quiroz, Félix Andi  
**Escuela Profesional** : Forestal  
**Programa de investigación** : Gestión de bosques y plantaciones forestales.  
**Línea(s) de investigación** : Biomasa  
**Eje Temático** : Biomasa forestal  
**Lugar de ejecución** : Distrito Pueblo Nuevo (fundo del IIAP).  
**Duración** : Inicio : 05/05/2023  
Término : 05/12/2023  
**Financiamiento** : FEDU : S/0.00  
Propio : S/4043.05  
Otros : S/.0.00

**Tingo María, Perú, agosto 2024.**

  
Bach. Danilo II Ortiz Suarez  
Tesisista

  
M. Sc. Wilfredo Tello Zevallos  
Asesor

  
M. Sc. José Víctor Quiroz Ramírez  
Asesor

  
Ing. Andi Eugenio Quiroz  
Asesor

## **DEDICATORIA**

A Dios, por escuchar mis oraciones para poder salir adelante, ayudándome a seguir y a motivarme a la culminación de mis estudios universitarios y el desarrollo de la tesis, a pesar de las circunstancias en todo el proceso.

A mis padres **DANILO ORTIZ PAIMA** y **GENNI G. SUAREZ GONZALES** quienes fueron mi motivo en el proceso, estaré agradecido con ustedes por siempre, los amo y siempre los tengo presentes en mi corazón.

A mis hermanos **JHON F. ORTIZ SUAREZ**, **GENNI D. ORTIZ SUAREZ** Y **BEL N. ORTIZ SUAREZ** por el apoyo de confiar en mí y siempre estar ahí, motivándome y dándome las fuerzas para culminar la etapa universitaria.

A mis familiares y amigos, por siempre creer en mis capacidades en la finalización de mi carrera profesional, dándome mayores bendiciones y éxitos en mi futuro.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser ente principal en el camino planteado y dándome las fuerzas necesarias para lograr la culminación de los estudios.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a mi querida Facultad de Recursos Naturales Renovables mención Escuela Profesional de Ingeniería Forestal por la oportunidad de adquirir conocimientos y demostrar mis capacidades.

Al IIAP por la oportunidad brindada en realizar el desarrollo de la tesis en sus instalaciones y el apoyo brindado por el asesor Ing. Eugenio Quiroz, Andy, encargado del área en donde se desarrolló la investigación.

Al M. Sc. Ing. Tello Zevallos, Wilfredo por su gran amistad, y guía durante todo el proceso de la tesis, brindando sus conocimientos en lo que respecta al tema, y ello permitirme terminar la tesis.

A mi asesor M. Sc. Ing. Quiroz Ramírez, José Víctor, por su apoyo de asesoramiento en lo que respecta su área con sus conocimientos compartidos, ayudando así a terminar la tesis.

A mi apoyo durante todo el proceso antes, durante y después de la tesis Uriarte Barraza, Katherin Lourdes, muchas gracias por estar presente en todo ello.

A mis colegas de apoyo Iturri Pio, José Luis, Soto Sabino Denys, Pacheco Vidal, Jack, Torres Paima Randy, Córdova Tarazona Jordi, Villar Paima Gustavo, por su ayuda en el proceso de ejecución en campo y por su consejos y conocimientos brindados en ello.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, quienes contribuyeron en mi formación profesional.

Al Ing. Cleide Santos Flores, por sus conocimientos brindados durante la etapa de gabinete final de la tesis.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.1.1. El carbono en los ecosistemas forestales.....	3
2.1.2. Almacenamiento y secuestro de carbono .....	4
2.1.3. Almacenes de carbono .....	4
2.1.4. El suelo.....	5
2.1.5. Propiedades del suelo .....	6
2.1.6. <i>S. Amazonicum</i> (Pino chuncho).....	8
2.1.7. <i>L. Oblongifolia</i> (Árbol de la quina).....	10
2.2. Estado del arte.....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
3.1. Lugar de ejecución.....	16
3.1.1. Ubicación política .....	16
3.1.2. Ubicación geográfica .....	16
3.2. Materiales y equipos .....	16
3.3. Metodología.....	16
3.3.1. Carbono almacenado en biomasa vegetal en un sistema forestal asociado .....	16
3.3.2. Carbono almacenado en el suelo en un sistema forestal asociado .....	22
3.3.3. Estimación de la captura de carbono total en el sistema forestal asociado .....	24
3.3.4. Propiedades físicas y químicas en el sistema forestal asociado en su noveno año de instalación.....	24
3.3.5. Criterio y análisis de la investigación .....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1. Carbono almacenado en biomasa vegetal en un sistema forestal asociado .....	28
4.1.1. Biomasa arbórea (kg/árbol) .....	28
4.1.2. Carbono en la biomasa vegetal.....	30
4.2. Carbono almacenado en el suelo en un sistema forestal asociado.....	31

4.3. Almacenamiento de carbono total en un sistema forestal asociado .....	34
4.4. Propiedades fisicoquímicas del suelo, en un sistema forestal asociado .....	36
V. CONCLUSIONES .....	38
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	39
VII. REFERENCIAS.....	40
ANEXO.....	45

## ÌNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Método para análisis físicos del suelo .....	25
2. Método para análisis químico del suelo.....	26
3. Prueba de U Mann Whitney para la biomasa (kg) para dos especies en estudio .....	28
4. Prueba de U Mann Whitney para la biomasa (kg) para las zonas .....	28
5. Carbono en la biomasa vegetal total.....	30
6. Carbono (t/ha) almacenado en el suelo.....	32
7. Carbono total en un sistema asociado a dos especies forestales.....	34
8. Propiedades fisicoquímicas del suelo .....	36
9. Variables evaluadas para la biomasa arbórea para el transecto 1 en la zona baja.....	46
10. Variables evaluadas para la biomasa arbórea para el transecto 2 en la zona baja.....	46
11. Variables evaluadas para la biomasa arbórea para el transecto 1 en la zona alta.....	47
12. Variables evaluadas para la biomasa arbórea para el transecto 2 en la zona alta.....	48
13. Variables evaluadas para la biomasa y carbono del suelo.....	49
14. Densidad básica de las especies estudiadas.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.....	3
2. Estructura de los almacenes de carbono. ....	5
3. Detalle de los estratos u horizontes del suelo. ....	6
4. Representación referencial de la plantación forestal IIAP. ....	17
5. Diseño de las muestras tanto para aérea, herbácea y hojarasca. ....	20
6. Evaluación de carbono almacenado en el suelo.....	23
7. Recolección en zigzag de muestras del suelo para el análisis fisicoquímico. ....	25
8. Comparación de la biomasa (kg) de dos especies en dos zonas.....	29
9. Carbono en la biomasa vegetal total (t/ha).....	30
10. Carbono del suelo a tres profundidades.....	33
11. Carbono total asociado a dos especies forestales.....	35
12. Resultados de laboratorio para el carbono en el suelo.....	50
13. Resultados de laboratorio para las propiedades físicas y químicas. ....	51
14. Mapa de ubicación del IIAP. ....	52
15. Mapa de ubicación de la parcela estudiada. ....	53
16. Reconocimiento del área a estudiar con el personal responsable del IIAP. ....	54
17. Medición del área a evaluar.....	54
18. Evaluación de la circunferencia a la altura del pecho.....	55
19. Obtención de muestras en el área a evaluar.....	55
20. Codificado de muestras de herbácea y hojarasca. ....	56
21. Colecta de la herbácea y hojarasca.....	56
22. Obtención de la muestra de la madera a través del barreno del Pressler.....	57
23. Obtención de la muestra de suelo a tres profundidades para su análisis en el laboratorio.....	57
24. Obtención de la muestra del suelo el cálculo de la densidad.....	58
25. Secado de muestras de suelo.....	58
26. Peso de las muestras colectadas en el campo.....	59
27. Muestras sometidas a la estufa para eliminar el exceso de humedad.....	59
28. Pesado de muestras de herbácea y hojarasca.....	60
29. Medición de la longitud de las muestras obtenidas con el barreno de Pressler.....	60
30. Muestras obtenidas con el barreno de Pressler para cálculo de la densidad.....	61
31. Área evaluada en el fundo del IIAP.....	61

## RESUMEN

Con el fin de estimar el almacenamiento de carbono total en un sistema forestal asociado de *Schizolobiúm amazonicum* (pino chuncho) y *Ladenbergia oblongifolia* (árbol de la quina) en Saipai, Pueblo Nuevo, se establecieron transectos de 25 x 4 m en zona alta y baja, para la biomasa de herbácea cuadrantes de 1 x 1 m, y para la hojarasca de 50 cm x 50 cm, donde los resultados que se obtuvieron fueron : La biomasa arbórea (kg/árbol) por especie fue superior estadísticamente en *S. amazonicum* con un promedio 88,37 kg/árbol en un total de 45 individuos, y en el carbono en la biomasa vegetal se obtuvo un valor promedio de 15,22 t/ha y 10,01 t/ha para la zona alta y baja respectivamente. El carbono almacenado en el suelo para la zona alta y baja fue de 56,11 t/ha y 33,13 t/ha respectivamente. El carbono total que incluye la biomasa del suelo y vegetal es de 71,33 t/ha en la zona alta y 44,05 t/ha en la zona baja. Las propiedades fisicoquímicas del suelo en el sistema forestal asociado fueron en la zona alta: Arena (50%), Arcilla (18%), Limo (33%) y clase textural franco; asimismo, la zona baja: Arena (50%), Arcilla (20%), Limo (31%) y clase textural franco; por otro lado, las propiedades químicas en la zona alta: pH (4,41), M.O. (1,900%), N (0,095%), C (1,102%), P (6,558 ppm) y K (91,955 ppm), en la zona baja: pH (4,51), M.O. (1,303%), N (0,065%), C (3,025%), P (3,025 ppm) y K (61,703 ppm).

Palabras claves: sistema forestal, *Schizolobiúm amazonicum*, *Ladenbergia oblongifolia*

## ABSTRACT

With the goal of estimating the total carbon stored in a forest system associated with *Schizolobium amazonicum* (pino chuncho) and *Ladenbergia oblongifolia* (árbol de la quina) in Saipai, Pueblo Nuevo, [Peru], 25 x 4 m transects were established in the high and low zones, 1 x 1 m quadrants for the herbaceous biomass, and 50 cm x 50 cm for the leaf litter. The results that were obtained were: the arboreal biomass (kg/tree) by specie was statistically superior for *S. amazonicum*, with an average of 88.37 kg/tree, in a total of forty five specimens, and the average value of the carbon in the vegetative biomass had an average value of 15.22 t/ac and 10.01 t/ac for the high and low zones, respectively. The carbon stored in the soil for the high and low zones was 56.11 t/ac and 33.13 t/ac, respectively. The total carbon that includes the vegetative and soil biomass was 71.33 t/ac in the high zone and 44.05 t/ac in the low zone. The physicochemical properties of the soil from the associated forest system in the high zone were: sand (50%), clay (18%), loam (33%), and a frank textural class; at the same time, in the low zone [they were]: sand (50%), clay (20%), loam (31%), and a frank textural class. On the other hand, the chemical properties for the high zone were: pH (4.41), OM (M.O. in Spanish) (1.900%), N (0.095%), C (1.102%), P (6.558 ppm), and K (91.955 ppm), and in the low zone [they were]: pH (4.51), OM (1.303%), N (0.065%), C (3.025%), P (3.025 ppm), and K (61.703 ppm).

Keywords: forest system, *Schizolobium amazonicum*, *Ladenbergia oblongifolia*

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el cambio climático se ha convertido en una preocupación global cada vez más urgente debido al aumento de los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), generado principalmente por la tala excesiva, cambio de uso del suelo y la producción de combustibles fósiles. Esta situación llevó a alterar el equilibrio ecológico, resultando en la pérdida muy considerable de flora y fauna, sin embargo, una estrategia para contrarrestar estos efectos es almacenar el carbono total mediante sistemas forestales o agroforestales, los cuales desempeñan un papel crucial en este proceso al servir como importantes recursos en las estructuras de las plantas.

En el territorio nacional, a lo largo del tiempo, se han establecido diversos sistemas de producción, incluyendo plantaciones forestales tanto para la obtención de madera como para otros propósitos, como la conservación. El carbono absorbido por los árboles y otros componentes del ecosistema forestal ayuda a las emisiones de gases de efecto invernadero y a estabilizar el clima global, aunque estos esfuerzos son elogiados en su intento de revertir los efectos del cambio climático, la falta de datos precisos sobre la cantidad de carbono almacenado en estos sistemas limita nuestra comprensión de su contribución real a la mitigación del cambio climático. Esta investigación se centra en la estimación del carbono total en un sistema forestal. Por lo tanto, de acuerdo con lo expuesto se formuló la siguiente interrogante. ¿Qué cantidad de carbono total almacena el sistema forestal asociado de las especies *Schizolobium amazonicum* (Pino Chunchu) y *Ladenbergia oblongifolia* (Quina)?

La investigación propuesta aborda la estimación del carbono total de las especies *S. amazonicum* y *L. oblongifolia*, esta se justifica debido a la escasez de investigaciones que abordan a estas especies, muchas de estas investigaciones proporcionan una descripción somera que no detalla propiedades de estas especies y características de manera exhaustiva, por tal motivo esta investigación busca llenar este vacío proporcionando información que sirva como base de conocimiento disponible para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas al hacerlo no solo contribuye al conocimiento científico sobre la cantidad de carbono total almacenado y características de estas especies si no también se proporciona una referencia valiosa para instituciones y otros investigadores interesados en estudiar esta área específica.

Debido a lo mencionado anteriormente se formula los siguientes objetivos:

### **1.1. Objetivo general**

Estimar el almacenamiento de carbono total de un sistema forestal asociado de *Schizolobium Amazonicum* (Pino Chuncho) y *Ladenbergia Oblongifolia* (Árbol de la Quina) en SaiPai, Pueblo Nuevo.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Calcular el carbono almacenado en biomasa vegetal en un sistema forestal asociado.
- Calcular el carbono almacenado en el suelo de un sistema forestal asociado.
- Estimar el almacenamiento de carbono total en un sistema forestal asociado.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo en un sistema forestal asociado en su noveno año de instalación.

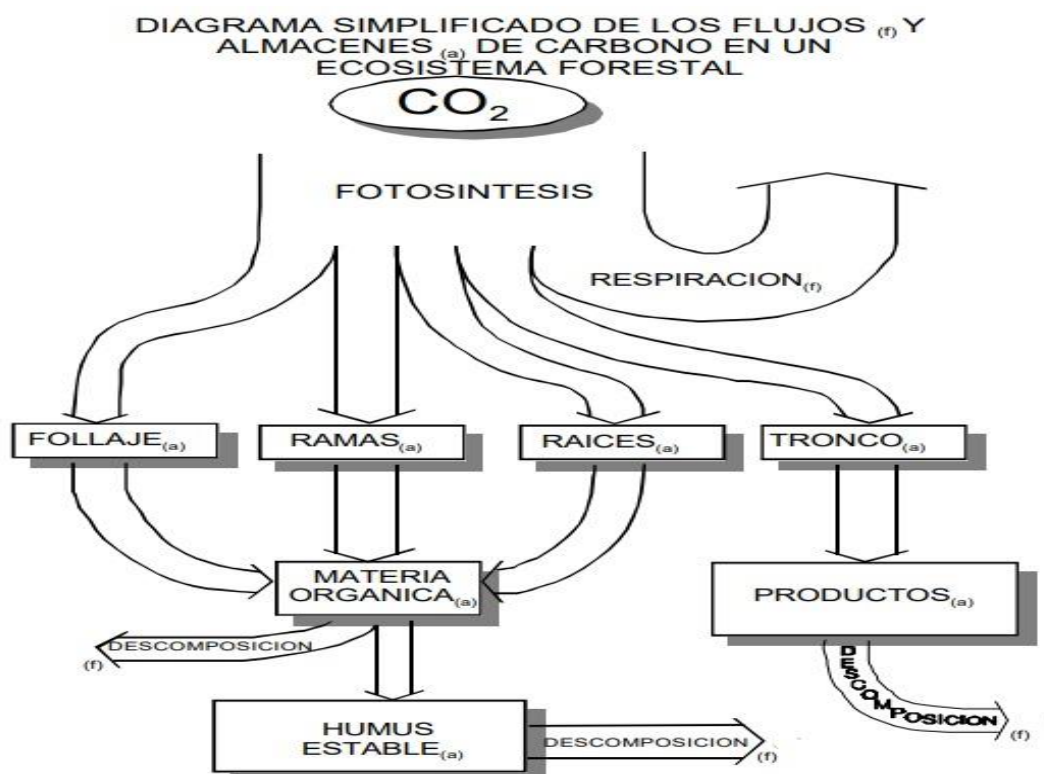
## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. El carbono en los ecosistemas forestales

Según Masera y Benjamín (2001), el secuestro de carbono se fundamenta en dos perspectivas fundamentales. La primera medida implica la absorción activa de nueva vegetación, mientras la segunda tiene como objetivo evitar las emisiones de la vegetación existente una vez que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico se introduce a los procesos metabólico durante la fotosíntesis de la planta. Este proceso produce materias primas, como la glucosa que se utilizan para construir las estructuras necesarias para el crecimiento de las pantas, hierbas, pasto u otra especie vegetal (**Figura 1**).

El carbono almacenado en un ecosistema forestal en una combinación de biomasa vegetal aérea y subterránea. Masera y Benjamín (2001) elaboraron un diagrama de flujos y almacenes de carbono (**Figura 1**).



**Figura 1.** Diagrama de flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.

### **2.1.2. Almacenamiento y secuestro de carbono**

Moura (2001) señala que la función ecológica del almacenamiento y secuestro de carbono es primordial en bosques y los sistemas agroforestales. Durante la fotosíntesis sus hojas y demás partes verdes de las plantas fijan carbono capturando CO<sub>2</sub> de la atmosfera. Este proceso produce carbohidratos, libera oxígeno y almacena carbono para su uso en la biomasa vegetal, incluida la formación de madera en los árboles.

El grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC,2000) señala que la forestación es una opción muy importante para capturar carbono atmosférico porque se almacena tanto en la biomasa como en la parte subterránea. Esto pasa porque los árboles consumen carbono a través de la fotosíntesis y lo convierten en un componente importante de su estructura.

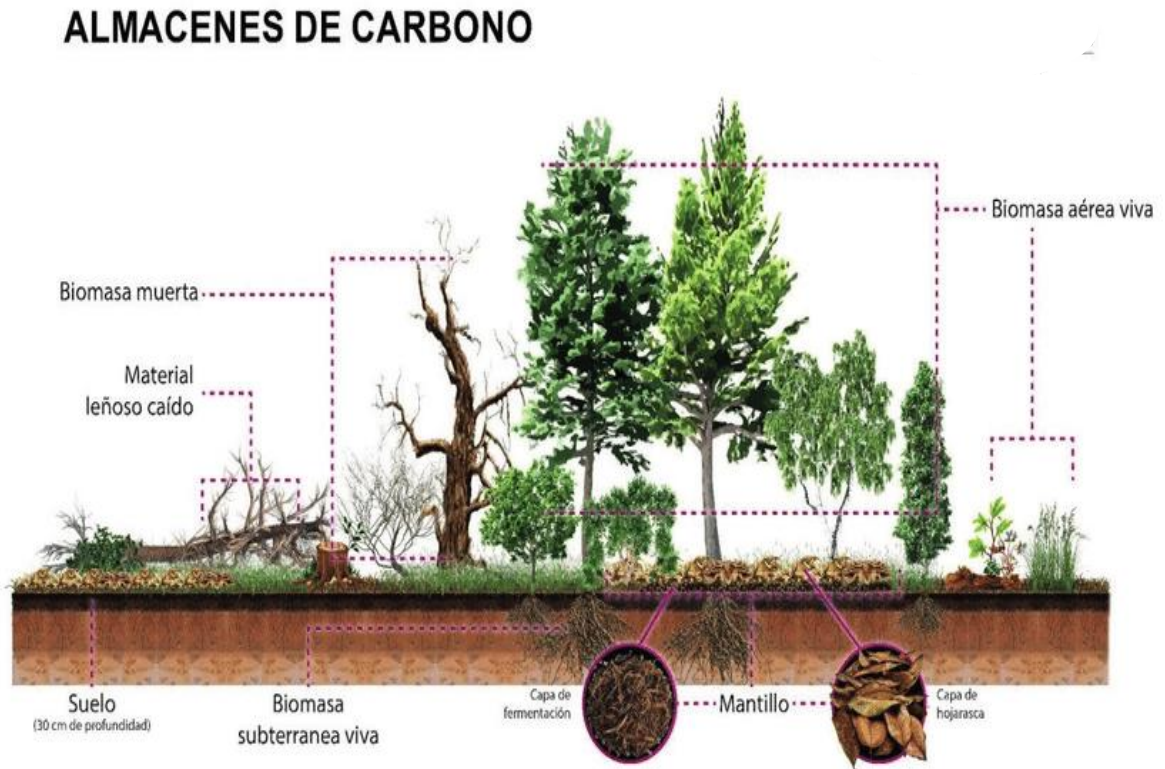
La cantidad de carbono absorbido por las plantas por unidad de superficie en cultivos puede variar dependiendo de muchos factores como la especie de la planta, el tipo de cultivo, las prácticas agrícolas, características del suelo y otros factores. Sin embargo, a medida que aumenta el área dedicada a la reforestación, la cantidad de biomasa almacenada también aumenta proporcionalmente, lo que termina como resultado un mayor número de toneladas de carbono almacenado Marín (2012).

Ruiz y Vichot (2014) indica que los árboles renuevan regularmente sus partes durante el crecimiento, incluyendo la caída de hojas, flores, ramas, frutos, corteza entre otros. Este ciclo dinámico suelta carbono, parte de este es liberado a la atmosfera como CO<sub>2</sub> y el resto ingresa al suelo como humus estable, al mismo tiempo el árbol aumenta su tamaño en altura debido a la acumulación de carbono. La cantidad neta de carbono fijada por el árbol se determina mediante el equilibrio entre la cantidad de carbono durante su crecimiento y es liberado por la caída de su descomposición de ramas, corteza, frutos, entre otros. Esta característica de los bosques está adquiriendo cada vez más importancia, sobre todo porque el 50% de la materia orgánica seca corresponde a la cantidad de carbono fijado por el ecosistema forestal.

### **2.1.3. Almacenes de carbono**

Según Segura y Kanninen (2002) los sistemas forestales y agrícolas pueden operar como depósitos de CO<sub>2</sub> almacenando en promedio 95 toneladas de carbono por hectáreas en áreas tropicales, lo que totaliza 2,1 billones de carbono por año en las zonas tropicales. Sin embargo, la evaluación de carbono en las partes subterráneas (raíces y suelo), la descomposición de las hojas y los árboles muertos es limitada debido a la complejidad inherente a estos sistemas.

Orrego y Valle (2001) indican que los ecosistemas forestales se pueden diferenciar por varios comportamientos que almacenan carbono (**Figura 2**). Básicamente incluyen biomasa en el aire, necromasa, biomasa subterránea, carbono en el suelo, productos maderables para el aprovechamiento forestal y productos no maderables.



**Figura 2.** Estructura de los almacenes de carbono.

#### 2.1.4. El suelo

Martin y Adad (2006) enfatizan que el suelo es de los recursos más valioso para la vida en el planeta, puesto que proporciona una base importante para la agricultura y silvicultura. La producción de alimentos está estrechamente vinculada con la adecuada gestión de los suelos.

Weil y Brady (2016) señalaron que el suelo es un sistema natural dinámico y complejo que surge de la interacción de diversos elementos geológicos, biológicos y climáticos a lo largo de periodos de tiempos significativos. Cumple un papel esencial al actuar como un medio indispensable de desarrollo de las plantas y al funcionar como un reservorio esencial de agua y nutrientes para los ecosistemas terrestres.

Lifeder (2021) señala que el suelo está formado por capas llamadas horizontes, y la disposición de estos horizontes se denomina perfil edáfico, llamados así porque son capas que ubican de forma paralelas, lo podemos observar si se hace un corte vertical del suelo, de

describieron un total de 6 horizontes diferentes, conocidos como: O, A, E, B, C y R. ( figura 3) sin embargo, estos horizontes no se encuentran en todos los suelos, generalmente en los suelos más desarrollados, solo tiene 03 horizontes.



**Figura 3.** Detalle de los estratos u horizontes del suelo.

### 2.1.5. Propiedades del suelo

Volke et. al (2005) se refieren a las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo; es característica de la tierra. Por ejemplo, la composición química y las propiedades físicas del suelo está definida por el tipo de material geológico, la parte vegetal y la duración de la meteorización (descomposición bajo influencia de factores atmosféricos), tamaño, forma del terreno e influencia de la gente. Cambios causados por las actividades humanas a lo largo del tiempo.

#### 2.1.5.1. Propiedades físicas

Meléndez et. al (2001) indicaron que estas propiedades del suelo afectan la potencialidad nutricional, las propiedades físicas son los que primeros saltan a la vista lo que más se mide es la textura, sin embargo, para algunos problemas inevitables está característica resulta muy general, interesa más tener claridad, sobre el tipo de coloide predominante, en el sistema y su comportamiento.

Acevedo et al. (2005) demostraron que la porosidad, la permeabilidad y el contenido de agua están relacionados con la composición del suelo; la tasa de permeación y la conductividad del agua están relacionadas con la densidad aparente; y el contenido de materia orgánica y la resistencia a la erosión están vinculadas con la estabilidad de los agregados.

#### **2.1.5.2. Textura del suelo**

Francisco et al (2000) explica que se hace referencia al porcentaje de arena, limo y arcilla. En la parte mineral del suelo, se consideran de interés edafológico exclusivamente las partículas con un diámetro menor a 2 mm. Analizó que los suelos de textura arenosa suelen ser permeables al aire, agua y raíces, pero a menudo tienen limitaciones como una escasa capacidad de retención de agua de las plantas y una baja capacidad de nutrientes. Estos suelos típicos suelen ser permeable al aire, agua y raíces, pero generalmente tiene limitaciones como la baja capacidad para mantener el agua utilizable para las fábricas y baja capacidad nutricional. Sin embargo, FAO (2009), muestra que cuanto mayor es la proporción de arcilla, mejores son las propiedades de la arena será destruida, es decir partículas más grandes, menor permeabilidad.

#### **2.1.5.3. Propiedades químicas**

Acevedo et al. (2005) enfatizan que estas características se refieren a aspectos que influyen en las interacciones de suelo y las plantas, la calidad de agua, la capacidad del suelo para confrontar los múltiples cambios y su disponibilidad de agua y nutrientes tanto para las plantas como para los microorganismos. Sugieren utilizar indicadores como el contenido de materia orgánica (MO), carbono y nitrógeno orgánico, pH, conductividad eléctrica (CE), así como la disponibilidad de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). los indicadores de fertilidad como el pH, la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo y el potasio, son aspectos importantes de la producción agrícola. Esto resalta la importancia de las propiedades químicas del suelo para la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad del suelo para amortiguar cambios, y la disponibilidad de agua y nutrientes para plantas y microorganismos.

María y Andrea (2020) describe que el pH, es conocido como un indicador de acidez o alcalinidad del suelo, representa que tan ácido o alcalino puede ser un suelo cuando se encuentra en contacto con el agua. Este factor sirve como indicador del ambiente creado para la solución del suelo y determina todas las reacciones químicas y biológicas que ocurren

en él. Este parámetro suele medir lo concentrado de iones de hidrógeno en la solución del suelo, en una escala específica que varía de 0 a 14 (donde valores mayores indican menor concentración). En este contexto, un suelo con un pH de 7 se considera neutro, mientras que los valores superiores (7-14) indican alcalinidad y los valores bajos (0-7) indican acidez.

## **2.1.6. *S. Amazonicum* (Pino chuncho).**

### **2.1.6.1. Descripción taxonómica**

Según Flores (2019) el orden taxonómico de la especie es de la siguiente manera:

División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Orden	: Fabales
Familia	: Fabaceae
Género	: <i>Schizolobium</i>
Especie	: <i>Schizolobium Amazonicum</i>
Nombre común	: Pino Chuncho

### **2.1.6.2. Descripción taxonómica**

Habitan principalmente en la región amazónica, estos organismos se encuentran principalmente a profundidades inferiores a unos 1,200 metros sobre el nivel del mar. Su presencia se avista en zonas con precipitaciones intensas y continuas, aunque también se encuentra en zonas con una estación seca marcada. Se caracterizan por ser heliófitos y tener un crecimiento rápido, siendo comunes en bosques secundarios tanto tempranos como tardíos, además de aparecer en espacios abiertos dentro de bosques primarios. Muestran preferencia por suelos que van desde arenosos hasta limosos, con niveles de fertilidad que oscilan entre medios y altos, siempre que estén bien drenados y con una pedregosidad que varía de baja a media. Esta especie es muy sensible al encharcamiento, especialmente cuando está en plántula. En Perú su presencia es notable en lugares como Loreto y Ucayali especialmente, especialmente según Reynel et al. (2003).

### **2.1.6.3. Características ecológicas**

Toledo y Rincón (1997) La especie *Schizolobium* es conocida por ser

estrictamente amante de la luz solar, crecen rápidamente y a menudo se encuentran en bosques secundarios que han surgido en áreas con considerables perturbaciones, como incendios forestales y prácticas de agricultura migratoria. Aunque rara vez se localiza en bosques ribereños sujetos a inundaciones, es relativamente común en bosques aluviales ubicados en terrazas elevadas, especialmente a lo largo de las orillas de ríos de aguas negras.

La Cooperación Técnica del Gobierno Suizo (COTESU, 1991) describe que esta especie crece rápidamente, típica de áreas recién despejadas, y presenta madera blanda y liviana adecuada para producir pulpa y papel para fabricar cajones. La fase de floración ocurre al final de la estación seca, abarcando los meses de octubre a noviembre, mientras que la fructificación ocurre al iniciar la temporada de constantes lluvias, entre noviembre y diciembre. Su inflorescencia se presenta en racimos terminales y axilares, exhibiendo flores de tonos blancos y amarillos. Su fruto es oblongo y plana, con punta redondeada que miden de 8 y 10 cm de largo y de 2,5 a 3,5 cm de ancho, con estructura espatulada o de vaina bivalva. La superficie del fruto es lisa de color marrón rojizo o marrón oscuro, y las semillas se asemejan al fruto en forma y tamaño acompañadas de un ala lateral.

De acuerdo con Reynel et al. (2003) los factores ambientales que afectan el crecimiento de las especies forestales incluyen la cantidad de luz, la temperatura y la humedad. La luz juega un papel esencial en el desarrollo de las plantas. Las especies heliófilas, que incluyen aquellas dominantes o superdominantes, requieren intensidades de luz más altas para un crecimiento adecuado.

#### **2.1.6.4. Usos**

En el contexto de la agroforestería, esta especie ofrece una sombra beneficiosa para los cultivos con los que se asocia. Además, se valora su madera por su calidad, siendo también utilizada como fuente de leña.

El pino chuncho es una leguminosa capaz de fijar nitrógeno en el suelo, mostrando una rápida regeneración natural en áreas abiertas y bajo un proceso de poda natural (Palomino y Barra, 2003).

Por otro lado, la madera es de naturaleza blanda y se utiliza comúnmente para producir laminados, enchapados, aglomerados, puertas, cajas, maquetas, juguetes, tacos para calzado y embalajes. Además, tiene propiedades adecuadas para producir pulpa de celulosa para producir papel (Palomino y Barra, 2003).

## 2.1.7. *L. Oblongifolia* (Árbol de la quina)

### 2.1.7.1. Descripción taxonómica

Según Andersson (1994) la clasificación taxonómica es lo siguiente:

Phylum	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Rubiales
Familia	: Rubiaceae
Género	: Ladenbergia
Epíteto específico	: Oblongifolia
Nombre científico	: <i>Ladenbergia Oblongifolia humb ex mutis</i>
Nombre común	: Árbol de la quina, Pseudoquina

### 2.1.7.2. Distribución geográfica y hábitat

Las quinas, también llamadas "árboles medianos a pequeños arbustos con corteza amarga", tienen su origen en los Andes, especialmente en Colombia, Perú, Bolivia, Ecuador y Guatemala. Estas plantas tienden a prosperar en terrenos escarpados y empinados, dependiendo de condiciones climáticas adecuadas y, en particular, de la naturaleza del suelo, según Serrano (2013).

Necesitan un suelo bien aireado y con un contenido significativo de materia orgánica. Requieren mucha humedad prácticamente todo el año y no resisten vientos fuertes. Su rango de crecimiento se encuentra entre altitudes de 900 a 3,400 metros sobre el nivel del mar, según Serrano (2013).

Las especies del género *Ladenbergia* se distribuyen principalmente en áreas correspondientes a la "Ceja de Selva", donde prevalece un clima cálido y húmedo, con precipitaciones abundantes y persistentes, así como nubosidad a lo largo de todo el año. Las tierras que ocupan pueden clasificarse como suelos coluviales y aluviales, y suelen tener una profundidad que va de media a muy profunda, con una textura que está entre media a pesada y un contenido de arcilla notablemente alto. Los suelos que contienen material calizas tienden a ser más fértiles y muestran un pH más alto, según Zevallos (1989).

### 2.1.7.3. Características ecológicas

El árbol *L. Oblongifolia* requiere un entorno caracterizado por un clima cálido y húmedo, con fuertes lluvias y niebla la mayor parte del año. Su hábitat oscila por 900 y 2,100 metros sobre el nivel del mar, siendo la distribución máxima óptimo alrededor de 1,600 metros sobre el nivel del mar.

Zevallos (1989) describe como coluviales y aluviales a los suelos donde prevalecen las especies del género *Ladenbergia*. Estos suelos son comunes en zonas montañosas con superficies menos uniformes, especialmente en laderas pronunciadas y lugares mayormente inclinados. Estos suelos son profundos, propensos a la erosión, altamente fértiles y poseen un buen sistema de drenaje, con una capa grande de materia orgánica que retiene eficazmente la humedad. El rango de pH de estos suelos es de 4,6 a 6,5.

### 2.1.7.4. Usos

El árbol de la quina ha ganado renombre mundial gracias a sus propiedades farmacológicas y medicinales, especialmente presentes en su corteza, que han desempeñado un papel crucial en la salvación de vidas frente a enfermedades epidémicas, como la malaria. A continuación, se detallan las propiedades de esta especie autóctona, destacada en el Escudo Nacional como un representante destacado del reino vegetal. Contiene varios alcaloides naturales, siendo la quinina uno de los más destacados, con propiedades antipiréticas (reducción de la fiebre), antipalúdicas y analgésicas. Estas propiedades han permitido su uso efectivo desde tiempos prehispánicos en el tratamiento de enfermedades como la malaria o paludismo. Andina (2013).

## 2.2. Estado del arte

Surco y Garate (2022) en su trabajo de investigación del almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con especies de la familia Fabaceae asociada a *Theobroma cacao* en la ciudad de Madre de Dios, con el objetivo de estimar la cantidad de carbono y biomasa almacenada en el sistema. En la metodología se ubicó a las parcelas de estudio, donde se estableció los transectos que se evaluaron para la colección de la información. Los resultados fueron que a la parcela de *Schizolobium parahyba* asociado a cacao de 12 años con una biomasa arbórea 166,60 t/ha, una necromasa de 54,60 t/ha, un carbono en el suelo de 32,31 t/ha y un carbono en hojarasca de 24,57 t/ha.

Lema y Vera (2017) en su investigación sobre el almacenamiento de carbono de la

especie *Schizolobium parahybum* en Ecuador a los 9 años, con el fin de determinar biomasa y carbono almacenado en la plantación. En la metodología se delimitó el área de estudio, la posterior colección de datos de las variables en evaluación. En los resultados en la biomasa arbórea se presentó un 121,38 t/ha, en el carbono almacenado se obtuvo un 60,69 t/ha.

En su trabajo de investigación que trata sobre la captura de carbono en la biomasa de la especie *Calycophyllum spruceanum* de 8 años, Gorbitz (2011) tuvo como objetivo determinar la cantidad de carbono almacenada en su plantación establecida. La metodología abarcó la identificación del área de estudio, seguida de la recopilación de datos sobre biomasa y carbono para llevar a cabo la investigación. Los resultados revelaron que la biomasa arbórea alcanzó las 77,676 toneladas por hectárea, la biomasa de arbustos y hierbas fue de 2,575 toneladas por hectárea, mientras que la biomasa de hojarasca se registró en 14,324 toneladas por hectárea. En términos de biomasa vegetal total, se obtuvo una cantidad de 95,032 toneladas por hectárea. En cuanto al carbono, la biomasa arbórea acumuló 27,323 toneladas por hectárea, la biomasa de arbustos y hierbas contenía 1,199 toneladas por hectárea, y la biomasa de hojarasca presentó 5,704 toneladas por hectárea. En conjunto, el total de carbono alcanzó las 34,346 toneladas por hectárea.

Anaya (2010) trabajó en el estudio sobre el almacenamiento de carbono en la especie *Guazuma crinita* a los 5 años, con el fin de evaluar biomasa y almacenamiento de carbono en el sistema de esta especie. En la metodología específica que delimitó su área de estudio, para la posteriormente evaluar las variables en estudio. En los resultados para la biomasa vegetal total fue de 212,48 t/ha, asimismo, el almacenamiento de carbono acumulado total se presentó en un 95,62 t/ha, el almacenamiento de carbono total en la biomasa vegetal y adicionalmente del suelo presenta un valor de 267,46 t/ha.

Alegre et al. (2016) mencionó en su estudio sobre el almacenamiento de carbono en los sistemas forestales y agrícolas con *Theobroma sp.*, tuvo como objetivo evaluar la capacidad de almacenar carbono de la biomasa aérea y del suelo. En la metodología se delimitaron las parcelas en estudio de sistemas de especies agrícolas y forestales asociado a cacao de 20 años, donde se evaluaron 7 individuos diferentes posteriormente. En los resultados se obtuvo el almacenamiento de carbono promedio de 131,18 t C ha<sup>-1</sup>, lo que viene hacer el carbono presente en la biomasa aérea con 65,61 t C ha<sup>-1</sup> y el carbono presente en el suelo 65,57 t C ha<sup>-1</sup>.

Silva y Olaya (2019) en su estudio en el tema de sistemas agrícolas y forestales en café en asociación con *Inga* sp. con 15 años, en su metodología emplearon el método de ICRAF del año 2009. Para los resultados se obtuvo un almacenamiento de carbono total de 133,27 tC/ha, además, se presentó el almacenamiento de carbono en la biomasa arbórea de 22,80 tC/ha; también, el almacenamiento de carbono en la necromasa de 6,34 tC/ha y finalmente el carbono que se fijó en el suelo de 104,13 tC/ha.

Reyes (2022) en su trabajo de investigación sobre el desarrollo de la especie *Schizolobium parahyba* en la región de Huánuco, con la finalidad de evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo. En su metodología que utilizó, realizó la instalación del estudio, donde se instalaron las plantas y se realizó su posterior evaluación. En los resultados en las propiedades físicas: Arena (63,68), Limo (9,04), Arcilla (27,28), clase textural franco arenoso; para las propiedades químicas: pH (5,3), M.O. (4,935 %), N (0,239 %), P (123,5 ppm) y K (234,2 ppm).

Hidalgo (2011) en su investigación sobre el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en la localidad de Tingo María, tuvo como objetivo estimar el carbono que se encuentra almacenado en un sistema agroforestal con *Theobroma* sp. como resultado la cantidad de carbono en la biomasa vegetal alcanzó 94,383 t/ha, asimismo, para el carbono almacenado en el suelo se presentó un 123,181 t/ha, con carbono almacenado total de 217,564 t/ha.

Samaniego (2009) en su estudio de investigación sobre el almacenamiento de carbono en *Guazuma crinita* durante un periodo de 8 años. En la metodología se delimitó el área de estudio de las parcelas, posteriormente se realizó la evaluación de las variables, se colectó las muestras para la biomasa y carbono. En los resultados se presentó una biomasa en las hojas 0,735 kg, en la biomasa en las ramas 6,629 kg, biomasa presente en el fuste 61,9369 kg, por lo tanto, una biomasa aérea total de 68,484 kg.

Centeno (2003) en su estudio en la especie *Miconia barbeyana* en un sistema de bosque. En la metodología se delimitó el área de estudio, posteriormente se colectó las muestras y se evaluó las variables. En los resultados se obtuvo una biomasa arbórea 4160,753 kg, biomasa presente en hojas 68,43 kg, biomasa presente en ramas 313,032 kg, en resumen, con una biomasa total 8208,806 kg.

Revilla et al (2021) en su estudio en la especie *Guazuma crinita* sobre el

almacenamiento de carbono en la región Ucayali, con la finalidad de determinar el carbono almacenado en la biomasa arbórea. En los resultados se obtuvo un 44,48 kg de biomasa arbórea.

Timoteo (2014) llevó a cabo un estudio en el distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, analizando el almacenamiento de carbono en tres sistemas agroforestales durante su primer año de instalación. Se observó que el componente arbóreo fue el principal acumulador de carbono en comparación con el suelo, registrando cifras de 60,85 t.C/ha, 79,87 t.C/ha y 61,58 t.C/ha en los tres sistemas respectivamente. Además, se notó que las contribuciones de carbono provenientes de la biomasa herbácea fueron relativamente pequeñas, con valores de 4,69 t.C/ha, 5,27 t.C/ha y 5,69 t.C/ha en los tres sistemas. Respecto a la biomasa de hojarasca, se encontraron cantidades de 1,85 t.C/ha, 1,71 t.C/ha y 2,28 t.C/ha en los mismos sistemas. En cuanto a la biomasa de hojarasca, se encontraron cantidades de 1,85 t.C/ha, 1,71 t.C/ha y 2,28 t.C/ha en los mismos sistemas. El sistema agroforestal que incluía *T. Cacao*, *S. amazonicum* y *C. Cajan* acumuló 81,85 t.C/ha en la biomasa vegetal, mientras que en el suelo la cantidad almacenada fue de 25,83 t.C/ha en el sistema agroforestal formado por *T. Cacao*, *L. leucocephala* y *C. cajan*. El sistema agroforestal que registró la mayor cantidad de carbono almacenado, alcanzando 107,24 t.C/ha, fue aquel compuesto por *T. cacao*, *S. amazonicum* y *C. cajan*.

En su estudio de investigación realizada en el quinto año de la plantación en el mismo sitio que será objeto de estudio, Ortega (2019) obtuvo resultados que muestran un aumento en el contenido de pH, fósforo, potasio y bases cambiables del suelo con el paso de los años. Sin embargo, el contenido de materia orgánica disminuyó, mientras el nitrógeno se mantuvo constante durante todo el proceso de restauración ambiental. Adicionalmente, se registró un aumento en los parámetros dasométricos del pino chuncho y la quina, con el pino chuncho alcanzando una altura total máxima de 17,5 m y la quina de 6,8 m.

García (2014) recopiló información de la caracterización del suelo correspondiente al año 2014 (año 0), llevada a cabo en la estación experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), el lugar donde se realizará el próximo estudio. En dicho año, se identificó un suelo con una textura franco arcillosa, y sus propiedades químicas fueron las siguientes: pH: 3,36; materia orgánica: 1,34%; nitrógeno: 0,06%; fósforo: 3,1 ppm; potasio: 62,3 ppm; calcio: 3,58 Cmol(+)/Kg; magnesio: 0,24 Cmol(+)/Kg; aluminio: 4,2 Cmol(+)/Kg; hidrógeno: 1,72 Cmol(+)/Kg; capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe): 9,73 Cmol(+)/Kg; bases cambiables: 39,28%; acidez cambiante: 60,72% y saturación de aluminio: 43,01%.

Saravia (2017) llevó a cabo un estudio centrado en variables cuantitativas y cualitativas en una plantación de *S. Amazonicum* establecida durante tres años en el distrito de José Crespo y Castillo, el mismo lugar utilizado por García (2014). En esta área, se identificó un suelo con una textura franco y las propiedades químicas fueron las siguientes: pH: 4,4; materia orgánica: 2,69%; nitrógeno: 0,12%; fósforo: 19,7 ppm; potasio: 200,41 ppm; calcio: 2,81 Cmol(+)/Kg; magnesio: 0,72 Cmol(+)/Kg; aluminio: 1,9 Cmol(+)/Kg; hidrógeno: 0,3 Cmol(+)/Kg; capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE): 5,73 Cmol(+)/Kg; bases cambiables: 61,58%; acidez cambiante: 38,42%; y saturación de aluminio: 33,18%.

Zavala et al (2021) realizaron un estudio centrado en la captura y retención de carbono en diferentes etapas de sistemas agroforestales. Los resultados mostraron que la mayor acumulación total de carbono en el de 16 años, alcanzando 344,24 t C/ha. Le siguieron los sistemas de 8 a 16 años y menores de 8 años, con 178,61 t C/ha y 154,91 t C/ha, respectivamente. En cuanto a la retención de carbono en la biomasa aérea, el sistema agroforestal mayor de 16 años lideró con 285,16 t C/ha, seguido por el sistema de 8 a 16 años con 116,23 t C/ha, y el sistema menor de 8 años registró el menor almacenamiento con 88,75 t C/ha. Respecto al carbono presente en el suelo, no se observaron diferencias significativas entre los sistemas evaluados. Sin embargo, el sistema agroforestal con cacao de menos de 8 años mostró la mayor reserva de carbono en el suelo con 66,16 t C/ha, seguido por el sistema de 8 a 16 años con 62,38 t C/ha, mientras que el sistema agroforestal mayor de 16 años presentó la menor reserva con 59,08 t C/ha. El contenido de carbono orgánico del suelo es mayor en la capa superior, de 0 a 10 cm, siendo más pronunciada en el SAF Cacao de menos de 8 años con 28,36 tC/ha, seguido por el Cacao de más de 16 años con 27,74 tC/ha y el de 8 a 16 años con 27,11 tC/ha..

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política

La investigación se realizó en la estación experimental del Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) en SaiPai, Distrito Pueblo Nuevo en los meses de junio y octubre del 2023 se encuentra ubicada a unos 25 km de la ciudad de Tingo María, (**Figura 14**) en la plantación de un sistema forestal asociado, teniendo un tiempo de instalación de nueve años, contando con una hectárea (**Figura 18**).

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

Ubicado geográficamente UTM: E: 0388453 y N: 8991019; a una altitud de 680 m.s.n.m. para la zona alta y 695 m.s.n.m en la zona baja (**Figura 15**), las especies estudiadas en esta investigación fueron adaptadas a esta zona por el IIAP, ya que la especie *Schizolobium Amazonicum* se encuentran a valores inferiores de 1,200 m.s.n.m según Reynel et al. (2003), y la especie *Ladenbergia Oblongifolia* se encuentran entre 900 a 3,400 m.s.n.m según Serrano (2013).

#### 3.2. Materiales y equipos

En la presente tesis se emplearon diversos materiales y equipos para llevar a cabo la estimación y almacenamiento de carbono total, así como para el análisis de las propiedades físico-químicas del suelo, para la recolección de muestras del suelo se utilizó tubos y frascos muestreadores, bolsas de polietileno, telemetro de 100 metros, regla de 30 cm, respaldando así la correcta representatividad y conservación de las muestras.

Con respecto a la estimación y almacenamiento de carbono total, se recurrió a herramientas específicas como la cinta diamétrica, bolsas plásticas, machetes, pala recta.

Durante el desarrollo de la investigación, se empleó una variedad de equipos para llevar a cabo la recolección de datos, para las fotografías celular Redmi 9, balanza digital, GPS marca gamín, y una estufa, además de ello para el procesamiento de datos se empleó una laptop que contenga los siguientes programas como Microsoft Word, Excel, Power Point, Minitab 15 etc.

#### 3.3. Metodología

##### 3.3.1. Carbono almacenado en biomasa vegetal en un sistema forestal asociado

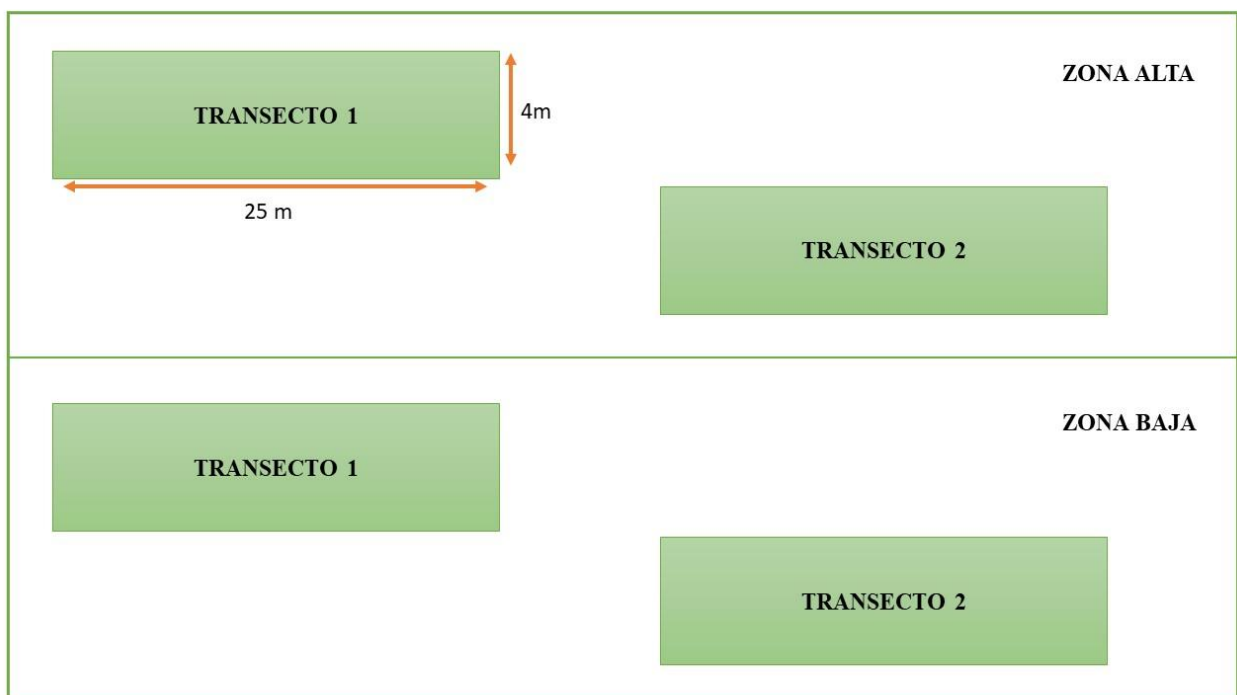
Para estimar el contenido de carbono se procedió a realizar las mediciones de las parcelas dividiéndolas en zonas alta y baja, las cuales presentan las siguientes características (**Figura 17**)

- Zona alta: se obtuvo un total de 41 árboles, 27 árboles de *Schizolobium Amazonicum* y 14 árboles de *Ladenbergia Oblongifolia*, siendo esta zona la más densa poblacionalmente y con especies más desarrolladas morfológicamente.

- Zona baja: se obtuvo un total de 34 árboles, 18 árboles de *Schizolobium Amazonicum* y 16 árboles de *Ladenbergia Oblongifolia*, siendo esta zona la menos densa poblacionalmente y las especies menos desarrolladas morfológicamente, cabe recalcar que en los últimos meses se observó en esta zona la presencia de un hongo, que aún se encuentra en proceso de identificación por parte del IIAP, dicho hongo afectó considerablemente el crecimiento de ambas especies.

Higuchi et al (1982), menciona que para plantaciones uniformes generalmente se trabaja con parcelas de 25 m de largo x 4 metros de ancho como se observa en la (**Figura 4**). Cada uno de estas se consideran transectos.

Dentro de los transectos establecidos se llevó a cabo las respectivas mediciones de los diámetros considerando este según (Higuchi et. al, 1982), igual o mayores de 5 cm, alturas totales, extracción de muestras con el barreno de pressler y calicatas para que posteriormente se analicen en la Universidad Nacional Agraria de la Selva.



**Figura 4.** Representación referencial de la plantación forestal IIAP.

**3.3.1.2. Determinación de la biomasa aérea.**

**- Biomasa arbórea total**

Se utilizó un modelo alométrico propuesto por Chave et al (2014), cabe mencionar que en esta fórmula tiene la variable de densidad básica donde ello se obtendrá mediante el barrenado de pressler (**Figura 22**) Manzo et al. (1997) para la obtención de datos mucho más certeros.

$$BA \left( \frac{kg}{arbol} \right) = 0,0673 \times (\delta \times DAP^2 \times H)^{0,976} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- BA = Biomasa arbórea (kg /árbol)
- $\delta$  = Densidad básica de la madera (g /cm<sup>3</sup>)
- DAP = Diámetro altura del pecho (cm)
- H = Altura del árbol (m)

**- Determinación del diámetro a la altura del pecho (DAP).**

Una vez determinadas las subparcelas a evaluar se procedió a contar y registrar a todos los árboles que se encuentran en ello. Para el DAP (**Figura 18**), la altura que se mide es de 1,30 metros al nivel del terreno, con una cinta métrica para así obtener la longitud de la circunferencia de los árboles, utilizando dicha fórmula mencionada por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2015).

$$DAP = \text{Longitud de la circunferencia (cm)} / \pi \dots\dots\dots(2)$$

**- Medición de la altura de los árboles**

Determiné la altura en metros midiendo la longitud perpendicular al suelo desde la base de un árbol hasta la yema terminal de este, utilizando un clinómetro Suunto para la medición.

**- Densidad básica**

Determiné la densidad básica utilizando lo propuesto por Manzo et al (1997) donde indica lo siguiente:

$$Vv = 3.1416 D^2 * L / 4 \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

- Vv = Volumen estimado del cilindro de madera (cm<sup>3</sup>)
- D = Diámetro interior del barrenado de pressler (0,5cm)
- L = Largo de la muestra de madera (cm)

Para finalizar se usó lo siguiente propuesto por Manzo et al (1997).

$$Db = Po / Vv \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

Po = Peso seco de la muestra (g)

Vv = Volumen estimado del cilindro de madera (cm<sup>3</sup>)

Para obtener la cantidad de biomasa total en la parcela (BAVT), se procedió a sumar la biomasa arbórea (BA) del pino chuncho y el árbol de la quina, teniendo como referencia de la fórmula a (Rügnitz et. al, 2009), fórmula del ICRAF. Para la parcela de 25m x 4m (teniendo un total de 100 m<sup>2</sup>)

$$BAVT (t/ha) = ((BA (kg)) / 1000 kg) \times 10000m^2 / 100 m^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$BAVT (t/ha) = BA \times 0,1 \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

BAVT = Biomasa arbórea vegetal total (t/ha)

BA = Biomasa total (Kg) en la parcela

0,1 = Factor de conversión en la parcela de 25 x 4

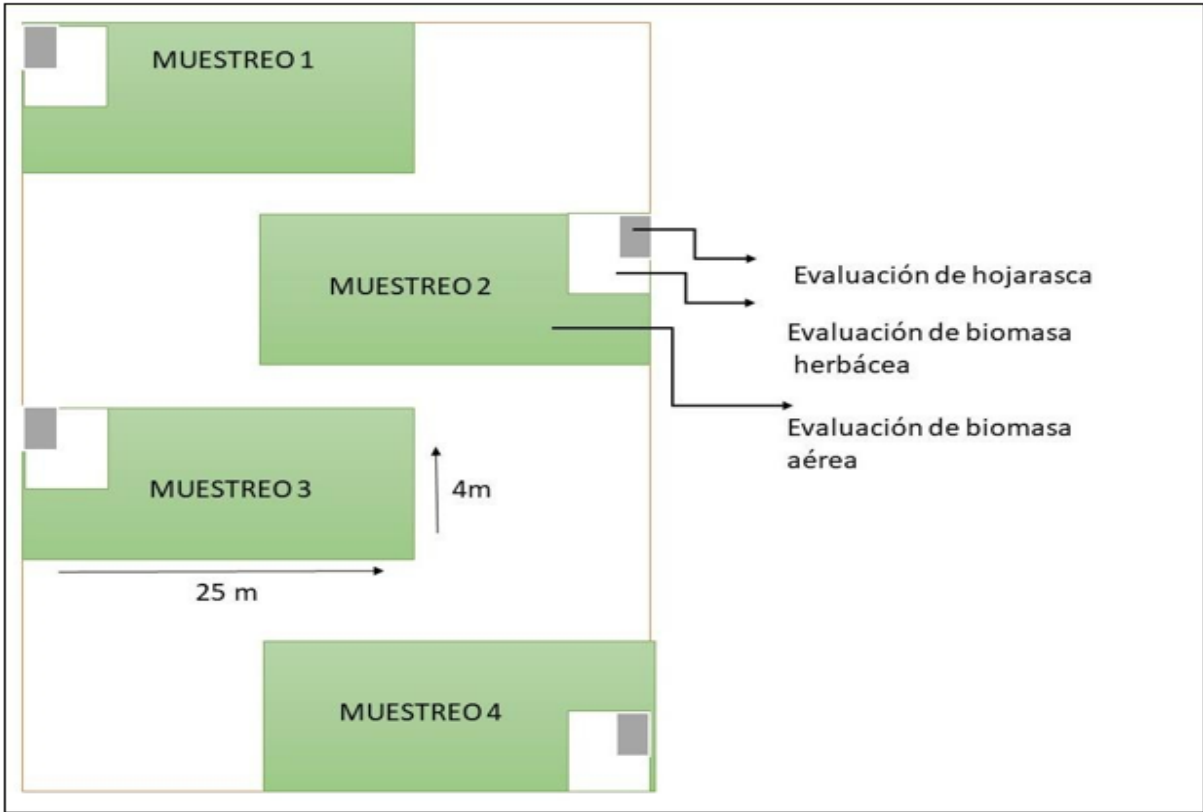
### 3.3.1.3. Determinación de biomasa herbácea y hojarasca

#### - **Recolección de las muestras de biomasa herbácea**

Se colectó la muestra herbácea de un área de 1,0 m<sup>2</sup> (1,0 x 1,0 m), establecidas de manera aleatoria dentro de las subparcelas de 25 x 4 m (**Figura 5**). Dentro de cada subparcela se colocó un cuadrante con elaboración previa para la obtención de componente herbáceo compuesto por el pasto, hierbas y arbustos (DAP < 2.5 cm) (Fonseca, 2017), luego se registró el peso fresco total para finalmente colocar en una bolsa, con los cuidados adecuados (**Figura 26**) (Schweize, 2010).

#### - **Recolección de las muestras de hojarasca.**

Para obtener muestras de hojarasca, se tomaron en cuenta parcelas temporales, (**Figura 20**) en un pequeño recuadro de las sub parcelas de 1,0 x 1,0 incluyendo las hojas o fragmentos de estas, recolectadas en un área de (0,50 m x 0,50 m), que es igual a 0,25 m<sup>2</sup>.



**Figura 5.** Diseño de las muestras tanto para aérea, herbácea y hojarasca.

Las muestras se secaron en una estufa proporcionada por la Universidad Nacional Agraria de la Selva a unos 105 °C alrededor de 48 horas, hasta llegar a tener un peso constante (**Figura 27**). Después se registró el peso seco de las muestras.

**- Determinación de la biomasa herbácea**

Para poder calcular la biomasa herbácea se utilizó a (Rügnitz et. al, 2009), fórmula del ICRAF (**Figura 21**).

$$BH \text{ (t/ha)} = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.01 \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

- BH = Biomasa arbustiva/herbácea (t/ha)
- PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)
- PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)
- PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (g)
- 0.01 = Factor de conversión cuando es 1m x 1m

**- Cuantificación de carbono fijado en biomasa herbácea**

Para evaluar la cantidad de carbono en la biomasa herbácea, teniendo en cuenta que la constante fue determinada por Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2000) se utilizará lo siguiente.

$$CBH(t/ha) = BAH \times 0.5 \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

CBH	=	Carbono en la biomasa herbácea (t/ha)
BH	=	Biomasa arbustiva/herbácea (t/ha)
0.5	=	Constante (determinada por IPCC)

#### - Determinación de biomasa en hojarasca

Se empleó la siguiente fórmula para calcular la biomasa presente en la hojarasca (Rügnitz et. al, 2009), fórmula del ICRAF:

$$BHO (t/ha) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04 \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

BHO	=	Biomasa de la hojarasca, materia seca (t/ha)
PSM	=	Peso seco de la muestra colectada (g)
PFM	=	Peso fresco de la muestra colectada (g)
PFT	=	Peso fresco total por metro cuadrado (g)
0.04	=	Factor de conversión

#### - Cuantificación de carbono fijado en biomasa de hojarasca

Para estimar la cantidad de carbono en biomasa de hojarasca, teniendo en cuenta que la constante fue determinada por Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2000) se utilizará lo siguiente.

$$CBHO (t/ha) = BHO \times 0.5 \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

CBHO	=	Carbono en la biomasa de hojarasca (t/ha)
BHO	=	Biomasa de la hojarasca, materia seca (t/ha)
0.5	=	Constante (determinada por IPCC)

#### - Determinación para el carbono almacenado en biomasa vegetal

**total.**

Para obtener el cálculo de la biomasa total de la vegetación aérea, se aplicó la siguiente fórmula según lo propuesto por (Rügnitz et. al, 2009), fórmula del ICRAF:

$$\text{BVT(t/ha)} = (\text{BAVT} + \text{BAH} + \text{BHO}) \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

BVT	=	Biomasa vegetal total (t/ha)
BAVT	=	Biomasa arbórea total(t/ha)
BH	=	Biomasa herbácea (t/ha)
BHO	=	Biomasa de la hojarasca (t/ha)

Con el objetivo de calcular la cantidad de carbono presente en la biomasa vegetal total, se aplicó la siguiente fórmula, considerando que la constante fue establecida por Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2000).

$$\text{CBVT(t/ha)} = \text{BVT} \times 0.5 \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

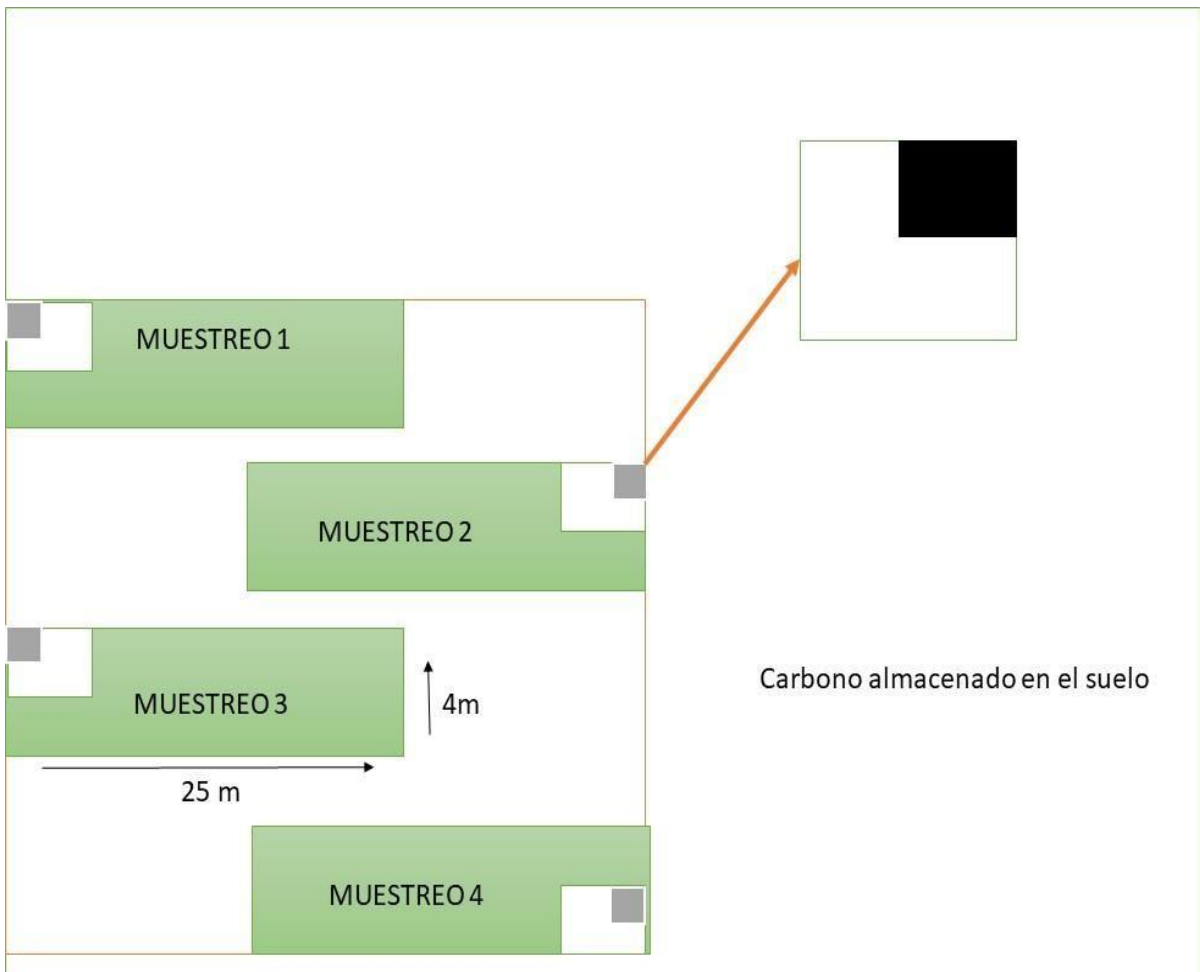
CBVT	=	Carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)
BVT	=	Biomasa vegetal total (t/ha)
0.5	=	constante (propuesto por el IPCC)

### 3.3.2. Carbono almacenado en el suelo en un sistema forestal asociado

#### - Muestreo de suelo para determinar el carbono orgánico del suelo

En la parcela, se seleccionaron 4 subparcelas (mismo lugar donde se obtuvo muestra de hojarasca) para realizar la extracción de muestras de la capa arable a profundidades de 30 cm, dividiendo en tres horizontes (0-10, 10-20, 20-30 cm). Para la obtención de muestras del suelo según la (**Figura 6**) se tomó con la ayuda de un pequeño tubo de conocido volumen (89.33 cm<sup>3</sup>) con la ayuda de un martillo y una pequeña tabla, extrayendo 3 muestras de suelo por subparcela (**Figura 23**) posteriormente estas muestras fueron mezcladas homogéneamente y colocadas en un recipiente de 500g aproximadamente, para luego ser almacenadas en bolsas de papel con el fin de sercarlas y ser llevadas al laboratorio para su análisis respectivo.

Para determinar el almacenamiento de carbono en el suelo, primero se procedió a determinar la densidad aparente en cada nivel de profundidad. Posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y secadas a una temperatura de 105°C, hasta alcanzar un peso constante (Rügnitz et. al, 2009).



**Figura 6.** Evaluación de carbono almacenado en el suelo.

**- Cálculo de la densidad del suelo, el peso y volumen**

Se utilizó lo siguiente (Rügnitz et. al, 2009) (**Figura 24**).

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \text{PSN/VCH} \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

- DA = Densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>)
- PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro (g)
- VCH = Volumen del cilindro (constante)

Se empleó la siguiente fórmula para determinar el peso del volumen de suelo por cada horizonte de muestreo.

$$\text{PVs (t/ha)} = \text{DA} \times \text{Ps} \times 0,01 \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

PV	=	Peso del volumen del suelo (t/ha)
DA	=	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Ps	=	Espesor o profundidad del horizonte del suelo(m)
0,01	=	Constante

### - Cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo

Se utilizó el método de Walkley y Black para estimar el carbono almacenado en el suelo, determinando el porcentaje de materia orgánica (%MO) mediante un análisis de laboratorio (**Figura 12**).

Se determinó la cantidad de carbono en el suelo utilizando la siguiente ecuación (Rügnitz et. al, 2009):

$$CS \text{ (t/ha)} = (PVs \times \%C) / 100 \dots \dots \dots (15)$$

Donde:

CS	=	Carbono en el suelo (t/ha)
PVs	=	Peso del volumen del suelo
%C	=	Resultados de carbono (%) analizados en laboratorio
100	=	Factor de conversión

### 3.3.3. Estimación de la captura de carbono total en el sistema forestal asociado

Se empleó la siguiente fórmula para calcular el carbono almacenado total en la parcela (Rügnitz et. al, 2009):

$$CT \text{ (t/ha)} = CBV + CS \dots \dots \dots (16)$$

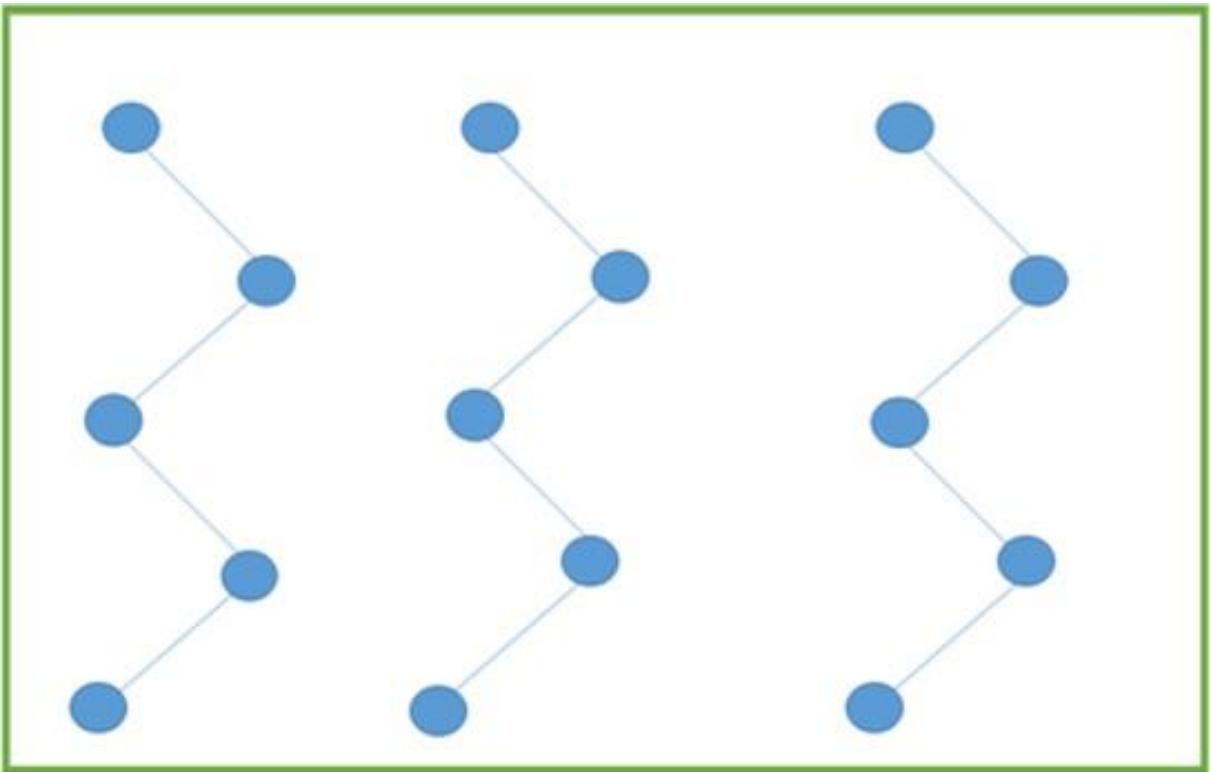
Donde:

CT	=	Carbono total de la parcela (t/ha)
CBVT	=	Carbono en la biomasa vegetal total
CS	=	Carbono en el suelo

### 3.3.4. Propiedades físicas y químicas en el sistema forestal asociado en su noveno año de instalación

Para esta etapa, se recolectaron 15 sub muestras siguiendo un patrón de zigzag

que abarcaba toda la extensión de la parcela (**Figura 7**), para la toma de las muestras se consideraron diversos factores como no muestrear un suelo relativamente húmedo, ya que es preferible esperar que drenen o sequen de 2 a 3 días. Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 30 cm, de las cuales se obtuvo 1 kg de muestra previamente homogenizada (**Figura 19**), (Schweize, 2010). Posteriormente esta muestra se llevó a un lugar donde se produjo su secado adecuado (**Figura 25**) para luego ser trasladada al Laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.



**Figura 7.** Recolección en zigzag de muestras del suelo para el análisis fisicoquímico.

- **Determinación de las propiedades físicas y químicas**

Una vez obtenidas las muestras en el campo y secarlas adecuadamente se llevó al laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. (**Figura 13**).

**Tabla 1.** Método para análisis físicos del suelo

Parámetro	Método
Porcentaje de arena	Hidrómetro

Porcentaje de arcilla	Hidrómetro
Porcentaje de limo	Hidrómetro
Clase textural	Triángulo textural

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (2022).

**Tabla 2.** Método para análisis químico del suelo

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>
pH	Potenciómetro
Materia orgánica	Walkley y Black
Nitrógeno total	Micro Kjeldahl
Fósforo disponible	Olsen modificado
Potasio disponible	Acetato de amonio
Calcio, Magnesio, Sodio	Absorción atómica
Aluminio más Hidrogeno	Método de Yuan

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (2022).

### 3.3.5. Criterio y análisis de la investigación

#### - Tipo de investigación

De acuerdo a las particularidades del estudio, este se califica como investigación aplicada, con enfoque en la evaluación y la capacidad de un sistema forestal asociado para almacenar carbono, la investigación buscó aplicar conocimientos para abordar problemas prácticos como la gestión sostenible de los recursos naturales y de esta manera generar prácticas en la gestión de bosques o plantaciones para maximizar su capacidad de almacenamiento de carbono.

#### - Nivel de investigación

La investigación es descriptiva, ya que se centra en cuantificar el carbono almacenado total en un sistema forestal asociado de dos especies forestales, ello conlleva a usar estadística descriptiva mediante la recolección de datos usando tablas y figuras.

#### - Diseño de investigación

La investigación presenta un diseño no experimental, dado que las variables independientes no serán manipuladas. En lugar de ello, se analizó las variables dependientes utilizando herramientas como Microsoft Excel, Spss, empleando estadística descriptiva como

promedios, mediana, media, mínimos, máximos, etc. Además, se aplicó la prueba de U Mann Whitney con el fin de determinar diferencia significativa. Posteriormente procesar esos datos y responder los objetivos establecidos en la investigación.

- **Variables de estudio**

Variables independientes:

*Schizolobium Amazonicum* (Pino chuncho)

*Ladenbergia Oblongifolia* (Árbol de la quina)

Variables dependientes:

Biomasa arborea (t/ha)

Biomasa herbácea (t/ha)

Biomasa de hojarasca (t/ha)

Biomasa vegetal total (t/ha)

Carbono en el suelo (t/ha)

Carbono de la biomasa vegetal total (t/ha)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Carbono almacenado en biomasa vegetal en un sistema forestal asociado

#### 4.1.1. Biomasa arbórea (kg/árbol)

En la **Tabla 3** se observa los resultados de la prueba de U Mann Whitney para la biomasa (kg) en las especies *L. oblongifolia* y *S. amazonicum* de 9 años, donde se registraron diferencias estadísticas altamente significativas con un p-valor (0,0001), debido a que el p-valor es inferior al 0,01; siendo la especie *S. amazonicum* con una media (88,37 kg) superior con respecto a la especie *L. oblongifolia* con una media (6,35 kg).

**Tabla 3.** Prueba de U Mann Whitney para la biomasa (kg) para dos especies en estudio

Especie	N	Media	W	P- valor
<i>L. oblongifolia</i>	30	6,35	516	0,0001**
<i>S. amazonicum</i>	45	88,37		

\*\* : Altamente significativo

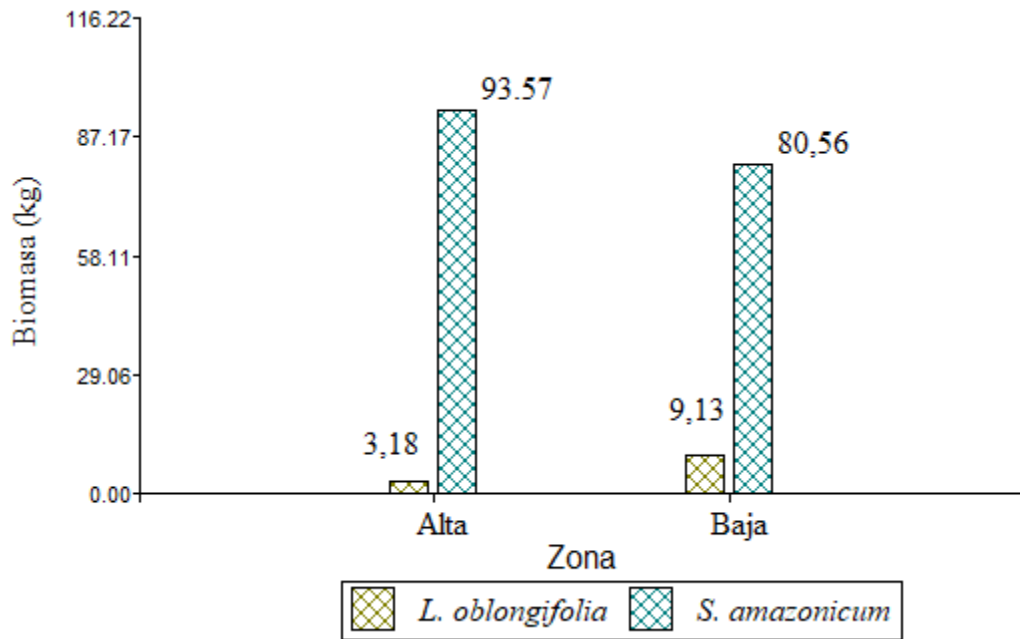
Como se observa en la **Tabla 4** de la prueba de U Mann Whitney para la biomasa (kg) para las zonas alta y baja de la investigación realizada, se presenta que no existe diferencias estadísticas significativas con un p-valor de 0,04857.

**Tabla 4.** Prueba de U Mann Whitney para la biomasa (kg) para las zonas

Zona	N	Media	W	P- valor
Alta	41	62,71	1357,5	0,04857 <sup>NS</sup>
Baja	34	46,95		

NS: no significativo

En la **Figura 8** se presenta la comparación de la biomasa (kg) de las especies *L. oblongifolia* y *S. amazonicum* para las zonas altas y zonas bajas de la investigación, donde en la zona alta la especie con mayor valor fue *S. amazonicum* con 93,57 kg de biomasa en comparación de la especie *L. oblongifolia* con 3,18 kg de biomasa, por otro lado, para la zona baja la especie *S. amazonicum* con 80,56 kg de biomasa siendo superior numéricamente con respecto a la especie *L. oblongifolia* con 9,13 kg de biomasa.



**Figura 8.** Comparación de la biomasa (kg) de dos especies en dos zonas

Con relación a lo anterior, los siguientes autores realizaron su investigación en diferentes especies forestales, Samaniego (2009) en su estudio en *Guazuma crinita* con 8 años. En los resultados se presentó una biomasa arbórea de 68,484 kg, del mismo, Revilla et al (2021) en su estudio en la especie *Guazuma crinita* sobre el almacenamiento de carbono en la región Ucayali. En los resultados se obtuvo un 44,48 kg de biomasa arbórea, valores que resultan inferiores en comparación a los valores de la investigación realizada. Por otro lado, Centeno (2003) en su estudio en la especie *Miconia barbeyana* en un sistema de bosque. En la metodología se delimitó el área de estudio, posteriormente se colectó las muestras y se evaluó las variables. En los resultados se obtuvo una biomasa arbórea 4160,753 kg, valor que resulta ampliamente superior en relación a la investigación ejecutada, probablemente a la edad, especie y población.

En otro sentido, en investigaciones realizada en la misma familia de la especie *Schizolobium*, Surco y Garate (2022) en su estudio del almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales, obtuvo en la parcela de *Schizolobium parahyba* asociado a cacao de 12 años con una biomasa arbórea 166,60 t/ha, asimismo, los autores Lema y Vera (2017) en su investigación sobre el almacenamiento de carbono de la especie *Schizolobium parahybum* en Ecuador a los 9 años, en los resultados en la biomasa arbórea se presentó un 121,38 t/ha.

En resumen, los valores que resultaron en las investigaciones de los autores difieren con la investigación realizada, esto se debe posiblemente a la especie de estudio y sus

características estructurales, la edad de la planta, y la densidad de población; por otro lado, se recalca que la biomasa arbórea es la suma de materia orgánica en ramas, tronco, hojas, corteza.

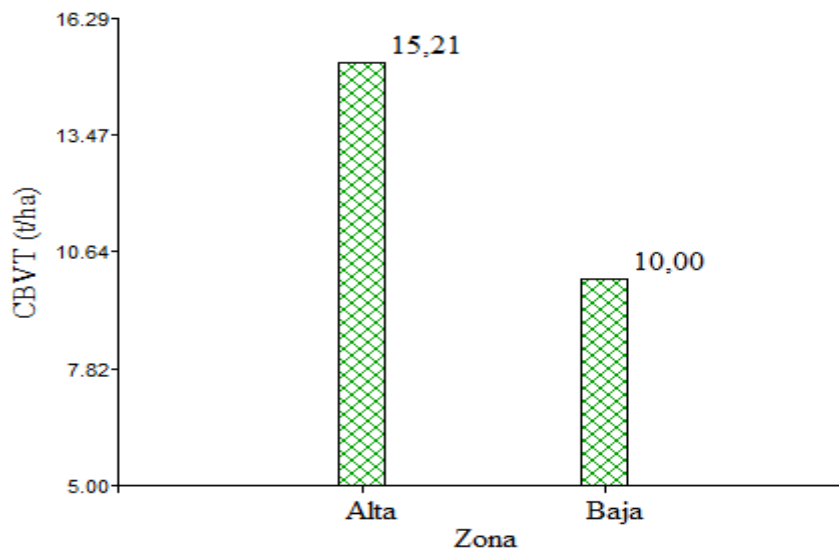
#### 4.1.2. Carbono en la biomasa vegetal

En la **Tabla 5** se puede observar el carbono en la biomasa vegetal total de las dos zonas de estudio: zona alta y zona baja, donde la zona alta presenta en la biomasa vegetal total BVT(t/ha) un promedio de 30,43 t/ha y en el carbono de la biomasa vegetal total CBVT (t/ha) un promedio de 15,22 t/ha; por otro lado, para la zona baja en la biomasa vegetal total BVT(t/ha) con un promedio de 20,02 t/ha, en el carbono de la biomasa vegetal total CBVT (t/ha) un promedio de 10,01 t/ha, presentando la zona alta valores superiores a comparación de la zona baja con valores inferiores.

**Tabla 5.** Carbono en la biomasa vegetal total

Zona	Transecto	BAVT (t/ha)	BH (t/ha)	BHO (t/ha)	BVT(t/ha)	CBVT (t/ha)
Alta	T <sub>1</sub>	12,10	0,28	19,60	31,98	15,99
	T <sub>2</sub>	13,61	0,41	14,86	28,89	14,44
<b>Promedio</b>		<b>12,86</b>	<b>0,35</b>	<b>17,23</b>	<b>30,43</b>	<b>15,22</b>
Baja	T <sub>1</sub>	7,51	0,74	11,76	20,01	10,00
	T <sub>2</sub>	8,44	1,05	10,53	20,02	10,01
<b>Promedio</b>		<b>7,98</b>	<b>0,90</b>	<b>11,14</b>	<b>20,02</b>	<b>10,01</b>

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>: transectos; BA: biomasa arbórea; BH: biomasa herbácea; BHO: biomasa hojarasca; BVT: biomasa vegetal total; CBVT: carbono de la biomasa vegetal total



**Figura 9.** Carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)

Como se observa en la **Figura 9** la comparación del carbono en la biomasa vegetal total en las dos zonas de estudio, donde se presenta a la zona alta con 15,21 t/ha sido superior numéricamente con respecto a la zona baja con 10,00 t/ha.

En este contexto, Timoteo (2014) descubrió que el carbono almacenado en la biomasa vegetal alcanzaba las 81,85 t.C/ha en el sistema agroforestal compuesto por *T. cacao*, *S. amazonicum* y *C. cajan*, valores que superaron los resultados obtenidos en otras investigaciones. Por otro lado, en investigación de otras especies forestales, Gorbitz (2011) obtuvo resultados sobre la captura de carbono en la biomasa en la especie *Calycophyllum spruceanum* de 8 años, en los resultados se obtuvo en el carbono (C.) de la biomasa vegetal total 34,226 t/ha, asimismo, en estudios con sistemas agroforestales, Hidalgo (2011) en su estudio sobre el almacenamiento de carbono en sistemas agrícolas y forestales en la ciudad de Tingo María, con la finalidad de evaluar el carbono que se encuentra almacenado en un sistema agroforestal con *Theobroma sp.* En los resultados se obtuvo un carbono presente en la biomasa vegetal total de 94,383 t/ha, resultados de ambos autores difieren con los de la investigación realizada, posiblemente al tipo de sistema y especies de estudio.

En tal sentido, la diferencia entre los valores de los autores y el resultado de la investigación puede atribuirse posiblemente por la influencia que tienen las características del suelo (físicas, químicas y biológicas), la diversidad estructural, la edad de la plantación o la especie en estudio. Es importante destacar que la principal disparidad observada en el lugar de estudio radica en que la zona alta se encuentra las especies con un desarrollo morfológico superior, lo que resulta en una mayor densidad vegetal a comparación de la zona baja.

#### **4.2. Carbono almacenado en el suelo en un sistema forestal asociado**

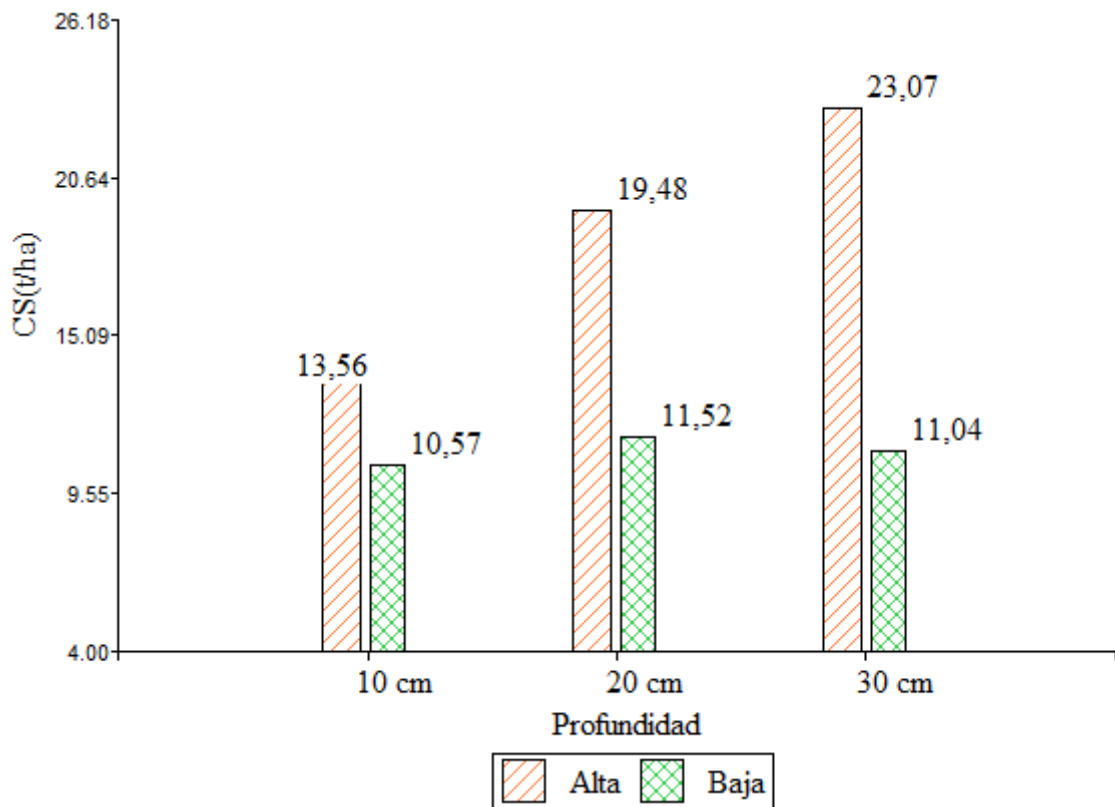
En la **Tabla 6** se muestra el carbono (t/ha) almacenado en el suelo para las dos zonas de estudio, donde la zona alta presenta en el transecto 1 un promedio de 59,49 t/ha, en el transecto 2 un promedio de 52,73 t/ha y un promedio total en la zona alta de 56,11 t/ha; por otro lado, la zona baja presenta en el transecto 1 un promedio de 34,96 t/ha, en el transecto 2 un promedio de 31,31 t/ha y un promedio total en la zona baja de 33,13 t/ha, siendo la zona alta superior a la zona baja en valores de carbono almacenado en el suelo.

**Tabla 6.** Carbono (t/ha) almacenado en el suelo

Zona	Transecto	Muestra	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	PVS (t/ha)	%C	CS(t/ha)	
Alta	T <sub>1</sub>	H1	1,30	1298,56	1,05	13,60	
		H2	1,46	2910,56	0,70	20,32	
		H3	1,54	4634,50	0,55	25,58	
	<b>Total</b>						<b>59,49</b>
	T <sub>2</sub>	H1	1,41	1410,50	0,96	13,53	
		H2	1,46	2910,56	0,64	18,63	
		H3	1,39	4164,33	0,49	20,57	
	<b>Total</b>						<b>52,73</b>
	<b>Promedio (t/ha)</b>						<b>56,11</b>
	Baja	T <sub>1</sub>	H1	1,42	1421,69	0,74	10,53
H2			1,49	2977,72	0,44	12,98	
H3			1,46	4365,83	0,26	11,44	
<b>Total</b>						<b>34,96</b>	
T <sub>2</sub>		H1	1,42	1421,69	0,75	10,62	
		H2	1,48	2955,33	0,34	10,05	
		H3	1,52	4567,33	0,23	10,64	
<b>Total</b>						<b>31,31</b>	
<b>Promedio (t/ha)</b>						<b>33,13</b>	

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>: Transectos; PVS: peso del volumen del suelo; %C: porcentaje de carbono; CS: carbono del suelo

En la **Figura 10** se observa la comparación del carbono (t/ha) almacenado en el suelo a tres profundidades, donde se presenta que a los 10 cm en la zona alta con un promedio de 13,56 t/ha y la zona baja con 10,57 t/ha; de la misma forma, a los 20 cm en la zona alta con un promedio de 19,48 t/ha y la zona baja con 11,52 t/ha; y finalmente, a los 30 cm en la zona alta con un promedio de 23,07 t/ha y la zona baja con 11,04 t/ha; para sintetizar, en la zona alta se presentaron valores superiores en comparación con la zona baja.



**Figura 10.** Carbono del suelo a tres profundidades

En referencia a lo anterior, en investigaciones de especies de la misma familia asociadas a especies agrícolas, Surco y Garate (2022) en su estudio del almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales que incluían especies de la familia Fabaceae asociadas a *Theobroma cacao*. En los resultados se obtuvo a la parcela de *Schizolobium parahyba* asociado a cacao de 12 años un carbono en el suelo de 32,31 t/ha, donde se obtienen valores similares a la investigación ejecutada. Por otro lado, en un estudio previo, Timoteo (2014) analizó el carbono almacenado, encontrando que en el sistema agroforestal conformado por *T. cacao*, *L. leucocephala* y *C. cajan*, había un carbono almacenado en el suelo de 25,83 t.C/ha, resultados que fueron inferiores en comparación con esta investigación.

En otro sentido, en estudios realizados en diversas especies, Alegre *et al* (2016) en su estudio sobre el almacenamiento de carbono en los sistemas agrícolas y forestales con *Theobroma sp*, en los resultados se logró obtener el carbono presente en el suelo 65,57 t C ha<sup>-1</sup>; asimismo, Zavala *et. al* (2021) en su estudio sobre la capturar y almacenar en carbono en varias edades bajo sistemas agroforestales, en los resultados el sistema agroforestal de cacao menores de 8 años presentó en el suelo con 66,16 t C/ha; además, los autores Silva y Olaya (2019) en su estudio en sistemas agrícolas y forestales en café en asociación con *Inga sp.* con 15 años, en los resultados se obtuvo el carbono en el suelo de 104,13 tC/ha, presentan valores

superiores a los de la investigación realizada.

En resumen, los diferentes rangos que se presentan en los párrafos anteriores sobre el carbono almacenado presentes en el suelo se pueden deberse a la influencia de las propiedades en el suelo, ya sean estas fisicoquímicas y biológicas, de igual manera como a las condiciones climáticas locales, especies y edad de las plantas. Es crucial destacar que los rangos establecidos muestran una mayor concentración de materia orgánica a una profundidad de 30 cm (Lifeder 2021), lo que subraya el aumento de carbono dentro de estos intervalos. Es de suma importancia señalar que el carbono almacenado en el suelo desempeña un papel importante en el ciclo del carbono y regula las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ello, es esencial incrementar y preservar los niveles de carbono en el suelo como medida para mitigar el calentamiento global.

#### 4.3. Almacenamiento de carbono total en un sistema forestal asociado

Se puede observar en la **Tabla 7** el carbono total de un sistema asociado a dos especies forestales *L. oblongifolia* y *S. amazonicum*, donde se presenta a la zona alta con un valor promedio de 71,33 t/ha siendo este superior numéricamente en comparación con la zona baja con un valor de 44,05 t/ha.

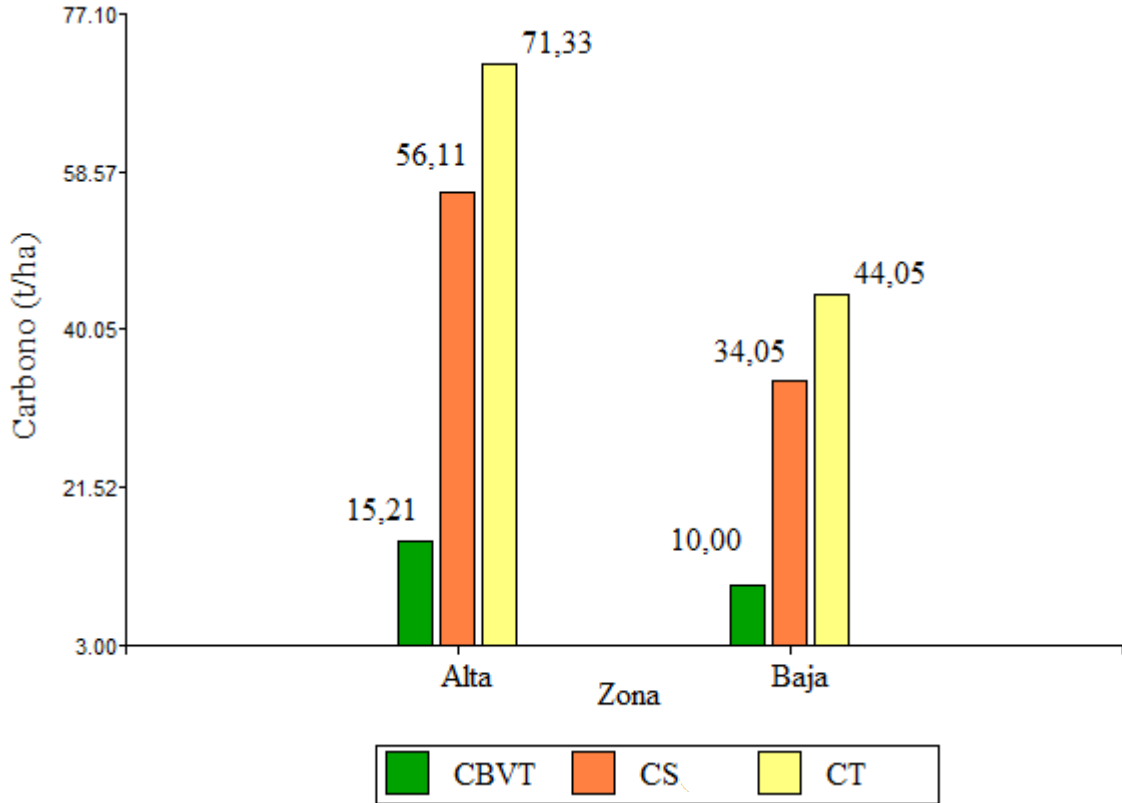
**Tabla 7.** Carbono total en un sistema asociado a dos especies forestales

Zona	Transecto	CBVT (t/ha)	CS (t/ha)	CT (t/ha)
Alta	T <sub>1</sub>	15,99	59,49	75,48
	T <sub>2</sub>	14,44	52,73	67,17
	<b>Promedio</b>	<b>15,22</b>	<b>56,11</b>	<b>71,33</b>
Baja	T <sub>1</sub>	10,00	34,96	44,96
	T <sub>2</sub>	10,01	33,13	43,14
	<b>Promedio</b>	<b>10,01</b>	<b>34,04</b>	<b>44,05</b>

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>: transectos; CBVT: carbono en la biomasa vegetal total; CS: carbono del suelo; CT: carbono total

Como se muestra en la **Figura 11** la comparación del carbono total asociado a dos especies *L. oblongifolia* y *S. amazonicum* en las dos zonas de estudio, donde se presenta los valores superiores en la zona alta con un 15,21 t/ha de carbono en la biomasa vegetal total (CBVT), un 56,11 t/ha de carbono almacenado en el suelo y un 71,33 t/ha de carbono total; por otro lado, con valores inferiores en la zona baja con un 10,00 t/ha de carbono en la biomasa

vegetal total (CBVT), un 34,05 t/ha de carbono almacenado en el suelo y un 44,05 t/ha de carbono total.



**Figura 11.** Carbono total asociado a dos especies forestales

En relación con lo anterior, en investigaciones de especies de la misma familia, Lema y Vera (2017) sobre el almacenamiento de carbono de la especie *Schizolobium parahybum* en Ecuador a los 9 años, obtuvo un carbono almacenado en la biomasa vegetal total de 60,69 t/ha, valor que se asemeja a los obtenidos en la investigación realizada. Teniendo este lugar de estudio características climáticas similares a la zona donde se realizó la investigación.

Por otro lado, en investigaciones de otras especies, Silva y Olaya (2019) en su estudio en el tema de sistemas agrícolas y forestales en café en asociación con *Inga sp.* con 15 años. Como resultado obtuvo un total de carbono almacenado de 133,27 tC/ha; también, en su investigación, Anaya (2010) en su estudio sobre el carbono almacenado de carbono en la especie *Guazuma crinita* a los 5 años. En los resultados se obtuvo el carbono almacenado total se presentó 95,62 t/ha, los valores de los autores son superiores a los del estudio realizado; por último, Gorbitz (2011) en su investigación referente a la captura y almacenamiento de carbono en la biomasa para la especie *Calycophyllum spruceanum* de 8 años. En los resultados obtuvo para el carbono total 34,346 t/ha.

En este contexto, la variación en los resultados se puede dar probablemente por la edad de la plantación, la especie, la densidad poblacional, propiedades del suelo, debido a que el CO<sub>2</sub> es almacenado por el proceso de fotosíntesis, el cual es un sistema que facilita a los árboles el poder capturar y almacenar el CO<sub>2</sub> que se encuentra en la atmosfera durante el periodo de su desarrollo y crecimiento.

#### 4.4. Propiedades fisicoquímicas del suelo, en un sistema forestal asociado

En la **Tabla 8** se muestra lo que son las propiedades fisicoquímicas del suelo en un sistema forestal asociado de las especies *L. oblongifolia* y *S. amazonicum* en las dos zonas, donde se muestra las propiedades físicas en la zona alta: Arena (50%), Arcilla (18%), Limo (33%) y clase textural franco; asimismo, la zona baja: Arena (50%), Arcilla (20%), Limo (31%) y clase textural franco; por otro lado, las propiedades químicas en la zona alta: pH (4,41), M.O. (1,900%), N (0,095%), C (1,102%), P (6,558 ppm) y K (91,955 ppm), en la zona baja: pH (4,51), M.O. (1,303%), N (0,065%), C (3,025%), P (3,025 ppm) y K (61,703 ppm).

**Tabla 8.** Propiedades fisicoquímicas del suelo

Zona	Físicas				Químicas					
	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural	Ph (1:1)	M.O. (%)	N (%)	C (%)	P (ppm) Disponible	K (ppm)
Alta	50	18	33	Franco	4,41	1,9	0,095	1,102	6,558	91,95
Baja	50	20	31	Franco	4,51	1,3	0,065	0,756	3,025	61,70
<b>Promedio</b>	<b>50</b>	<b>19</b>	<b>32</b>	<b>Franco</b>	<b>4,46</b>	<b>1,6</b>	<b>0,08</b>	<b>0,929</b>	<b>4,792</b>	<b>76,82</b>

En este sentido, en investigaciones en la misma especie *S. Amazonicum* en el mismo lugar, Saravia (2017) realizó un estudio sobre las propiedades físico-químicas, registrando en dicha zona una clase textural suelo franco, en las propiedades químicas pH (4,4), M.O. (2,69 %), N (0,12 %), P (19,7 ppm) y K (200,41 ppm), valores que difieren a los obtenidos en la investigación; asimismo García (2014) en su estudio sobre las propiedades físicas-químicas obtuvo en las propiedades físicas una clase textural franco arcilloso, en las propiedades químicas pH (3,36), M.O. (1,34 %), N (0,06 %), P (3,1 ppm) y K (62,3 ppm).

Por otra parte, en estudios de especie de la misma familia, Reyes (2022) en su investigación del desarrollo de la especie *Schizolobium parahyba* en la región de Huánuco, con la finalidad de evaluar y estudiar las propiedades físicas químicas del suelo. En sus resultados

en las propiedades físicas: Arena (63,68), Limo (9,04), Arcilla (27,28), clase textural franco arenoso; para las propiedades químicas: pH (5,3), M.O. (4,935 %), N (0,239 %), P (123,5 ppm) y K (234,2 ppm), valores que varían en comparación a los resultados de la investigación.

En este sentido, se presentan cambios en los valores de las propiedades físicas y químicas del suelo, las cuales pueden atribuirse a la influencia de factores climáticos, topográficos, tiempo y el uso del suelo en la zona de estudio. Además, es importante señalar que por recomendación del IIAP y considerándolo como aspecto adicional se evaluó las propiedades fisicoquímicas del suelo, las cuales también tienden a ser influenciadas por la presencia de materia orgánica proveniente de los árboles y los residuos que estas generan.

## V. CONCLUSIONES

- La biomasa arbórea (kg/árbol) por especie fue superior estadísticamente en *S. amazonicum* con un promedio 88,37 kg/árbol en un total de 45 individuos, y en el carbono almacenado en la biomasa vegetal se obtuvo un valor promedio de 15,22 t/ha y 10,01 t/ha para la zona alta y baja respectivamente, teniendo un resultado final de 25, 23 t/ha.
- El carbono almacenado en el suelo para la zona alta y baja fue de 56,11 t/ha y 33,13 t/ha respectivamente, teniendo un resultado final de 89,24 t/ha.
- El carbono total que incluye la biomasa del suelo y vegetal es de 71,33 t/ha en la zona alta y 44,05 t/ha en la zona baja, teniendo un resultado final de 115, 38 t/ha.
- Las propiedades fisicoquímicas del suelo en el sistema asociado de dos especies forestales en la zona alta: Arena (50%), Arcilla (18%), Limo (33%) y clase textural franco; asimismo, la zona baja: Arena (50%), Arcilla (20%), Limo (31%) y clase textural franco; por otro lado, las propiedades químicas en la zona alta: pH (4,41), M.O. (1,900%), N (0,095%), C (1,102%), P (6,558 ppm) y K (91,955 ppm), en la zona baja: pH (4,51), M.O. (1,303%), N (0,065%), C (0,756%), P (3,025 ppm) y K (61,703 ppm), teniendo como resultado final que el suelo es franco arenoso, con un pH promedio de 4,46 indicándonos que se encuentra en los valores de un suelo relativamente ácido, con una M.O. de 1,6 indicándonos un suelo moderadamente bajo de materia orgánica, con N de 0,08 el cual nos indica que es un suelo bajo en nitrógeno, con C de 0,92 el cual nos indica el nivel de carbono bajo, con P y K del suelo que están dentro del rango adecuado para crecimiento de las plantas.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

- Realizar un monitoreo continuo con el fin de comprender mejor las variaciones en el almacenamiento de carbono a lo largo del tiempo, debido que a largo plazo se podría registrar patrones estacionales.
- Generar investigaciones en otras áreas geográficas o ecosistemas similares para obtener una visión más amplia de la variabilidad en el almacenamiento de carbono y las propiedades del suelo.
- Profundizar en el estudio de las propiedades fisicoquímicos del suelo a diferentes profundidades para comprender mejor cómo se almacena y distribuye el carbono en capas más profundas.
- Considerar en otros estudios la influencia de factores ambientales como la lluvia, temperatura, topografía en el almacenamiento de carbono y las propiedades del suelo para entender mejor sus interacciones.

## VII. REFERENCIAS

- Acevedo, E., Carrasco, M., León, O., Silva, P., Castillo, G., Ahumada, I., y González, S. (2005). Criterios de calidad de suelo agrícola. Ministro de la Agricultura. Servicio agrícola y ganadero. Gobierno de Chile. 205 p.
- Alegre, J., Pocomucha, V., y Abregú, L. (2016). Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco. *Revista Ecología Aplicada*, 15(2), 107-114.
- Anaya, K. (2010). *Carbono almacenado en plantaciones disetáneas de Guazuma crinita Martius "bolaina blanca", en Tingo María – Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/938>.
- Andersson, L. (1994). *Ladenbergia oblongifolia (Mutis)*. *International Plant Names Index*. GBIF, 8(3), 315. <https://doi.org/10.15468/uhllmw>.
- Andina (13 de julio 2022). Árbol de la quina: conoce las propiedades medicinales de esta emblemática especie. <https://andina.pe/agencia/noticia-arbol-de-quina-conoce-las-propiedades-medicinales-esta-emblematica-especie-peruana-808503.aspx>.
- Arévalo, L., Alegre J., y Palm, Ch. (2003). Manual de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en Perú. *Publicación de STC - CGIAR Ministerio de agricultura*. Pucallpa, Perú. 24 p.
- Centeno, V. (2003). *Determinación de biomasa aérea de la especie Miconia barbeyana Cogniaux "paliperro" en el bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/678>.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., ... y Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20(10), 3177-3190.
- Cooperación Técnica del Gobierno Suizo. (1991). Manual de identificación de especies forestales. Proyecto de capacitación y extensión forestal. COTESU. Pucallpa. 93p.
- Flores, Y. (2019). Fichas Técnicas para Plantaciones con Especies Nativas en zona de Selva Baja. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/943>.
- Fonseca, W. (2017). Review of Methods for the Monitoring of Biomass and Vegetal Carbon in Tropical Forest Ecosystems. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 51(2): 91-109. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.51-2.5>.

- Francisco, J., Maire, G., y Christian, R. (2000). Interacción entre la materia orgánica del suelo, la textura del suelo y las tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*.
- García, L. (2014). *Determinación de la influencia del abono orgánico (tropimax) en las propiedades del suelo y en el crecimiento del pino chuncho (Schizolobium amazonicum)*. (Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva).
- Gorbitz, G. (2011). *Determinación de las Reservas de Carbono en la biomasa aérea en plantaciones de 8 años de Calycophyllum spruceanum b. en el Valle del Aguaytía*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1670>.
- Hidalgo, P. (2011). Determinación de las reservas totales de Carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María. *Aporte Santiaguina*, 4 (1), 87-92.
- Higuchi, N., Santos, J. D., y Jardim, F. (1982). Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. *Acta amazônica*. 103p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2000). Land Use, Land-Use Change, and Forestry: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Lema, M., y Vera, P. (2017). *Contenido de carbono en la biomasa aérea en el laurel (Cordia alliodora Ruiz & Pav) y pachaco (Schizolobium parahybum) en tres localidades del Litoral ecuatoriano, 2016-2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio institucional UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7608aeb8-4271-45cd-9c7c-a87ccd71e1d6/content>.
- Lifeder. (10 de agosto de 2021). Horizontes del suelo. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/horizontes-suelo/>.
- María, C., y Andrea, S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. 73 p.
- Marín, M. A. (2012). La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 51-59.
- Martin, N., y Adad, I. (2006). Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. *Disciplina Ciencias del Suelo*, 1, 2006.
- Martinez, E., Fuentes, P., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *SciELO*. 8(1), 68-96. <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>.
- Manzo, S. V., & Hernández, J. V. (1997). Método empírico para estimar la densidad básica en

- muestras pequeñas de madera. *Madera y bosques*, 3(1), 81-87
- Masera, O., y Benjamín, J. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61770102>.
- Meléndez, G., y Molina, E. (2001). Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica. *Memorias, laboratorio de suelos y foliares CIA/UCR. Centro de Investigaciones Agronómicas. San José, Costa Rica.*
- Ministerio Del Ambiente. (2015). Guía de inventario de la flora y vegetación, Registro de variables. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12082/07guia-a-de-flora-y-vegetacion.pdf?v=1530548605>.
- Moura-Costa, P. (2001). La Convención sobre el clima y el mercado de contrapartidas de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. *Unasylva*, 206, 34-40.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). Guía para la descripción de suelos. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>.
- Orrego, S., y del Valle, J. I. (2001). Existencias y tasas de crecimiento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 31p.
- Ortega, E. (2019). *Parámetros dasométricos de la vegetación, fisicoquímicos y de macrofauna del suelo de un ecosistema en proceso de restauración ambiental, en la estación experimental del IIAP-SAIPAI, distrito de pueblo nuevo.* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. 102p.
- Palomino, J., y Barra, M. (2003). Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad. *Pro Naturaleza, Programa Selva Central Oxapampa. Perú.*
- Remuzgo, J.; Alvarez, Alvaro, J.; Sales, F; y Valdivieso, G. (2020). Caracterización Taxonómica y Fitoquímica de *Cinchona pubescens* y *Ladenbergia oblongifolia* en el Ámbito del Valle Alto Huallaga – región Huánuco. *REBIOL*, 42(2), 242-255. <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.02.11>.
- Revilla, J., López, E., Guerra, W., García, D., Rojas, K., Dominguez, G., y Abanto, C. (2021). Modelos alométricos de biomasa de árboles de *Guazuma crinita* Mart. en plantaciones forestales de Ucayali, Perú. *Revista Scientia Agropecuaria*. 12 (4): 579-587.
- Reyes, J. (2022). Influencia de los diferentes sustratos en la calidad de plantones de *Schizolobium parahyba* (Pino chuncho) en fase de vivero, Distrito Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional

UNAS.

[https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2474/TS\\_JRF\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2474/TS_JRF_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T., Flores C., y Daza, A. (2003). *Árboles útiles en la Amazonía Peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies*. Consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF).
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., y Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consortio Iniciativa Amazónica (IA). Lima, Perú, 79.
- Ruiz, E. P., y Vichot, M. B. (2014). The retention of carbon in forest plantations. Study of case: enterprise forest "Cienfuegos". *Revista Cubana de Ciencias Forestales*.
- Samaniego, D. (2009). *Estimación de la cantidad de carbono capturado por Guazuma crinita en una plantación de 8 años en Ucayali*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1666>.
- Saravia, J. (2017). Variables cuantitativas y cualitativas en una plantación de Pino Chuncho (*Schizolobium amazonicum*) con tres años de establecido en el distrito José Crespo y Castillo. (*Práctica Pre-Profesional*, Universidad Nacional Agraria de la Selva).
- Schweize, L. (2010). Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. San José. CR.: INTA/MAG.
- Segura, M., y Kanninen, M., (2002). Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. CATIE., 50, 202 - 212.
- Serrano, F. (2013). *Identificación molecular de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) asociados a Cinchona pubescens (Rubiaceae): una especie invasora en la isla Santa Cruz (Galápagos)*. [Tesis doctoral, Universidad Técnica de Loja, Ecuador]. Repositorio de la UTPL. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/7940>.
- Silva, J., y Olaya, L. (2019). *Cuantificación de carbono almacenado en un sistema agroforestal de café (Coffea arabica L.), asociado con guaba (Inga edulis sp.), distrito Jaén-Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/133>.
- Surco. O., y Garate-Quispe, J. S. (2022). Reservas de carbono en cuatro sistemas agroforestales combinadas con Theobroma cacao L., Madre de Dios. *Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas*, 1(1), e147-e147.

- Timoteo, K. (2014). Carbono almacenado en tres sistemas agroforestales (SAF) durante el primer año de su instalación en el distrito de José Crespo y Castillo-Huánuco. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1068>.
- Toledo, E. (1997). Utilización industrial de nuevas especies forestales en Perú. *Revista Forestal Centroamericana Volumen 6, número 21 (octubre-diciembre), páginas 31-36*.
- Volke, T., Velasco-Trejo, J. A., y de la Rosa Pérez, D. A. (2005). Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 19-31.
- Weil, R. R., y Brady, N. C. (2016). The nature and properties of soils, ed. *Columbus, Ohio: Pearson*, 910.
- Zavala, J y Vega, L. (2021). Captura y almacenamiento de carbono en distintas edades del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales de Tingo María. *Libro de investigación*. <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/10/Zavala-Vega.-2021.pdf>.
- Zevallos, P. (1989). Taxonomía, distribución geográfica y status del género Cinchona en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

## **ANEXO**

Tabla 9. Variables evaluadas para la biomasa arbórea para el transecto 1 en la zona baja

<b>Especie</b>	<b>Nº</b>	<b>DAP(cm)</b>	<b>HT(m)</b>	<b>DB (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>
<i>Schizolobium Amazonicum</i>	1	15,28	13,25	0,31	55,20
	2	17,51	16,25	0,31	87,88
	3	14,64	14,50	0,31	55,48
	4	11,14	12,00	0,31	27,05
	5	11,14	14,25	0,31	31,99
	6	9,87	11,25	0,31	20,04
	7	14,64	14,00	0,31	53,61
	8	16,55	20,00	0,31	96,46
	9	17,19	16,75	0,31	87,33
	10	12,10	17,00	0,31	44,62
	11	16,87	21,50	0,31	107,44
<i>Ladenbergia Oblongifolia</i>	12	9,39	11,00	0,27	15,24
	13	7,38	4,00	0,27	3,55
	14	12,89	4,00	0,27	10,54
	15	6,68	3,50	0,27	2,57
	16	9,87	4,50	0,27	7,02
	17	8,59	3,50	0,27	4,19
	18	5,73	3,50	0,27	1,90
	19	7,16	7,00	0,27	5,78
	20	14,55	10,50	0,27	34,22

Tabla 10. Variables evaluadas para la biomasa arbórea para el transecto 2 en la zona baja

<b>Especie</b>	<b>Nº</b>	<b>DAP(cm)</b>	<b>HT(m)</b>	<b>DB (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>
<i>Schizolobium Amazonicum</i>	1	14,32	17,00	0,31	62,07
	2	12,10	19,50	0,31	51,02
	3	14,01	16,25	0,31	56,85
	4	21,65	24,50	0,31	198,52

<b>Especie</b>	<b>Nº</b>	<b>DAP(cm)</b>	<b>HT(m)</b>	<b>DB (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>
	5	19,10	26,00	0,31	164,77
	6	16,55	26,25	0,31	125,78
	7	17,19	24,00	0,31	124,06
	8	8,28	6,50	0,27	7,13
	9	8,28	6,50	0,27	7,13
	10	8,59	7,50	0,27	8,82
<i>Ladenbergia Oblongifolia</i>	11	6,68	7,00	0,27	5,05
	12	7,16	7,00	0,27	5,78
	13	5,73	7,00	0,27	3,74
	14	14,16	7,50	0,27	23,40

Tabla 11. Variables evaluadas para la biomasa arbórea para el transecto 1 en la zona alta

<b>Especie</b>	<b>Nº</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>HT (m)</b>	<b>DB (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>
	1	15,92	16,75	0,31	75,15
	2	7,32	6,75	0,31	6,80
	3	23,24	25,50	0,31	237,08
	4	13,05	12,75	0,31	39,09
	5	30,88	30,00	0,31	483,90
<i>Schizolobium</i>	6	11,55	9,00	0,31	21,94
<i>Amazonicum</i>	7	20,69	22,50	0,31	167,28
	8	11,46	13,00	0,31	30,90
	9	12,10	12,00	0,31	31,76
	10	9,23	10,50	0,31	16,45
	11	4,77	4,00	0,31	1,77
	12	15,60	17,75	0,31	76,45
	13	5,09	4,75	0,27	2,03
<i>Ladenbergia Oblongifolia</i>	14	8,28	8,50	0,27	9,26
	15	6,68	4,75	0,27	3,46

<b>Especie</b>	<b>Nº</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>HT (m)</b>	<b>DB (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>
	16	4,46	4,75	0,27	1,57
	17	3,50	4,25	0,27	0,88
	18	3,50	4,25	0,27	0,88
	19	2,23	2,00	0,27	0,17
	20	7,00	4,50	0,27	3,59

Tabla 12. Variables evaluadas para la biomasa arbórea para el transecto 2 en la zona alta

<b>Especie</b>	<b>Nº</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>HT(m)</b>	<b>DB (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>
	1	15,92	22,50	0,31	100,24
	2	7,32	21,00	0,31	20,58
	3	23,24	10,00	0,31	95,09
	4	22,28	20,50	0,31	176,53
	5	10,50	13,50	0,31	27,06
	6	10,19	12,00	0,31	22,71
	7	21,96	21,75	0,31	181,85
<i>Schizolobium</i>	8	22,28	20,50	0,31	176,53
<i>Amazonicum</i>	9	22,92	13,50	0,31	124,06
	10	13,05	11,00	0,31	33,84
	11	30,88	14,50	0,31	238,00
	12	11,55	18,75	0,31	44,91
	13	20,69	5,50	0,31	42,30
	14	11,46	13,25	0,31	31,48
	15	10,19	12,00	0,31	22,71
	16	10,50	11,50	0,27	19,81
	17	3,98	4,00	0,27	1,06
	18	3,50	3,50	0,27	0,73
<i>Ladenbergia Oblongifolia</i>	19	3,02	1,50	0,27	0,24
	20	3,02	2,50	0,27	0,39
	21	2,86	3,00	0,27	0,42

Tabla 13. Variables evaluadas para la biomasa y carbono del suelo

Zona	Transecto	Cod	Prof (m)	VC (cm <sup>3</sup> )	PSS (g)	DA(g/cm <sup>3</sup> )	PVSP	%C
Zona Alta	Transecto 1	H1	0,1	89,33	116	1,30	1298,56	1,05
		H2	0,2	89,33	130	1,46	2910,56	0,70
		H3	0,3	89,33	138	1,54	4634,50	0,55
	Transecto 2	H1	0,1	89,33	126	1,41	1410,50	0,96
		H2	0,2	89,33	130	1,46	2910,56	0,64
		H3	0,3	89,33	124	1,39	4164,33	0,49
Zona Baja	Transecto 1	H1	0,1	89,33	127	1,42	1421,69	0,74
		H2	0,2	89,33	133	1,49	2977,72	0,44
		H3	0,3	89,33	130	1,46	4365,83	0,26
	Transecto 2	H1	0,1	89,33	127	1,42	1421,69	0,75
		H2	0,2	89,33	132	1,48	2955,33	0,34
		H3	0,3	89,33	136	1,52	4567,33	0,23

Prof: profundidad; VC: volumen del cilindro; PSS: peso seco del suelo; DA: densidad aparente; PVSP: peso del volumen del suelo por profundidad; %C: porcentaje de carbono orgánico

Tabla 14. Densidad básica de las especies estudiadas.

Especie	Diámetro barreno (cm)	Longitud (cm)	Volumen Verde (cm <sup>3</sup> )	Peso Seco (g)	Densidad (g /cm <sup>3</sup> )	Densidad promedio (g /cm <sup>3</sup> )
<i>Schizolobium</i>	0,515	15,515	3,232	1,070	0,331	0,313
<i>Amazonicum</i>	0,515	15,615	3,253	1,004	0,309	
	0,515	17,615	3,669	1,095	0,298	
<i>Ladenbergia</i>	0,515	11,525	2,401	0,516	0,215	0,267
<i>Oblongifolia</i>	0,515	11,635	2,424	0,672	0,277	
	0,515	13,215	2,753	0,848	0,308	



# ANÁLISIS DE SUELOS



## 1. DATOS

SOLICITANTE:	ORTIZ SUAREZ DANILO	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	19/09/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	19/09/2023
DISTRITO:	PUEBLO NUEVO	FECHA DE REPORTE:	28/09/2023
CASERIO:	SAIPAI	RECIBO O FACTURA:	23471
CULTIVO:	PINO CHUNCHO - ARBOL DE LA QUINA	OBSERVACIONES:	FUNDO IIAP

## 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				Clase Textural	pH		M.O.	N	C
			Arena	Arcilla	Limo	1:1		1:1				
			%	%	%				dS/m			
1	S1279	ZA T1 H1	--	--	--	--	--	--	1.805	0.090	1.047	
2	S1280	ZA T1 H2	--	--	--	--	--	--	1.203	0.060	0.698	
3	S1281	ZA T1 H3	--	--	--	--	--	--	0.952	0.048	0.552	
4	S1282	ZA T2 H1	--	--	--	--	--	--	1.654	0.083	0.959	
5	S1283	ZA T2 H2	--	--	--	--	--	--	1.103	0.055	0.640	
6	S1284	ZA T2 H3	--	--	--	--	--	--	0.852	0.043	0.494	
7	S1285	ZB T1 H1	--	--	--	--	--	--	1.278	0.064	0.741	
8	S1286	ZB T1 H2	--	--	--	--	--	--	0.752	0.038	0.436	
9	S1287	ZB T1 H3	--	--	--	--	--	--	0.451	0.023	0.262	
10	S1288	ZB T2 H1	--	--	--	--	--	--	1.288	0.064	0.747	
11	S1289	ZB T2 H2	--	--	--	--	--	--	0.586	0.029	0.340	
12	S1290	ZB T2 H3	--	--	--	--	--	--	0.401	0.020	0.233	

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este Informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA  
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 12. Resultados de laboratorio para el carbono en el suelo.

LASAE



# ANALISIS DE SUELOS



## 1. DATOS

SOLICITANTE:	ORTIZ SUAREZ DANILO	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	19/09/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	19/09/2023
DISTRITO:	PUEBLO NUEVO	FECHA DE REPORTE:	28/09/2023
CASERIO:	SAIPAI	RECIBO O FACTURA:	23470
CULTIVO:	PINO CHUNCHO - ARBOL DE LA QUINA	OBSERVACIONES:	FUNDO IAP

## 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				pH	CE		M.O.	N	C	P		K	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidos Cambiables	Saturación de Aluminio		
			Clase Textural	Arena	Arcilla	Limo		dS/m	M.O.				N	C													disponible	disponible
				%	%	%		1:1	1:1				%	%													%	ppm
1	S1277	ZA PFQ	50	18	33	Franco	4.41	0.106	1.900	0.095	1.102	6.558	91.955	----	1.256	0.168	0.192	0.080	2.600	0.900	5.196	32.646	67.354	50.034				
2	S1278	ZB PFQ	50	20	31	Franco	4.51	0.086	1.303	0.065	0.756	3.025	61.703	----	1.197	0.128	0.107	0.092	3.200	0.400	5.124	29.743	70.257	62.451				

Los Resultados presentados son válidos unicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

ING. LUIS DERMAR MANSILLA MINAYA  
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 13. Resultados de laboratorio para las propiedades físicas y químicas.

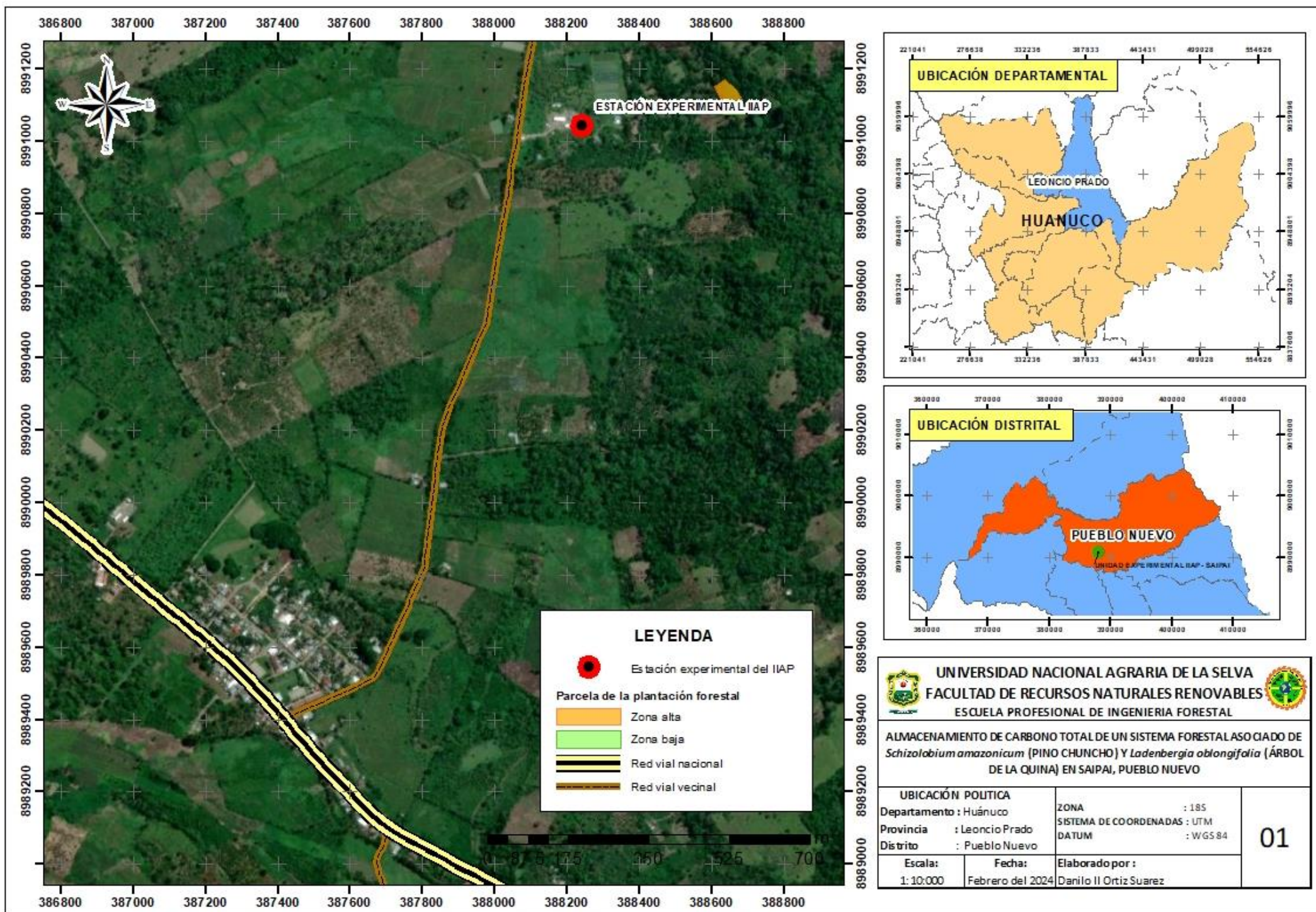


Figura 14. Mapa de ubicación del IAP.

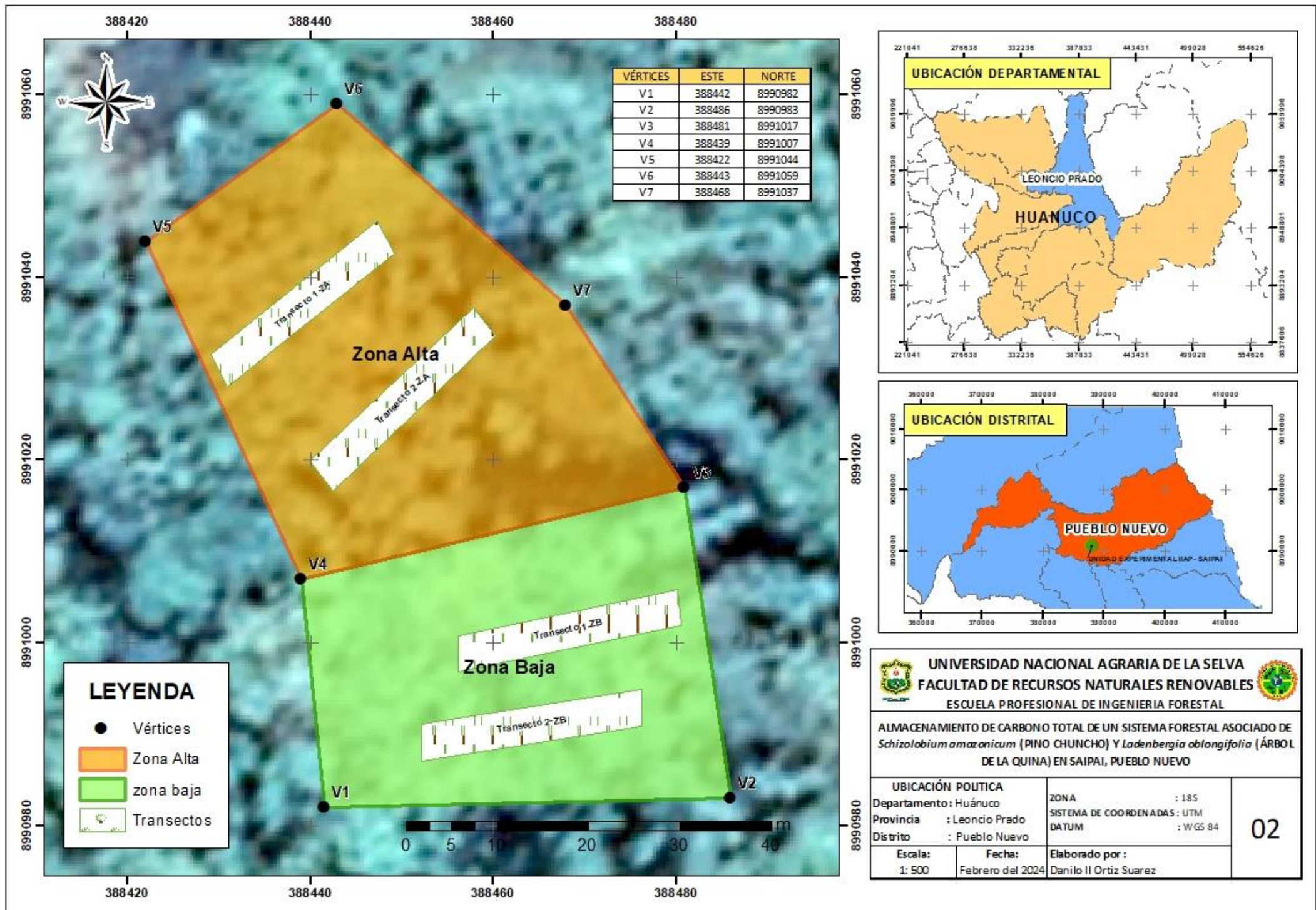


Figura 15. Mapa de ubicación de la parcela estudiada.



**Figura 16.** Reconocimiento del área a estudiar con el personal responsable del IIAP.



**Figura 17.** Medición del área a evaluar.



**Figura 18.** Evaluación de la circunferencia a la altura del pecho



**Figura 19.** Obtención de muestras en el área a evaluar.



**Figura 20.** Codificado de muestras de herbácea y hojarasca.



**Figura 21.** Colecta de la herbácea y hojarasca



**Figura 22.** Obtención de la muestra de la madera a través del barreno del Pressler



**Figura 23.** Obtención de la muestra de suelo a tres profundidades para su análisis en el laboratorio



**Figura 24.** Obtención de la muestra del suelo el cálculo de la densidad



**Figura 25.** Secado de muestras de suelo



**Figura 26.** Peso de las muestras colectadas en el campo



**Figura 27.** Muestras sometidas a la estufa para eliminar el exceso de humedad



**Figura 28.** Pesado de muestras de herbácea y hojarasca.



**Figura 29.** Medición de la longitud de las muestras obtenidas con el barreno de Pressler



**Figura 30.** Muestras obtenidas con el barreno de Pressler para cálculo de la densidad.



**Figura 31.** Área evaluada en el fundo del IIAP