

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y
AMBIENTAL**

**Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de dos sistemas
agroforestales (SAFs) en las provincias de San Ignacio y Jaén -
Cajamarca**

**TESIS PARA OPTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autores : Bach. Brayan Heíns Vílchez Gíl
Bach. Sandra Judith Romero Montenegro**

**Asesores : Dr. Segundo Sánchez Tello
M.Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles**

Línea de Investigación: Mitigación del Cambio Climático

**JAÉN – PERÚ
2024**

NOMBRE DEL TRABAJO

Cuantificación de carbono en la biomasa aérea.docx

AUTOR

Brayan Heíns Vílchez Gil Sandra Judith Romero Montenegro

RECuento DE PALABRAS

12311 Words

RECuento DE CARACTERES

47735 Characters

RECuento DE PÁGINAS

63 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

9.2MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 1, 2024 11:51 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 1, 2024 11:52 AM GMT-5

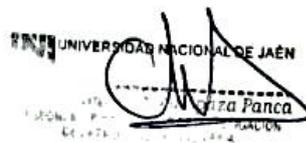
● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



J. T.
Dr. Legundo Sánchez Tello.

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 12 de febrero del año 2024, siendo las 16:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado de manera presencial, en la sala de docentes de la escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Presidente : Mg. CANDY LISBETH OCAÑA ZUÑIGA
Secretario : Dr. LUIS ARTURO GIL RAMÍREZ
Vocal : Dr. CIRILO MARIO CAIRA MAMANI, para evaluar la sustentación del:

- Informe final de tesis
 Proyecto de tesis
 Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

“Cuantificación de Carbono en la biomasa aérea de dos sistemas agroforestales (SAFs) en las provincias de San Ignacio y Jaén - Cajamarca” presentado por los bachilleres **Brayan Heíns Vilchez Gíl** y **Sandra Judith Romero Montenegro** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- Aprobar Desaprobar Unanimidad Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (15) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ò menos | () |

Siendo las 17:15 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 12 de Febrero del 2024


Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zuñiga
Presidente


Dr. Luis Arturo Gil Ramírez
Secretario


Dr. Cirilo Mario Caira Mamani
Vocal

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Sandra Judith Romero Montenegro identificada con DNI N° 75151330, egresada de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén; **declaro bajo juramento que:** Soy autor del Informe Final de Tesis, titulado: “**Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de dos sistemas agroforestales (SAFs) en las provincias de San Ignacio y Jaén – Cajamarca.**”

1. El mismo que presento **para optar el:** Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental
2. El Informe Final de Tesis, **no ha sido plagiado ni total ni parcialmente**, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. El Informe Final de Tesis presentado, **no atenta contra derechos de terceros.**
4. El Informe Final de Tesis **no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.**
5. Los datos presentados en los resultados **son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.**

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Informe de Tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del Informe Final de Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el Informe Final de Tesis haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 29 de enero de 2024.



Sandra Judith Romero Montenegro

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Brayan Heíns Vílchez Gil identificado con DNI N° 72003266, egresado de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén; **declaro bajo juramento que:** Soy autor del Informe Final de Tesis, titulado: **“Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de dos sistemas agroforestales (SAFs) en las provincias de San Ignacio y Jaén – Cajamarca.”**

1. El mismo que presento **para optar el:** Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental
2. El Informe Final de Tesis, **no ha sido plagiado ni total ni parcialmente**, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. El Informe Final de Tesis presentado, **no atenta contra derechos de terceros.**
4. El Informe Final de Tesis **no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.**
5. Los datos presentados en los resultados **son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.**

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Informe de Tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del Informe Final de Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el Informe Final de Tesis haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 29 de enero de 2024.



Brayan Heíns Vílchez Gil

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.1. Materiales de campo.....	10
2.2. Materiales de laboratorio.....	10
2.1. Materiales de gabinete.....	10
2.2. Población, muestra y muestreo.....	11
2.3. Metodología.....	11
2.4. Fuente de información.....	12
2.5. Métodos.....	13
2.6. Técnicas de Recolección de datos	13
2.7. Procedimientos.....	14
III. RESULTADOS	23
3.1. Caracterización de SAFs.....	23
3.2. Biomasa aérea de los SAFs evaluados.....	23
3.2. Carbono almacenado en los SAFs.....	27
IV. DISCUSIÓN	29
4.1. Biomasa aérea y carbono almacenado en el SAF1 de café y guaba.	29
4.2. Biomasa aérea y carbono almacenado en el SAF2 de cacao y laurel.....	29
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
5.1. Conclusiones.....	31
5.2. Recomendaciones.....	31
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
Agradecimiento	35
Dedicatoria.....	36
ANEXOS.....	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Biomasa aérea en t/ha por SAF</i>	24
Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la biomasa aérea en t/ha por SAF'S	26
Tabla 3. <i>Carbono almacenado en t/ha por SAF</i>	27
Tabla 4. <i>Estadísticos descriptivos de carbono almacenado en SAF'S</i>	27



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa de ubicación de los SAF's en estudio</i>	12
Figura 2. <i>Parcelas y subparcelas de evaluación en SAF1</i>	14
Figura 3. <i>Mapa de parcelas de evaluación para cacao y laurel en SAF2</i>	15
Figura 4. <i>Biomasa aérea de café y guaba en las parcelas del SAF1</i>	24
Figura 5. <i>Biomasa aérea de cacao y laurel en el SAF2</i>	25
Figura 6. <i>Boxplot de biomasa aérea en SAF1 y SAF2</i>	26
Figura 7. <i>Boxplot de carbono almacenado en SAF1 y SAF2</i>	28

RESUMEN

La variación climática es un problema ambiental producido por el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero. Actualmente se considera que la instalación de sistemas agroforestales (SAFs) permite reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera, debido a que un sistema agroforestal (SAF) captura y almacena carbono para transformarlo en oxígeno disponible para los seres vivos. En esta investigación se evaluaron dos SAFs con la intención de cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea (BA) de los componentes de cada SAF. Para ello, se estableció parcelas y subparcelas de medición; en el SAF1 de café (*Coffea arabica*) y guaba (*Inga edulis*), y en el SAF2 de cacao (*Theobroma cacao*) con laurel (*Cordia alliodora*). Para estimar el carbono almacenado en la BA de los SAFs se empleó método directo (solo para café) e indirecto, mediciones dasométricas y aplicación de ecuaciones alométricas. Los resultados obtenidos revelaron que la BA del SAF1 y SAF2 acumula 18.93t/ha y 6.9 t/ha respectivamente. Además, se calculó que el carbono almacenado en el SAF1 fue de 9.47 t/ha y el SAF2 registró 3.05 t/ha. Finalmente se determinó que la capacidad de captura de carbono en la BA del SAF1 fue superior a la obtenida en el SAF2 por una diferencia de 6.42 t/ha.

Palabras Clave: *Variación climática, efecto invernadero, ecuaciones alométricas*

ABSTRACT

Climate change is an environmental problem caused by the increase in the concentration of greenhouse gases. It is currently considered that the installation of agroforestry systems (AFS's) allows reducing the concentration of CO₂ in the atmosphere, because an agroforestry system (AFS) captures and stores carbon to transform it into oxygen available for living beings. In this research, two AFS's were evaluated with the intention of quantifying the carbon stored in the aerial biomass (BA) of the components of each AFS. For this purpose, measurement plots and subplots were established; in SAF1 of coffee (*Coffea arabica*) and guaba (*Inga edulis*), and in SAF2 of cocoa (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*). To estimate the carbon stored in the BA of the SAF's, direct (only for coffee) and indirect methods, dasometric measurements and application of allometric equations were used. The results obtained revealed that the BA of SAF1 and SAF2 accumulated 18.93t/ha and 6.9 t/ha respectively. In addition, it was calculated that the carbon stored in SAF1 was 9.47 t/ha and SAF2 registered 3.05 t/ha. Finally, it was determined that the carbon sequestration capacity in the BA of SAF1 was higher than that obtained in SAF2 by a difference of 6.42 t/ha.

Keywords: Climate variation, greenhouse effect, allometric equations.

I. INTRODUCCIÓN

El problema del cambio climático está estrechamente vinculado al desarrollo socioeconómico, ya que las emisiones de gases de efecto invernadero tienen relación con los patrones del crecimiento económico que afectan el ambiente y la sociedad (Olivo & Soto ,2010). Representando uno de los problemas ambientales más serios que enfrenta la humanidad desde hace más de una década, el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera se ha ido acelerando por las diversas actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles y la deforestación (Diaz, 2022). El gas de efecto invernadero más relevante del calentamiento global es el dióxido de carbono (CO₂), debido a que el volumen que se genera, permanece en la atmósfera durante largos periodos de tiempo; este gas es responsable del 50% del calentamiento global debido a la absorción de la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra (Jobbágy y Jackson, 2000 citado en Casanova, *et al.* 2011).

En la convención sobre el cambio climático de 1997 que se llevó a cabo en Kioto, Japón, se estableció un protocolo en donde los países desarrollados se comprometieron a cumplir ciertos objetivos para reducir las emisiones de dióxido de carbono. Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es secuestrándolo, fijándolo o capturándolo y manteniéndolo en la biomasa vegetal el mayor tiempo posible. Esto se logra a través de la fotosíntesis (Zavala y vega, 2021). Por lo tanto, la captura del carbono se ha presentado como una de las alternativas para mitigar las consecuencias de los gases de efecto invernadero, manteniéndolo el mayor tiempo posible secuestrado, ya sea en forma de biomasa o en el suelo (Jurado *et al.*, 2019).

El CO₂ es captado por las plantas para realizar sus funciones vitales a través del proceso de la fotosíntesis, por ello se enfatiza en la notable función que cumplen los sistemas agroforestales, ya que éstos incrementan en más de ocho veces su capacidad de retención de carbono en comparación a los sistemas de uso de la tierra tradicionales, además brindan múltiples beneficios consecuentes (Callo *et al.* 2002). Estos sistemas pueden mantener e incluso desarrollar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. En efecto, la agroforestería fomenta prácticas sostenibles de bajos costos que minimizan la alteración de los suelos y plantas, enfatizando la vegetación perenne y el reciclaje de nutrientes, contribuyendo a almacenar carbono a largo plazo (Nair *et al.*, 2009).

Por ello, surge el interés por realizar estudios que brinden información y demuestren la capacidad de acumulación de carbono de los sistemas agroforestales, tal como señalan Ortiz, *et al.* (2008) que el carbono almacenado en cacao y laurel durante 25 años varió entre 43 - 62 t C ha⁻¹, y las tasas de acumulación se encuentran entre 1,7 y 2,5 t C ha⁻¹ año⁻¹, al igual que Avellán *et al.* (2020) comprobaron que el laurel almacenó 1.87 t en su biomasa aérea. Además, Odar (2018), determinó que la biomasa aérea total de guaba fue de 22.441 t C/ha, de 15.393 t C/ha en pashaco y 10.254 t C/ha en café. Por otra parte, Cabrera, *et al* (2016) evidenciaron que el carbono almacenado en hojas de café fue de 28.9 %, en ramas 17.69 % y en fuste 45.55 %. Todo esto, permite reconocer la importancia de los sistemas agroforestales como estrategias sustentables para la regulación de las altas concentraciones de dióxido de carbono en el ambiente.

El CO₂ es el mayor responsable del calentamiento global debido a la cantidad y velocidad en que se emite (Dorian *et al.*, 2007). Por ello los sistemas agroforestales (SAF) representan sumideros importantes al fijar el CO₂ durante su dinámica de crecimiento y liberar oxígeno proporcionando un beneficio ambiental a todo el planeta. Entonces, una forma de disminuir los efectos del CO₂ es almacenarlo en la biomasa mediante la fotosíntesis. En la actualidad los sistemas agroforestales de la zona de estudio no cuentan con una cuantificación de carbono, por ello realizar una caracterización de esta índole podría significar que estos SAFs representan importantes sumideros de carbono y convertirse en un aporte estratégico que contribuya con la mitigación del cambio climático en nuestra región. Por lo tanto, esta investigación estuvo enfocada en cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea de dos sistemas agroforestales en las provincias de San Ignacio y Jaén en Cajamarca, y posteriormente comparar la capacidad que cada SAF tiene para almacenar carbono en sus componentes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales de campo

- 01 GPS marca Garmin modelo Oregon 650
- 01 balanza de 50 kg con una precisión de 10 g.
- 01 clinómetro marca Garmin
- 01 cámara digital
- 01 wincha 50 m
- 01 cinta métrica de 1.5 m
- 02 rollos de Pita Rafia de 30 m
- 01 machete
- 01 pértiga de madera de 4.5 m
- 01 frasco de pintura roja
- 01 brocha fina
- Cinta de embalaje roja
- Formatos de registro
- Bolígrafos
- 02 sacos blancos
- Pilas Duracell AA y AAA

2.2. Materiales de laboratorio

- 01 estufa
- 01 balanza electrónica
- 01 plancha Comal de acero inoxidable
- 03 cubos Palangana de acero inoxidable
- 09 sobres Manila tamaño oficio
- 02 pares de guantes de seguridad

2.1. Materiales de gabinete

- 02 laptops
- Útiles de escritorio
- Cable de datos

2.2. Población, muestra y muestreo

- Población: La población en estudio fue de 8 has de SAF's distribuidos en 04 has cada uno (SAF1 = café + guaba y SAF2 = cacao + laurel).
- La muestra establecida fue de 1.5 has, divididas en 10 parcelas de medición de 1 500 m² (0.15 ha) cada una; cinco parcelas de medición en el SAF1 (café + guaba) y cinco parcelas en el SAF2 (cacao + laurel).

La evaluación de café se realizó en cinco sub parcelas de 100 m² (10m x 10m), una dentro de cada parcela de 1 500 m² previamente establecida.

- Las parcelas de medición dentro de cada SAF fueron establecidas mediante un muestreo aleatorio simple (MAS), de esa manera todas las parcelas y subparcelas tienen la misma probabilidad de ser seleccionada como muestra. Además, se consideró las condiciones de pendiente del terreno y las áreas con densidad más homogénea.

2.3. Metodología

2.5.1. Ubicación del área de estudio

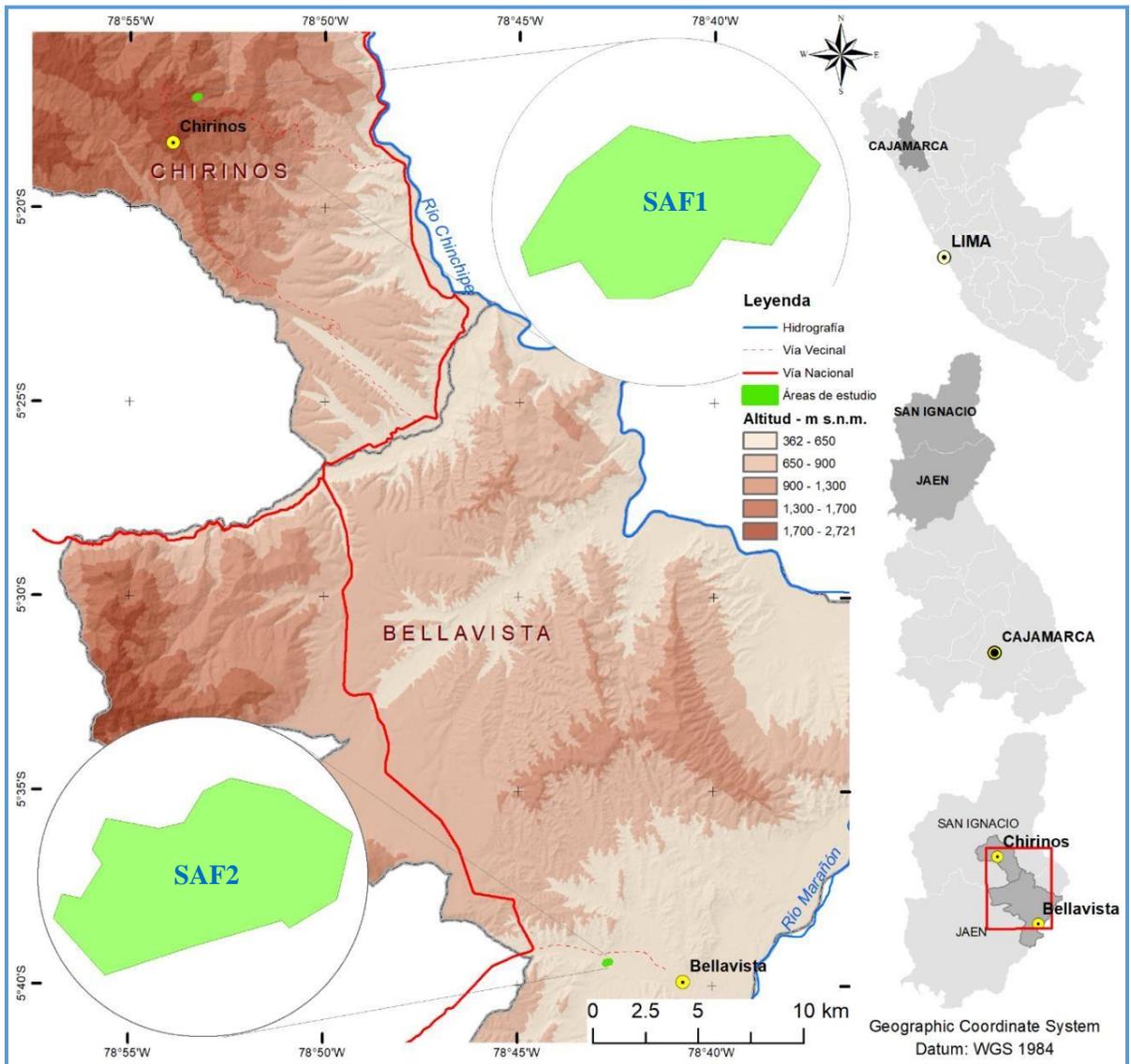
Los sistemas agroforestales donde se ejecutó este proyecto de investigación se localizan en las provincias de Jaén y San Ignacio, departamento de Cajamarca, Perú.

El Sistema agroforestal 1 (SAF1) en la parcela "El Níspero" se ubica en el Sec. Quitipishe del caserío La Lima, distrito Chirinos, provincia de San Ignacio - Cajamarca, a 1612 m.s.n.m., teniendo una precipitación de 3.0 mm/h y 22 °C de temperatura. Este SAF está compuesto por café (*C. arabica*), con distanciamiento de 1.20 m x 1.50 m y guaba (*I. edulis*) distribuida aleatoriamente en un área de 04 has en total. Fue instalado hace aproximadamente 14 años.

El sistema agroforestal 2 (SAF2) en la parcela "El Paraíso" se localiza en el distrito de Bellavista de la provincia de Jaén, este SAF está compuesto por cacao (*T. cacao*) y laurel (*C. alliodora*), se sitúa a 473 m.s.n.m.; con 0.0 mm/h de precipitación y 25.6 °C de temperatura. Cuenta con un área de 04 has y su propietario es el Sr. Laureano Mendoza. El SAF2 tiene 14 años de instalación y abarca diversas variedades de cacao, predomina el clon CCN51 con una densidad de siembra de 1111 plantas/ha (3.0 m x 3.0 m). Los árboles de laurel están establecidos en los bordes y algunos en el interior de la parcela.

Figura 1

Mapa de ubicación de los SAFs en estudio.



Nota. Los shapefile distritales, provinciales y departamentales se obtuvieron de la página oficial del Instituto Geográfico del Perú.

2.4. Fuente de información

2.4.1. Primaria

Esta fuente se origina en el momento exacto en el que ocurre un suceso, es decir, un testigo del evento describe el acontecimiento con sus propias palabras. En esta investigación se utilizó:

- Coordenadas geográficas de: SAFs, parcelas, subparcelas e individuos.

- Medidas dasométricas de los árboles: Circunferencia a la Altura del Pecho – CAP, Circunferencia del diámetro a una altura definida según la especie y Altura Total.
- Peso de plantas de café.

2.4.2. Secundaria

Son aquellos datos obtenidos de forma indirecta, como fórmulas, metodologías y materiales de muestreo, entre otros, son paráfrasis de fuentes primarias, tales como:

- Libros
- Tesis
- Guías
- Investigaciones
- Artículos científicos
- Documentos virtuales y físicos.

2.5. Métodos

Se aplicó el método analítico, primero se extrajeron datos (medidas dasométricas de los individuos evaluados) que fueron ordenados y transformados para la aplicación de las ecuaciones en los cálculos requeridos; después de sistematizar y consolidar los datos colectados se establecieron las relaciones de causa, efecto y naturaleza.

2.6. Técnicas de Recolección de datos

- Entrevista: se realizó una breve entrevista a los propietarios de las parcelas en estudio, con la finalidad de obtener información precisa y real sobre la estructura, área y manejo de los sistemas agroforestales que poseen (Anexo 1).
- Registros: Se utilizaron para plasmar los datos medidos en campo, para ello se elaboraron formatos de medición (Anexo 2) que posteriormente fueron digitalizados y procesados en Microsoft Excel.
- Observaciones directas: Fueron útiles para validar los datos registrados en los formatos y documentos.
- Tomas Fotográficas: Las cuales nos permitieron evidenciar el levantamiento de información en campo.

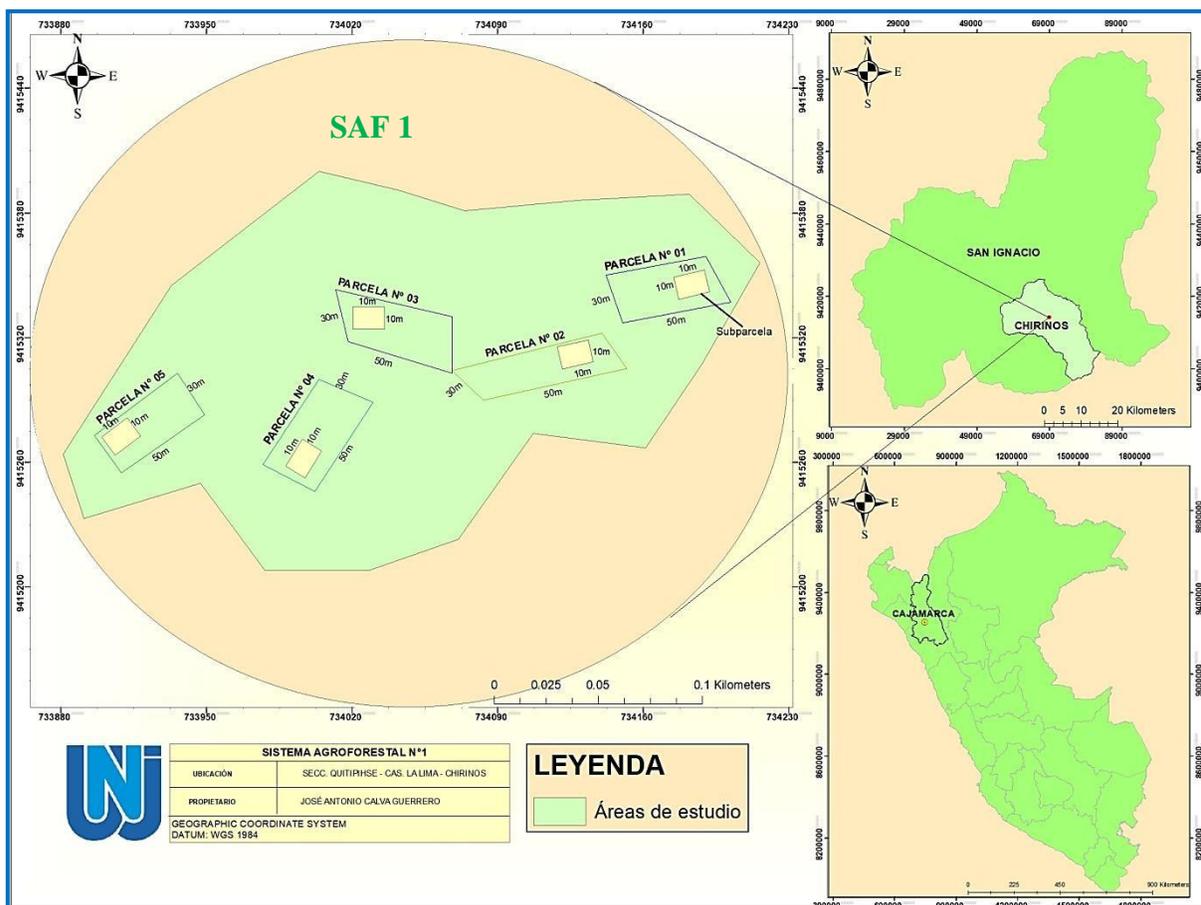
2.7.Procedimientos

2.7.1.Delimitación y georreferenciación de las unidades de muestreo.

Para la colecta de los datos de esta investigación, se delimitaron 10 unidades de muestreo (parcelas de medición) de 1 500 m², cinco en el SAF1 y cinco en el SAF2, es decir una muestra de 7 500 m² por cada SAF. Además, en el SAF1, se delimitaron cinco subparcelas de 100 m² en cada parcela preestablecida. La delimitación de las parcelas de medición se realizó con una cinta rafia color verde y el uso de una wincha de 50 m (Figuras 2 y 3). Se delimitaron las parcelas considerando las zonas con plantaciones más uniformes para lograr homogeneidad en sus valores.

Figura 2

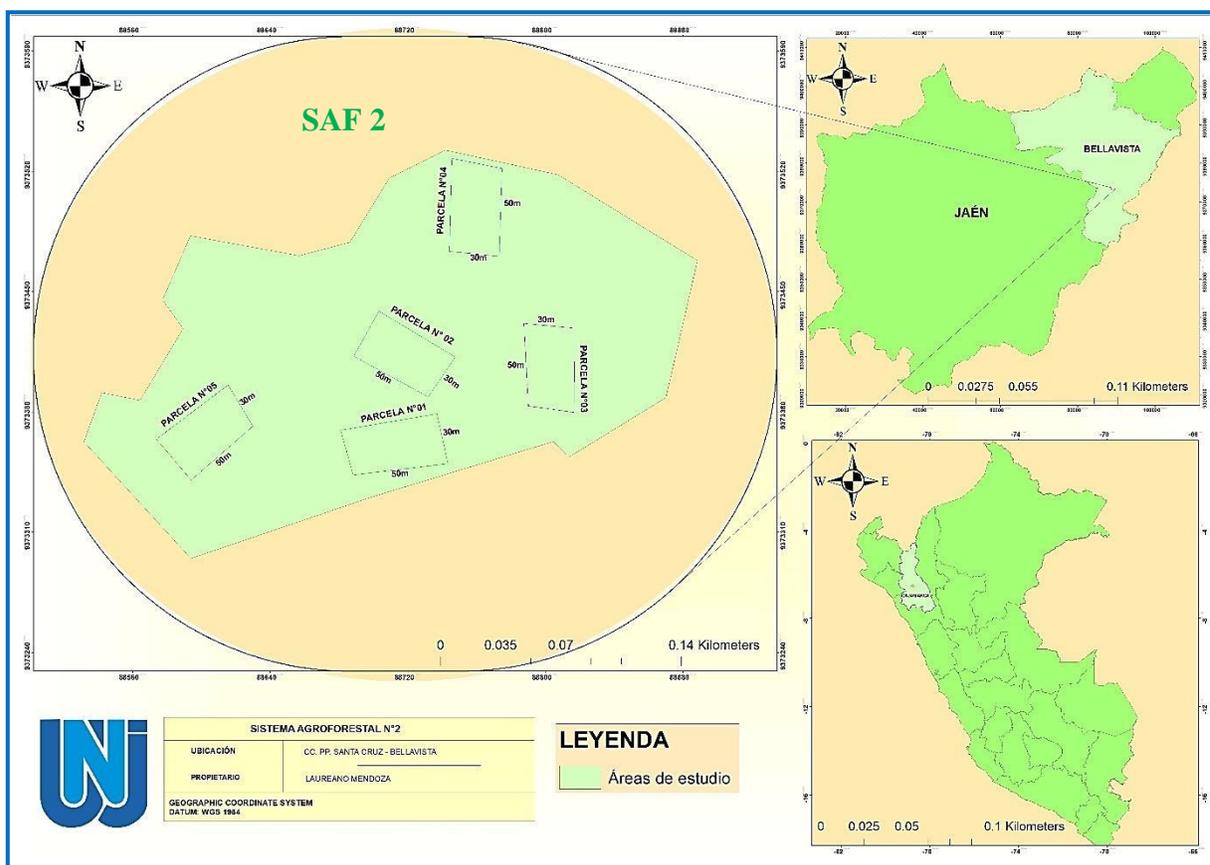
Parcelas y subparcelas de evaluación en el SAF1.



Nota. Los gráficos rectangulares representan las parcelas de medición, y los cuadros de color amarillo que se ubican en su interior, son las subparcelas para la evaluación de café. Los shapefile departamentales, provinciales y distritales se obtuvieron de la página del Instituto geográfico del Perú y las áreas de estudio fueron de elaboración propia.

Figura 3.

Mapa de parcelas de evaluación para cacao y laurel en SAF2.



Nota. Las parcelas establecidas están representadas por los gráficos rectangulares. Los shapefile departamentales, provinciales y distritales se obtuvieron de la página del Instituto geográfico del Perú y el área de estudio fue elaboración propia.

2.7.2. Medición y registro de variables dasométricas.

A. SAF1: Café + Guaba

En las parcelas de 1500 m² (Figura 2) se tomaron los datos de CAP de las plantas de guaba, posteriormente se midió el diámetro y altura total de todas las plantas de café en cada una de las subparcelas de 100 m² previamente establecidas. La circunferencia del fuste de las plantas de café fue medida con cinta métrica a 0.15m sobre el nivel del suelo y la altura fue estimada utilizando una pértiga de 4.5m de largo graduada a 10 cm (Connolly & Corea, 2007).

B. SAF2: Cacao + Laurel

Los gráficos rectangulares en el SAF2 (Figura 3) representan las cinco parcelas de evaluación de cacao y laurel, en un área individual de 1 500 m² (50 m x 30 m) donde se registraron los datos de diámetro y altura total de las plantas en estudio.

La circunferencia del fuste de los árboles de cacao fue medida con cinta métrica a 0.30 m sobre el nivel del suelo y la altura fue estimada utilizando la pértiga de 4.5 m de largo graduada a 10 cm (Alegre *et al.*, 2002).

En los árboles de guaba (SAF1) y laurel (SAF2) se midió la circunferencia a la altura del pecho (CAP) a 1.30 m sobre el nivel del suelo y las alturas fueron estimadas utilizando un clinómetro. Todas las medidas dasométricas fueron registradas en el formato de registro de medidas dasométricas (anexo 3).

2.7.3. Determinación de la Biomasa aérea en el SAF1.

2.7.3.1. Aplicación de método destructivo para estimar carbono en café.

Con la intención de ajustar una ecuación alométrica para estimar biomasa aérea en café, se midió, a través del método destructivo, 20 plantas de café elegidas aleatoriamente en las cinco subparcelas del SAF1. Las plantas, previamente medidas, fueron cortadas en la base, luego se separaron y pesaron por separado las hojas, ramas y fuste.

Se registró el peso húmedo de cada componente y los datos fueron registrados en el formato de registro de peso húmedo de café (anexo 4). Para determinar el peso seco, se extrajo tres muestras de 01 kg de cada componente (hojas, ramas y fuste), obteniéndose finalmente nueve muestras para ser secadas y pesadas en laboratorio (Ramirez *et al.*, 2014).

Este procedimiento se realizó debido a que la plantación de café iba a ser renovado por ello se optó por aplicar el método destructivo, lo cual nos permitiría realizar una comparación con los resultados de la aplicación de nuestra metodología (no destructiva).

2.7.3.1.1. Evaluación en laboratorio.

Las nueve muestras obtenidas en campo fueron pesadas (peso húmedo de la muestra) y colocadas en un sobre manila tamaño oficio, se etiquetaron para identificarlas con facilidad.

El peso inicial de cada muestra fue de 01 kg, teniéndose tres muestras de hojas, tres muestras de ramas y tres muestras de fuste, que fueron secadas en una estufa a una temperatura inicial de 85°C (Ramírez *et al.*, 2014).

Los tiempos de secado fueron variables, al transcurrir aproximadamente 20 horas, las muestras de hojas obtuvieron peso constante. A las muestras de las ramas le tomó aproximadamente 45 horas para llegar al peso constante. Para acelerar el proceso de secado de las muestras de fuste se elevó la temperatura a 105°C, y alcanzaron un peso seco constante a las 72 horas.

El registro del proceso de secado de las muestras de café extraídas mediante el método destructivo, se realizó en el formato diseñado para dicho procedimiento (anexo 5).

2.7.3.2. Determinación de la biomasa seca de las muestras de café.

Para determinar la biomasa seca se empleó la siguiente ecuación propuesta por Ramírez *et al.* (2014)

$$BS(c) = \left(\frac{PS(c)}{PH(c)} \right) \times PH \quad \text{Ec. 01}$$

Dónde:

BS(c): Biomasa seca del componente (kg)

PS(c): Peso seco de la muestra (g)

PH(c): Peso húmedo de la muestra (g)

PH: Peso húmedo del componente (kg)

2.7.3.2.1. Determinación de la biomasa aérea del café.

A partir de los valores de biomasa seca de cada componente obtenidos usando la Ec. 01, se determinó la BA de cada una de las 20 plantas muestreadas, usando la ecuación propuesta por Ramírez *et al.* (2014)

$$BA_t = BS_f + BS_h + BS_r \quad \text{Ec. 02}$$

Donde:

BA_t = Biomasa aérea total de la planta (kg)

BS_f = Biomasa seca del fuste (kg)

BS_h = Biomasa seca de las hojas (kg)

BS_r = Biomasa seca de las ramas (kg)

2.7.3.2.2. Determinación de carbono en la biomasa aérea del café.

Para calcular la cantidad de carbono contenido en la biomasa aérea por árbol, se utilizará la metodología desarrollada por el (ICRAF, 2009), con la siguiente ecuación:

$$CT = BA_t \times FC \quad \text{Ec. 03}$$

Donde:

CT: Carbono total (kg)

BA_t: Biomasa aérea total de la planta (kg)

FC: Fracción de carbono = 0.5

2.7.3.2.3. Procesamiento de datos en gabinete.

El diámetro fue obtenido usando las medidas de circunferencia aplicando la siguiente ecuación basada en el trabajo de investigación de Connolly y Corea (2007).

$$D = \frac{C}{\pi} \quad \text{Ec. 04}$$

Donde:

D: Diámetro (cm) del tronco a 0.15 m sobre el nivel del suelo (café), a 0.30 m (cacao) y a 1.30m (guaba y laurel).

C: Circunferencia del tronco medido a 0.15 m sobre el nivel del suelo (café), a 0.30 m (cacao) y a 1.30 m (guaba y laurel).

π: Número pi, igual a 3.1416.

La altura de los árboles de guaba y laurel fue determinada a partir de las lecturas del clinómetro aplicando la siguiente fórmula propuesta por Oñate (2018).

$$HT = (tg\alpha * l) + (tg\beta * l) \quad \text{Ec. 05}$$

Dónde:

HT: Altura total del árbol

tg: tangente

α : Ángulo con vista hacia el ápice del árbol

β : Ángulo con vista hacia la base del árbol

l: Distancia entre el árbol y el observador.

En el anexo 6 se presentan los datos obtenidos de DAP y HT.

2.7.3.3. Estimación de biomasa aérea en el SAF1.

➤ Biomasa Aérea de Café

La BA del café fue estimada aplicando la ecuación propuesta por Andrade *et al.*, (2016) con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.82$

$$BA_{café} = \{0.36 - 0.18 * D_{15} + 0.08 * D_{15}^2\} \quad \text{Ec. 06}$$

Dónde:

$BA_{café}$ = Biomasa aérea del café (kg árbol⁻¹).

D_{15} = Diámetro medido a 0.15 m del nivel del suelo (cm).

➤ Biomasa Aérea de Guaba

La BA de la guaba fue estimada mediante la ecuación propuesta por Brow *et al.* (1989), con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.97$, (citado por Connolly & Corea, 2007).

$$BA_{guaba} = \{-2.134 + 2.530 * Ln(DAP)\} \quad \text{Ec. 07}$$

Dónde:

BA_{guaba} = Biomasa aérea de la guaba (kg árbol⁻¹)

Ln = Logaritmo natural

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho, medido a 1.30 m del nivel del suelo (cm).

- Cálculo de la biomasa aérea total de las parcelas del SAF1.

Tras procesar los datos a través de ecuaciones para estimar BA de café y guaba, se calculó la biomasa aérea total de cada parcela del SAF1 con la siguiente ecuación. (Connolly & corea, 2007):

$$BA_{par-SAF1} = (15 * \sum_{i=1}^n BA_{Cafe}) + \sum_{j=1}^m BA_{Guaba} \quad \text{Ec. 08}$$

Dónde:

$\sum_{i=1}^n BA_{par-SAF1}$ = Biomasa aérea total por parcela (kg parcela-1)

$\sum_{j=1}^m BA_{Cafe}$ = Sumatoria de la biomasa aérea de los “n” árboles de café dentro de la parcela.

BA_{Guaba} = Sumatoria de la biomasa aérea de los “m” árboles de guaba dentro de la parcela.

El valor de biomasa por parcela de café fue multiplicado por 15 debido a que ésta fue determinada en subparcelas de 100 m² dentro de las parcelas de 1 500 m².

2.7.4. Determinación de la Biomasa aérea en el SAF2.

- Biomasa Aérea de cacao

Para estimar la biomasa aérea del cacao se utilizó la ecuación alométrica sugerida por CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), citada en Cerda *et al.* (2013):

$$\text{Log} B = (-1,684 + 2,158 * \text{Log} (d_{30}) + 0,892 * \text{Log}(HT)) \quad \text{Ec. 09}$$

$$B = e^{(-1,684+2,158*\text{Log} (d_{30})+0,892*\text{Log}(HT))}$$

Dónde:

B: Biomasa por árbol de cacao (kg)

e: épsilon (2.8172)

Log: Logaritmo base 10

d₃₀: diámetro (cm) del tronco a 30 cm sobre el suelo.

HT: Altura total (m)

➤ Biomasa Aérea de Laurel

Según CATIE, citado por Cerda *et al.* (2013) para estimar biomasa aérea de laurel (*C. alliodora*) sugiere la siguiente ecuación:

$$\text{Log } B = (-0,94 + 1,32 * \text{Log} (dap) + 1,14 * \text{Log}(HT)) \quad \text{Ec. 10}$$

$$B = e^{(-0,94+1,32*\text{Log} (dap)+1,14*\text{Log}(HT))}$$

Dónde:

B: Biomasa por árbol de laurel (kg)

e: épsilon (2.8172)

Log: Logaritmo base 10

dap: diámetro de fuste a la altura del pecho, medido a 1.30m del nivel del suelo (cm)

HT: altura total (m).

➤ Cálculo de la biomasa aérea total de la parcela (SAF2)

Después de aplicar las ecuaciones para evaluar BA de cacao y laurel en el SAF2, se calculó la BA total de cada parcela del SAF2 con la siguiente ecuación:

$$BA_{par-SAF2} = \sum_{i=1}^n BA_{Laurel} + \sum_{j=1}^m BA_{Cacao} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^n BA_{par-SAF2} = \text{Biomasa aérea total (kg parcela}^{-2}\text{)}$$

$\sum_{j=1}^m BA_{Laurel}$ = Sumatoria de la biomasa aérea de los “n” árboles de laurel dentro de la parcela.

BA_{Cacao} = Sumatoria de la biomasa aérea de los “m” árboles de cacao dentro de la parcela.

2.7.5. Determinación de la biomasa por hectárea

Después de aplicar las ecuaciones para determinar la biomasa aérea por cada parcela. Se procedió a calcular los datos de biomasa en kilogramos por hectárea (kg ha⁻¹) de cada SAF.

Para cada caso, se sumó la biomasa de las cinco unidades muestrales de cada parcela y se multiplicó por el factor de extrapolación determinado dividiendo 10000 m² ha⁻¹ entre el área total de muestreo en m².

➤ Biomasa aérea del SAF1 (kg ha⁻¹)

$$BA_{SAF1} = \sum_{i=1}^5 B_{par-SAF1} * \frac{10\ 000\ m^2\ ha^{-1}}{7\ 500\ m^2}$$

➤ Biomasa aérea del SAF2(Kg ha⁻¹)

$$BA_{SAF2} = \sum_{j=1}^5 B_{par-SAF2} * \frac{10\ 000\ m^2\ ha^{-1}}{7\ 500\ m^2}$$

Además, se determinó la cantidad de biomasa en toneladas por hectárea (t ha⁻¹), dividiendo los valores de biomasa en kg ha⁻¹ entre 1 000.

➤ Biomasa aérea en t ha⁻¹

$$BA_{t,ha}^{-1} = \frac{BA_{SAF}(kg\ ha^{-1})}{1000-\frac{kg}{t}}$$

2.1.1. Cuantificación de carbono en la biomasa aérea

La cuantificación de carbono en la BA de los SAFs evaluados, se realizó utilizando el factor de conversión determinado por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), empleándose la siguiente fórmula:

$$CT = BA \times FC \quad \text{Ec. 12}$$

Dónde:

CT = Carbono Total (t h a⁻¹)

BA = Biomasa Aérea (t ha⁻¹)

FC = Factor de conversión equivalente a 0.5.

2.1.2. Análisis estadístico descriptivo.

El análisis estadístico descriptivo de datos, se realizó con la finalidad de resumir y maximizar la comprensión de nuestros resultados. Por ello se utilizó estadística descriptiva a través de tablas estadísticas y gráficos que expresan medidas de tendencia central y medidas de dispersión.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de SAFs

EL SAF 1 tiene componentes arbóreos mixtos y multiestratificados. En las subparcelas de 100m² se evaluaron alrededor de 473 plantas de café y en las parcelas de 1500 m² se identificaron 69 plantas guaba. Estas parcelas y subparcelas se delimitaron tomando en cuenta la distribución más homogénea posible de los individuos a evaluar. La plantación de café posee distanciamiento de 1.20m x 1.50m, los ejemplares de guaba se encuentran distribuidos al azar en toda el área del terreno. La edad promedio de instalación de café es de 14 años y de la guaba aproximadamente cuenta con 7 años.

En este SAF se determinó la existencia de dos capas sobresalientes, una formada por plantas de café con hasta 3.6 m de altura y otra compuesta por guaba con 14.25 m de altura. Además, se reconoció frutales como plátanos, pajurillos, limas y guayabas.

El SAF 2 está compuesto por cacao y laurel definiendo dos estratos muy marcados. Las parcelas de 1500 m² fueron establecidas considerando las áreas en donde los dos cultivos a evaluar estaban mejor distribuidos. En dichas parcelas se evaluaron 1413 plantas de café y 66 plantas de laurel.

La plantación de cacao posee distanciamiento de 3.0m x 3.0m, los ejemplares de laurel están distribuidos al azar en toda el área del terreno. El cacao tiene 14 años de edad y el laurel un aproximado de 25 años. Además, se evidenció dos capas de vegetación claramente diferenciable, una formada por plantas de cacao con altura hasta de 5.7 m y otra compuesta por laurel con altura máxima de 16.95 m.

3.2. Biomasa aérea de los SAFs evaluados

Los resultados expresados en toneladas por hectárea de biomasa aérea se muestran en la Tabla 1. Se observa que el SAF1 presenta una mayor cantidad de biomasa (18.93 t/ha) que el SAF2 (6.09 t/ha). También se detecta que existe heterogeneidad en los valores de biomasa entre parcelas de cada SAF.).

Tabla 1

Biomasa aérea en t/ha por SAF.

N° DE PARCELA	SAF1 (t/ha)	SAF2 (t/ha)
1	11.69	4.77
2	15.95	5.98
3	16.91	4.94
4	21.01	4.03
5	29.1	10.71
Promedio	18.93	6.09

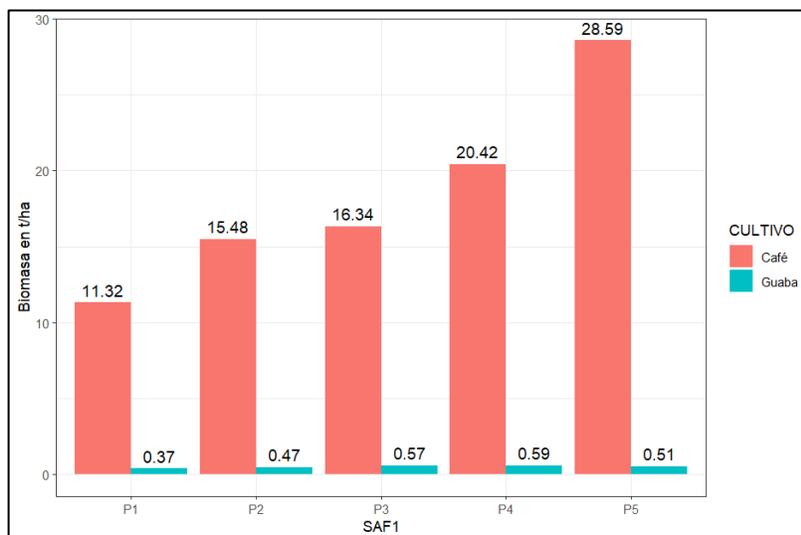
3.1.1. Biomasa aérea de café y guaba en el SAF1.

En la Figura 4 se muestran los valores de biomasa aérea en t/ha de café y guaba de las parcelas del SAF1. Se observa que en cada una de las parcelas el café alcanza los valores más altos y con mayor heterogeneidad, en cambio los valores de guaba son mucho más bajos y más homogéneos.

De la Figura 4 también se tiene que la mayor cantidad de biomasa aérea de café se registró en la parcela 5 (28.59 t/ha), seguido de la parcela 4, parcela 3, parcela 2 y parcela 1 con 20.42 t/ha, 16.34 t/ha, 15.48 t/ha y 11.32 t/ha respectivamente. En la evaluación de BA en guaba, la parcela 4 tiene los valores más altos con 0.59 t/ha, mientras que la parcela 1 acumuló la menor cantidad con 0.37 t/ha.

Figura 4

Biomasa aérea de café y guaba en las parcelas del SAF1



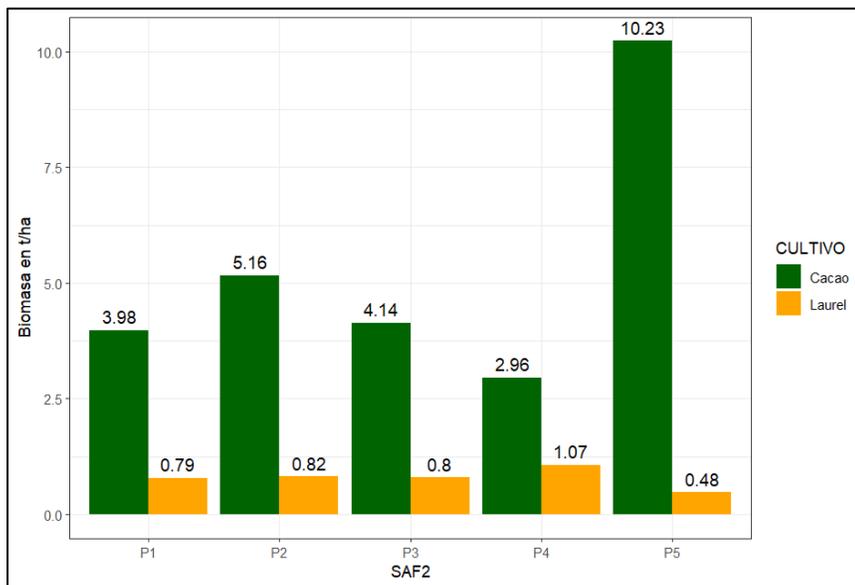
3.1.2. Biomasa aérea de cacao y laurel del SAF2.

De la Figura 5 se desprende que la biomasa de cacao en cada una de las parcelas del SAF2 alcanzó los mayores valores respecto a los valores de laurel. Siendo la parcela 5 en donde se aprecia la mayor diferencia entre ambos cultivos.

Respecto al cacao, se tiene que la mayor biomasa aérea se registró en la parcela 5 con 10.23 t/ha, seguida de la parcela 2, parcela 3, parcela 1 y parcela 4 con 5.16 t/ha, 4.14 t/ha, 3.98 t/ha y 2.96 t/ha respectivamente. Asimismo, la estimación de biomasa aérea de laurel reveló que la parcela 4 obtuvo la mayor cantidad con 1.07 t/ha, mientras que la parcela 5 acumuló la menor cantidad de biomasa con 0.48 t/ha.

Figura 5

Biomasa aérea de cacao y laurel en el SAF2



3.1.3. Estadística descriptiva de la biomasa aérea de los SAFs

La Tabla 2, muestra las medidas de tendencia central y de dispersión de cada uno de los SAF'S. Se aprecia que la media del SAF1 es de 18.93 t/ha, los valores altos de desviación estándar (6.58 t/ha) y rango (17.41 t/ha) indican una alta variabilidad entre los datos. Por otra parte, se tiene que la media del SAF2 es de 6.09 t/ha, los valores bajos de desviación estándar (2.68 t/ha) y rango (6.68 t/ha) permiten inferir una baja variabilidad entre sus datos.

Tabla 2

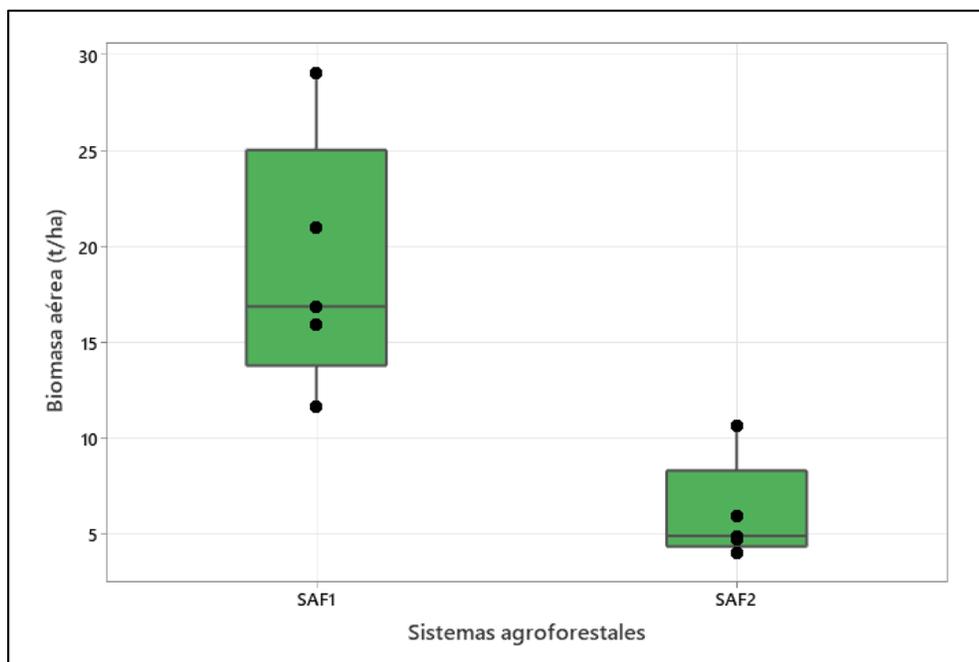
Estadísticos descriptivos de la biomasa aérea en t/ha por SAF'S

SAFs	Parcelas	Media	Desv. estándar	Mínimo	Máximo	Rango
SAF1	5	18.93	6.58	11.69	29.1	17.41
SAF2	5	6.09	2.68	4.03	10.71	6.68

En el boxplot de la Figura 6 se muestra una comparación de la distribución de los datos de las parcelas de cada SAF. Se observa que el SAF1 presenta una mayor dispersión en los valores de biomasa aérea entre sus parcelas, por el contrario, el SAF2 presenta una menor dispersión entre los valores de sus parcelas. Además, el gráfico nos permite inferir la existencia de una amplia diferencia entre valores de biomasa del SAF1 respecto al SAF2.

Figura 6

Boxplot de biomasa aérea en SAF1 y SAF2.



3.2. Carbono almacenado en los SAFs

En la tabla 3 se muestran los valores de carbono almacenado expresados en toneladas por hectárea (t/ha). Se observa que el SAF1 presentó una mayor cantidad de carbono almacenado (9.47 t/ha) respecto al SAF2 (3.05 t/ha).

Tabla 3

Carbono almacenado en t/ha por SAF.

N° DE PARCELA	SAF1 (t/ha)	SAF2 (t/ha)
1	5.85	2.39
2	7.98	2.99
3	8.46	2.47
4	10.51	2.02
5	14.55	5.36
Promedio	9.47	3.05

La tabla 4 sirve para ilustrar sobre los estadísticos descriptivos de la variable carbono almacenado. Tales valores reflejan, en promedio, la capacidad de retención de carbono por cada uno de los SAF'S. Además, los valores altos de desviación estándar (3.29 t/ha) y rango (8.46 t/ha) del SAF1 indican una mayor variabilidad entre las parcelas muestreadas, caso contrario sucede con las parcelas del SAF2 cuyos valores bajos de desviación estándar (1.34 t/ha) y rango (3.34 t/ha) son un indicativo de menor variabilidad y valores más cercanos a la media.

Tabla 4

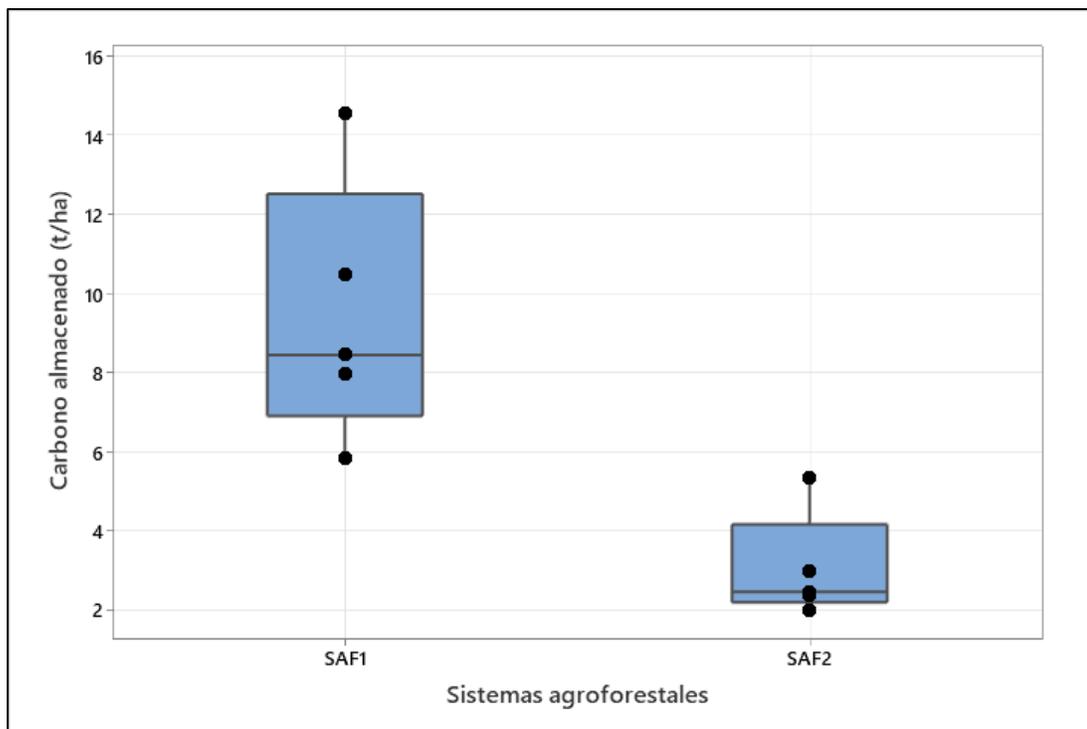
Estadísticos descriptivos de Carbono almacenado en t/ha por SAF'S.

SAFs	Parcelas	Media	Desv. estándar	Mínimo	Máximo	Rango
SAF1	5	9.47	3.29	5.84	14.55	8.46
SAF2	5	3.05	1.34	2.02	5.355	3.34

La figura 7 muestra una comparación de la distribución de los datos de carbono almacenado de las parcelas de cada SAF. Se observa que el SAF1 presenta una mayor dispersión en los valores de carbono entre sus parcelas, por el contrario, el SAF2 presenta una menor dispersión entre los valores de sus parcelas. Además, el grafico nos permite inferir la existencia de una amplia diferencia entre valores de carbono almacenado del SAF1 respecto al SAF2.

Figura 7

Boxplot de carbono almacenado en SAF1 y SAF2.



IV.DISCUSIÓN

4.1. Biomasa aérea y carbono almacenado en el SAF1 de café y guaba.

En la presente investigación se calculó que el SAF1 posee 18.93 t/ha de BA total (Tabla 1) y 9.47 t/ha de carbono (Tabla 5). A diferencia de Silva y Olaya (2019) que al evaluar un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.) asociado con guaba (*Inga edulis* sp.) y con una muestra de 348 plantas de café y una muestra representativa de 35 árboles de guaba (50% de su población) obtuvieron 45.60 t/ha de biomasa aérea total y 22.80 tC/ha almacenado en la biomasa aérea.

Ambos resultados difieren notablemente debido a que el DAP es el principal indicador de la cantidad de biomasa aportada por las plantas de café y guaba (Wirth y Schumecher, 2004), de esta manera se evidencia que el carbono almacenado en la planta y el cual puede ser cuantificado mediante la medición del DAP, influye en la cantidad de carbono que cada especie evaluada puede asimilar y fijar en sus componentes.

En cuanto a la diferencia en el carbono almacenado tiende a incrementarse con la edad de los sistemas forestales y agroforestales, ya que, de acuerdo al avance del crecimiento de los árboles, absorben carbono de la atmósfera y lo fijan en su madera (Calloet ál. ,2002), por tanto, los resultados dependen de las condiciones climáticas, edad de la planta y el ambiente competitivo en el que se desarrolla.

Sin embargo, Odar (2018) presenta 22.441 t C/ha en guaba, lo cual rebasa totalmente los resultados de esta investigación que detalla que en guaba se obtuvo 0.50 t/ha, en cambio en el café obtuvo 10.254 t C/ha, resultado muy similar al obtenido en la presente investigación que es de 18.43 t/ha, lo cual representaría 9.2 tC/ha; dichos resultados con llevan a interpretar que la asociación de cultivos permite que cada componente de un SAF capture y almacene el carbono de acuerdo a sus requerimientos.

4.2. Biomasa aérea y carbono almacenado en el SAF2 de cacao y laurel

El SAF2 se obtuvo 6.09 t/ha en la biomasa aérea final, consecutivamente para el cálculo del carbono acumulado se realizó mediante el factor de conversión equivalente a 0,5 determinando 3.05 tC/ha.

Por otro lado, la investigación de Avellán *et ál.* (2020) estimaron que, en un sistema agroforestal compuesto, el cacao puede almacenar 1,47 t C y el laurel 0,53 t C; también López (2011), señala que el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con laurel disperso en una plantación de cacao aporta 0.75 t/ha de carbono al sistema a los 17 años de edad.

Estos resultados muestran una notable incompatibilidad con la presente investigación ya que en el factor ambiental la correlación entre el potencial de carbono almacenado y la edad del SAF de cacao indican que a mayor edad del SAF existiría tendencia al incremento de carbono almacenado esto debido a la fisiología de la planta de cacao, a las prácticas culturales durante la producción y podas de formación (Pocomucha & Alegre, 2013).

Mientras que el almacenamiento de carbono no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento, dado que aproximadamente el 50 % de la biomasa está formada por carbono (Lapeyre, 2003), definitivamente es importante promover las mejoras en cuanto a la producción, manejo e incremento del valor económico por concepto de comercialización y venta del cacao.

En efecto los resultados indican que el sistema agroforestal compuesto por café y guaba tiene mayor capacidad de captura de carbono que el sistema agroforestal compuesto por cacao y laurel, esto sucede porque el carbono almacenado en los SAF depende de la cantidad de especies forestales, del tipo de cultivo, de la edad y del tipo de suelo (Pocomucha & Alegre, 2013).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó que de los SAF'S evaluados en la provincia de Jaén y San Ignacio, el sistema agroforestal 1 (SAF1) de café (*Coffea arabica*) y guaba (*Inga edulis*), demostró que tiene mayor capacidad de captura de carbono con 9.47 t C/ha almacenado, mientras que el sistema agroforestal 2 (SAF2) de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*), con 473 m.s.n.m., solo almacenó 3.05 t C/ha.
- Se establecieron 10 parcelas de medición en total; cinco en el SAF1 y cinco en el SAF2, el área de las parcelas fue 1 500 m² (50m x 30m). En el SAF1, se consideró formar subparcelas para la medición de cafetales, dichas subparcelas contaban con un área de 100 m² (10 x10). En todas las parcelas y subparcelas se evaluaron las plantas en su totalidad.
- Se registró que la biomasa aérea calculada en el sistema agroforestal de café (*Coffea arabica*) y guaba (*Inga edulis*), obtuvo 18.93 t de BA/ha; y en el sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) expresaron valores de 6.09 t de BA/ha.
- Se estimó que el carbono almacenado en la biomasa leñosa es de 9.47 t C /ha en el SAF1 y 3.05 t C/ha en el SAF2, ambos resultan de la multiplicación de la biomasa aérea por el factor de conversión equivalente a 0,5.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda establecer parcelas de medición de acuerdo a la topografía del terreno y a la densidad de siembra de la especie. Ya que esto permitirá obtener datos más precisos durante el muestreo y facilitará la aplicación de las ecuaciones alométricas.
- Se propone emplear herramientas y equipos en óptimas condiciones para la recolección de datos, ya que la falta de calibración o los daños que puedan tener los dispositivos utilizados podrían alterar la calidad de medición y por ende la veracidad de los resultados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avellán, A, Barreto., E., y Peralta, E. (2020). Carbono en biomasa aérea, sistema agroforestal de *Theobroma cacao* L., Laboratorio Natural, Los Laureles, 2018. *Revista universitaria del Caribe*, 24(1),98-106. DOI: 10.5377/ruc.v24i01.9914
- Alegre, J., Arevalo, L. y Ricse, R. (2002). Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú.
- Cabrera, N., (2016). *Estimación de biomasa aérea de Inga edulis* Mart. y *Coffea arábica* L. en el Alto Mayo, San Martín (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Cabrera, M., Vaca, S., Aguirre, F., y Aguirre, H., (2016). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca. *Revista científica Pakamuros*, 4(1),43-54. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v4i1.42>
- Cerda, R., Espin, T., y Cifuentes, M. (2013). Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas, Volumen 49*, 33-41. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5878>
- Connolly, R., y Corea, C. (2007). *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua* (Trabajo de diploma). Universidad Nacional Agraria - Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua.
- Callo, C., Krishnamurthy, L., y Alegre, J. (2002). Secuestro De Carbono Por Sistemas Agroforestales Amazónicos. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(2), 101-106. <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=62980202>
- Diaz, Alejandra. (2022). *Captura de carbono en un sistema agroforestal con cacao (Theobroma cacao) en Victoria, Caldas.* (Tesis de pregrado) Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
- Dorian, J., Torre, T., Dominguez, G., Aguirre, O., Hernandez, F., y Jimenez, J. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1), 35-46. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v13n1/1405-0471-mb-13-01-35.pdf>
- ICRAF. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales.* Obtenido de <http://www.icrafamericalatina.org/nuestros-productos/5capitalespa%C3%B1ol.html>
- Jobbágy y Jackson. 2000. Citado en Casanova, F., Petit, J. y Solorio, J. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico Mexicano. *Chapingo Serie*

Ciencias Forestales y del Ambiente 17 (1), 5-118. DOI:10.5154/r.rchscfa.2010.08.047

- Jurado, M., Ordoñez, H., y Lagos, T. (2020). Evaluación de la captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.), Consacá, Nariño, Colombia. *Luna Azul*, (51), 166–181. Doi.org/10.17151/luaz.2020.51.9
- Lapeyre Z. (2003). *Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea, en Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en San Martín* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú.
- López, A. (2011). Aporte de los Sistemas Agroforestales al secuestro de Carbono. Turrialba, Costa Rica.
- Nair, P, Kumar, B y Nair, V. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Soil Sci.* , 172, 10–23. DOI: 10.1002/jpln.200800030
- Odar, B., (2018). *Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea spp.) en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018.*(Tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.
- Olivo, M., y Soto, A. (2010). Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. *Universidad ciencia tecnología.* 14(57):221-230. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212010000400002
- Oñate, L.(2018). *Precisión del hipsómetro Blume Leiss, clinómetro Suunto e hipsómetro láser Trupulse 360R en la medición de alturas totales de árboles de Guazuma crinita (bolaina blanca).* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Intercultural De La Amazonia. Ucayali – Perú.
- Ortiz, A., Riascos, L., Somarriba E., (2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas, Volumen 46,* 26-29. <http://www.sidalc.net/repdoc/A3117E/A3117E.PDF>
- Pocomucha, V., y Alegre, J. (2014). La interacción de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco, Perú. *Investigación y Amazonía* 2013; 3(1): 36-43. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/79/64>
- Ramirez, C., Panduro, G., & Miranda, E. (2014). Captura de carbono en un sistema agroforestal de

Theobroma cacao en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali - Pucallpa - Perú. *Tzhecoen*, 5(2), 1997 - 3985. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/11-Texto%20del%20art%C3%ADculo-41-1-10-20150825.pdf

Silva, C., y Olaya, E. (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 de Jaén. Jaén, Perú.

Wirth, C.; Schulze, E. y Schumecher, E. (2004). Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*. 24, 121-139. DOI: 10.1093/treephys/24.2.121

Zavala, José. y Vega, Liliana. (2021). *Captura y almacenamiento de carbono en distintas edades del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales de tingo maría.* Recuperado de <https://www.unheval.edu.pe/portal/captura-y-almacenamiento-de-carbono-en-distintas-edades-del-cultivo-de-cacao-bajo-sistemas-agroforestales-de-tingo-maria/>

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí, por iluminarme y brindarme la fuerza necesaria para luchar con las adversidades durante mi formación profesional y humana.

A los docentes, autoridades y personal administrativo de la Universidad Nacional de Jaén, por la acogida en esta prestigiosa institución y por ofrecernos las facilidades para la realización de esta investigación.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, por habernos dado la oportunidad de adquirir una excelente formación académica en esta rama de la ingeniería que se torna tan importante en la actualidad.

A nuestros asesores, quienes con sus valiosos conocimientos permitieron nuestro crecimiento profesional y la realización de esta investigación; gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, tiempo, dedicación y apoyo incondicional.

Dedicatoria

A mis madres Ana y Justina por su infinito amor, paciencia, apoyo incondicional e inmensurable sacrificio que me han permitido llegar a cumplir hoy un objetivo más, gracias por inculcar en mí el esfuerzo, trabajo y valentía, para salir adelante de la mano de Dios, quien me ilumina en todo momento.

A mis hermanos, por su cariño y motivación, durante todo este proceso, por impulsarme a ser su mejor ejemplo y a mejorar día a día.

A todos mis familiares y amigos que siempre confiaron en mí, porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

Sandra.

A Dios por darme salud y permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida. A mi Madre MARÍA ELENA GÍL CHÍNCHAY que siempre está conmigo apoyando, guiándome y que me ha enseñado a perseverar con sus consejos. A mi hermana Cindy Aranda Gíl por su cariño y apoyo incondicional que siempre tuve.

Brayan Heíns.

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista a los propietarios de los SAF's evaluados.



Proyecto de Tesis: "Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de dos sistemas agroforestales (SAFs) en las provincias de San Ignacio y Jaén – Cajamarca."



Encuesta para el Propietario del SAF en Estudio

Nombre: JOSE ANTONIO CALVA GUERRERO

1. ¿Cuál es el nombre y ubicación de su parcela?
MI parcela se llama "El Nispero"; se ubica en el sector Quitipisho - Caserío La Lima, del distrito de Chirinos en San Ignacio.
2. ¿Qué extensión posee su predio agrícola?
En total tengo 29 hectareas.
3. ¿Qué especies conforman su sistema agroforestal?
En mi sistema tengo varias especies pero predominan el café y la guaba.
4. ¿Qué edad tienen los componentes del sistema agroforestal que ud. maneja?
son plantas antiguas, están entre los 13-14 años, pero voy a renovar mi plantación de café.
5. ¿Qué técnicas de cultivo emplea en su sistema agroforestal?
Realizo chahuecos y manejo de sombra; también hago control de brusa para el café y su abono.
6. ¿Cuáles son los beneficios que le otorga su Sistema agroforestal?
Tengo mi producción de café, en época de guaba, vende su fruto, además vende macanija y lima.
7. ¿Por qué recomendaría implementar sistemas agroforestales?
Porque nos ayuda a generar varios ingresos de dinero, además sombrear varias especies ayuda a que ombes se complementen con sus funciones que disminuyen y mejoran su producción.



JOSE CALVA GUERRERO





Encuesta para el Propietario del SAF en Estudio

Nombre: LAUREANO MENDOZA

1. ¿Cuál es el nombre y ubicación de su parcela?
Se llama "El Paraíso" así como el vivero que he instalado. Mi parcela se ubica en Bellavista - Jaén.
2. ¿Qué extensión posee su predio agrícola?
El Paraíso cuenta con 4 has de extensión.
3. ¿Qué especies conforman su sistema agroforestal?
Tengo varias, pero el cacao y laurel son la mayoría de plantas que tengo en mi parcela. También hay palto, cebo, coco y teca.
4. ¿Qué edad tienen los componentes del sistema agroforestal que ud. maneja?
Mis cultivos fueron establecidos hace aproximadamente 14 años.
5. ¿Qué técnicas de cultivo emplea en su sistema agroforestal?
Así todo es cacao, para mi cacao realizo podas, control de plagas y cuando hay sequías, utilizo agua encharcada para que no se afecte mi cultivo, para el laurel y otros especies utilizo los canales que he construido.
6. ¿Cuáles son los beneficios que le otorga su Sistema agroforestal?
Son muchos los beneficios, me sirve de mucho buscar la manera de sacar provecho a mi área. Además de mis arbolitos estoy practicando apicultura, junto con el cacao y puedo vender madera, mis frutos, de la poda también aprovecho la leña.
7. ¿Por qué recomendaría implementar sistemas agroforestales?
Porque son muy beneficiosas para los agricultores y también para el ambiente y buscamos mejorar nuestra economía y la calidad de vida de todo el planeta.

LAUREANO MENDOZA

Anexo 2. Técnicas de Recolección de datos: Formato para el registro de medidas dasométricas.

SAF	Parcela	Especie	Árbol	Eje	CAP (cm)	DAP	Altura Total (m)	Altura Clinómetro
1	1	Café	1	1				
1	1	Café	2	1				
1	1	Café	2	2				
1	1	Café	3	1				
1	1	Café	4	1				
1	1	Café	4	2				
		...						
1	1	Guaba	1	1				
1	1	Guaba	2	1				
1	1	Guaba	3	1				
1	1	Guaba	4	1				
1	1	Guaba	5	1				
		...						
1	2	Café	1	1				
1	2	Café	2	1				
1	2	Café	3	1				
1	2	Café	4	1				
1	2	Café	4	2				
		...						
2	1	Cacao	1	1				
2	1	Cacao	2	1				
2	1	Cacao	3	1				
2	1	Cacao	3	2				
2	1	Cacao	4	1				
		...						
2	1	Laurel	1	1				
2	1	Laurel	2	1				
2	1	Laurel	3	1				
2	1	Laurel	4	1				
2	1	Laurel	5	1				
		...						
2	2	Cacao	1	1				
2	2	Cacao	2	1				
2	2	Cacao	3	1				

Anexo 3. Medidas dasométricas registradas en los SAFs evaluados.

SAF	Parcela	Especie	Árbol	Eje	CAP (cm)	Altura Total (m)
1	1	Café	1	1	10	1.8
1	1	Café	2	1	13	1.8
1	1	Café	2	2	11	1.8
1	1	Café	3	1	9	1.7
1	1	Café	3	2	9	1.7
1	1	Café	4	1	10	1.7
1	1	Café	4	2	12	1.7
1	1	Café	5	1	11	1.7
1	1	Café	6	1	13	1.9
1	1	Café	6	2	10	1.9
1	1	Café	7	1	10	1.7
1	1	Café	7	2	11	1.7
1	1	Café	8	1	21	3.4
1	1	Café	9	1	15	2.6
1	1	Café	9	2	7	2.6
1	1	Café	10	1	17	3.1
1	1	Café	11	1	11	2.5
1	1	Café	11	2	8	2.5
1	1	Café	12	1	20	2.7
1	1	Café	13	1	22	3.1
1	1	Café	14	1	13	1.7
1	1	Café	15	1	10	2.3
1	1	Café	15	2	8	2.3
1	1	Café	16	1	10	1.9
1	1	Café	16	2	9	1.9
1	1	Café	16	3	8	1.9
1	1	Café	17	1	16	2.4
1	1	Café	18	1	13	2.3
1	1	Café	19	1	12	1.9
1	1	Café	20	1	11	1.8
1	1	Café	21	1	12	1.7
1	1	Café	22	1	10	1.9
1	1	Café	22	2	10	1.9
1	1	Café	23	1	9	1.5
1	1	Café	23	2	12	1.5
1	1	Café	24	1	9	1.8
1	1	Café	24	2	7	1.8
1	1	Café	24	3	8	1.8

1	1	Café	25	1	15	3.1
1	1	Café	26	1	9	1.7
1	1	Café	26	2	9	1.7
1	1	Café	27	1	10	1.7
1	1	Café	27	2	9	1.7
1	1	Café	28	1	25	2.2
1	1	Café	29	1	14	3.2
1	1	Café	29	2	20	3.2
1	1	Café	29	3	18	3.2
1	1	Café	30	1	19	1.8
1	1	Café	30	2	10	1.8
1	1	Café	31	1	14	2
1	1	Café	32	1	38	3.4
1	1	Café	33	1	18	3.6
1	1	Café	33	2	15	3.6
1	1	Café	34	1	21	2.6
1	1	Café	35	1	16	2.7
1	1	Café	36	1	10	2.1
1	1	Café	36	2	8	2.1
1	1	Café	36	3	13	2.1
1	1	Café	37	1	20	2.8
1	1	Café	38	1	18	1.7
1	1	Café	39	1	19	3.6
1	1	Café	40	1	17	2.8
1	1	Café	41	1	10	3
1	1	Café	41	2	12	3
1	1	Café	41	3	11	3
1	1	Café	42	1	11	1.7
1	1	Café	43	1	8	1.7
1	1	Café	43	2	7	1.7
1	1	Café	44	1	8	1.8
1	1	Café	45	1	12	1.9
1	1	Café	45	2	10	1.9
1	1	Café	46	1	20	1.8
1	1	Café	47	1	19	1.8
1	1	Café	47	2	20	1.8
1	1	Café	48	1	12	1.7
1	1	Café	48	2	12	1.7
1	1	Café	49	1	11	1.8
1	1	Café	49	2	9	1.8
1	1	Café	50	1	12	1.8
1	1	Café	50	2	8	1.8

1	1	Café	51	1	9	1.7
1	1	Café	52	1	18	1.7
1	1	Café	53	1	8	1.7
1	1	Café	53	2	10	1.7
1	1	Café	53	3	11	1.7
1	1	Café	54	1	7	1.8
1	1	Café	54	2	8	1.8
1	1	Café	54	3	6	1.8
1	1	Café	55	1	7	1.8
1	1	Café	55	2	6	1.8
1	1	Café	56	1	19	2.1
1	1	Café	57	1	21	2.4
1	1	Café	58	1	8	2.2
1	1	Café	58	2	7	2.2
1	1	Café	58	3	10	2.2
1	1	Café	59	1	18	1.7
1	1	Café	60	1	12	2.8
1	1	Café	60	2	12	2.8
1	1	Café	60	3	8	2.8
1	1	Café	61	1	10	2.6
1	1	Café	62	1	12	3.1
1	1	Café	62	2	11	3.1
1	1	Guaba	1	1	79	8.5
1	1	Guaba	2	1	82	9
1	1	Guaba	3	1	60	11
1	1	Guaba	4	1	65	9.5
1	1	Guaba	5	1	72	10
1	1	Guaba	6	1	57	8.5
1	1	Guaba	7	1	77	9
1	1	Guaba	8	1	51	11
1	1	Guaba	9	1	53	10.5
1	1	Guaba	10	1	72	11.5
2	1	Cacao	1	1	19	2.7
2	1	Cacao	1	2	25	2.7
2	1	Cacao	2	1	27	2.3
2	1	Cacao	3	1	24	3.3
2	1	Cacao	3	2	20	3.3
2	1	Cacao	4	1	27	3
2	1	Cacao	5	1	43	3
2	1	Cacao	6	1	32	3.5
2	1	Cacao	7	1	31	2.7
2	1	Cacao	8	1	17	2.5

2	1	Cacao	8	2	15	2.5
2	1	Cacao	8	3	21	2.5
2	1	Cacao	9	1	42	2.5
2	1	Cacao	10	1	20	3.5
2	1	Cacao	10	2	25	3.5
2	1	Cacao	11	1	36	2
2	1	Cacao	12	1	26	3.5
2	1	Cacao	12	2	29	3.5
2	1	Cacao	13	1	24	2.5
2	1	Cacao	13	2	17	2.5
2	1	Cacao	13	3	25	2.5
2	1	Cacao	14	1	22	2.5
2	1	Cacao	14	2	26	2.5
2	1	Cacao	15	1	24	3
2	1	Cacao	15	2	21	3
2	1	Cacao	16	1	17	2
2	1	Cacao	16	2	31	2
2	1	Cacao	17	1	46	3
2	1	Cacao	18	1	36	3.5
2	1	Cacao	19	1	21	3
2	1	Cacao	19	2	21	3
2	1	Cacao	20	1	29	2.5
2	1	Cacao	21	1	33	2.5
2	1	Cacao	22	1	32	3.5
2	1	Cacao	22	2	34	3.5
2	1	Cacao	23	1	28	3.7
2	1	Cacao	23	2	42	3.7
2	1	Cacao	24	1	24	4
2	1	Cacao	24	2	28	4
2	1	Cacao	25	1	31	3
2	1	Cacao	25	2	24	3
2	1	Cacao	25	3	28	3
2	1	Cacao	26	1	23	3.5
2	1	Cacao	26	2	20	3.5
2	1	Cacao	27	1	48	3.5
2	1	Cacao	28	1	32	4
2	1	Cacao	28	2	25	4
2	1	Cacao	29	1	21	3.5
2	1	Cacao	29	2	27	3.5
2	1	Cacao	30	1	42	2.8
2	1	Cacao	31	1	26	4
2	1	Cacao	31	2	23	4

2	1	Cacao	32	1	28	3
2	1	Cacao	33	1	24	2.5
2	1	Cacao	34	1	28	2.3
2	1	Cacao	35	1	27	2.7
2	1	Cacao	36	1	30	2.5
2	1	Cacao	37	1	39	2.4
2	1	Cacao	37	2	26	2.4
2	1	Cacao	38	1	51	4
2	1	Cacao	39	1	25	3.5
2	1	Cacao	40	1	37	3.5
2	1	Cacao	41	1	41	4
2	1	Cacao	42	1	48	4.1
2	1	Cacao	43	1	31	3
2	1	Cacao	44	1	69	4
2	1	Cacao	45	1	57	4
2	1	Cacao	46	1	41	4.1
2	1	Cacao	47	1	52	4
2	1	Cacao	48	1	23	3.2
2	1	Cacao	48	2	39	3.2
2	1	Cacao	49	1	37	3
2	1	Cacao	50	1	35	3
2	1	Cacao	51	1	31	3
2	1	Cacao	52	1	35	3.5
2	1	Cacao	53	1	30	3.3
2	1	Cacao	54	1	33	3.5
2	1	Cacao	55	1	50	4
2	1	Cacao	56	1	30	3.7
2	1	Cacao	57	1	30	3.4
2	1	Cacao	58	1	56	4
2	1	Cacao	59	1	39	4.2
2	1	Cacao	60	1	30	3.6
2	1	Cacao	61	1	39	3.5
2	1	Cacao	62	1	30	3
2	1	Cacao	62	2	33	3
2	1	Cacao	63	1	41	3
2	1	Cacao	64	1	67	3.5
2	1	Cacao	65	1	31	2.9
2	1	Cacao	66	1	26	3
2	1	Cacao	66	2	32	3
2	1	Cacao	67	1	30	3.5
2	1	Cacao	68	1	35	2.8
2	1	Cacao	69	1	64	3

2	1	Cacao	70	1	42	4
2	1	Cacao	71	1	24	2.5
2	1	Cacao	72	1	65	3.5
2	1	Cacao	73	1	56	3.3
2	1	Cacao	74	1	38	3
2	1	Cacao	75	1	34	3
2	1	Cacao	75	2	29	3
2	1	Cacao	76	1	37	2.7
2	1	Cacao	77	1	23	2.5
2	1	Cacao	77	2	24	2.5
2	1	Cacao	77	3	22	2.5
2	1	Cacao	78	1	44	3.5
2	1	Cacao	79	1	38	3.5
2	1	Cacao	80	1	33	3.3
2	1	Cacao	81	1	43	3
2	1	Cacao	82	1	28	3.2
2	1	Cacao	83	1	52	4
2	1	Cacao	84	1	26	3
2	1	Cacao	84	2	29	3
2	1	Cacao	85	1	38	3
2	1	Cacao	86	1	48	3.5
2	1	Cacao	87	1	35	4
2	1	Cacao	87	2	36	4
2	1	Cacao	88	1	44	3.5
2	1	Cacao	89	1	39	3.3
2	1	Cacao	90	1	37	2.8
2	1	Cacao	91	1	37	3.5
2	1	Cacao	92	1	64	4
2	1	Cacao	93	1	43	3
2	1	Cacao	94	1	26	3
2	1	Cacao	95	1	31	2.7
2	1	Cacao	96	1	38	2.95
2	1	Cacao	97	1	24	3.1
2	1	Cacao	97	2	24	3.1
2	1	Cacao	97	3	25	3.1
2	1	Cacao	98	1	24	3.5
2	1	Cacao	98	2	16	3.5
2	1	Cacao	99	1	62	5.2
2	1	Cacao	100	1	34	4.5
2	1	Cacao	101	1	52	3.1
2	1	Cacao	102	1	53	4
2	1	Cacao	103	1	45	4

2	1	Cacao	104	1	27	3.5
2	1	Cacao	104	2	32	3.5
2	1	Cacao	105	1	53	4
2	1	Cacao	106	1	57	4.3
2	1	Cacao	107	1	61	3.1
2	1	Cacao	108	1	29	3.1
2	1	Cacao	108	2	28	3.1
2	1	Cacao	108	3	31	3.1
2	1	Cacao	109	1	24	3
2	1	Cacao	110	1	26	3.3
2	1	Cacao	110	2	31	3.3
2	1	Cacao	111	1	50	3.6
2	1	Cacao	112	1	26	2.9
2	1	Cacao	112	2	26	2.9
2	1	Cacao	112	3	20	2.9
2	1	Cacao	113	1	65	3.1
2	1	Cacao	114	1	37	3.2
2	1	Cacao	115	1	30	3.2
2	1	Cacao	116	1	41	3
2	1	Cacao	117	1	46	3.5
2	1	Cacao	118	1	24	3.3
2	1	Cacao	118	2	27	3.3
2	1	Cacao	119	1	34	3.2
2	1	Cacao	120	1	37	3.6
2	1	Cacao	121	1	29	3
2	1	Cacao	122	1	39	3.4
2	1	Cacao	123	1	41	3.7
2	1	Cacao	124	1	57	3.1
2	1	Cacao	125	1	40	3
2	1	Cacao	126	1	31	3.2
2	1	Cacao	127	1	50	4
2	1	Cacao	128	1	42	3
2	1	Cacao	129	1	19	3.6
2	1	Cacao	129	2	35	3.6
2	1	Cacao	130	1	29	3.1
2	1	Cacao	130	2	39	3.1
2	1	Cacao	131	1	32	3.7
2	1	Cacao	131	2	33	3.7
2	1	Cacao	132	1	57	3.5
2	1	Cacao	133	1	54	3.6
2	1	Cacao	133	2	37	3.6
2	1	Cacao	133	3	43	3.6

2	1	Cacao	134	1	54	4
2	1	Cacao	135	1	29	3.1
2	1	Cacao	136	1	51	3.7
2	1	Cacao	137	1	32	2.6
2	1	Cacao	138	1	58	4.5
2	1	Cacao	139	1	24	3
2	1	Cacao	139	2	28	3
2	1	Cacao	140	1	44	3.4
2	1	Cacao	140	2	63	3.4
2	1	Cacao	141	1	61	3.2
2	1	Cacao	142	1	62	4
2	1	Cacao	143	1	49	3
2	1	Cacao	144	1	51	4.2
2	1	Cacao	145	1	58	3
2	1	Cacao	146	1	50	3.9
2	1	Cacao	147	1	46	3.6
2	1	Cacao	148	1	30	2.5
2	1	Cacao	149	1	47	3.5
2	1	Cacao	150	1	42	2.5
2	1	Cacao	151	1	26	3.1
2	1	Cacao	152	1	28	3.5
2	1	Cacao	152	2	27	3.5
2	1	Cacao	153	1	41	3.2
2	1	Laurel	1	1	70	8.5
2	1	Laurel	2	1	64	11.5
2	1	Laurel	3	1	80	13.5
2	1	Laurel	4	1	63	10
2	1	Laurel	5	1	60	9
2	1	Laurel	6	1	64	11.5
2	1	Laurel	7	1	79	12.5
2	1	Laurel	8	1	65	12.5
2	1	Laurel	9	1	55	9.5
2	1	Laurel	10	1	37	7
2	1	Laurel	11	1	29	8
2	1	Laurel	12	1	52	10
2	1	Laurel	13	1	39	7
2	1	Laurel	14	1	31	8.5
2	1	Laurel	15	1	38	10
2	1	Laurel	16	1	28	10
2	1	Laurel	17	1	42	11

Anexo 4. Formato de registro de peso húmedo de café, aplicando el Método Destructivo.

Especie	Árbol	Peso Total (kg)	Fuste (kg)	Ramas (kg)	Hojas (kg)	Diámetro (cm)	Altura (m)
Café	1						
Café	2						
Café	3						
Café	4						
Café	5						
Café	6						
Café	.						
	.						
Café	20						

Anexo 5. Formato de registro para el proceso de secado de muestras de café extraídas mediante el método destructivo.

Componente	Número de Muestra	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	Promedio
	1			
Fuste	2			
	3			
	1			
Ramas	2			
	3			
	1			
Hojas	2			
	3			

Anexo 6. Datos de Diámetro y HT en SAFs evaluados.

SAF	Parcela	Especie	Árbol	Eje	D	Altura Total (m)
1	1	CAFÉ	1	1	3	1.8
1	1	CAFÉ	2	1	4	1.8
1	1	CAFÉ	2	2	4	1.8
1	1	CAFÉ	3	1	3	1.7
1	1	CAFÉ	3	2	3	1.7
1	1	CAFÉ	4	1	3	1.7
1	1	CAFÉ	4	2	4	1.7
1	1	CAFÉ	5	1	4	1.7
1	1	CAFÉ	6	1	4	1.9
1	1	CAFÉ	6	2	3	1.9
1	1	CAFÉ	7	1	3	1.7
1	1	CAFÉ	7	2	4	1.7
1	1	CAFÉ	8	1	7	3.4
1	1	CAFÉ	9	1	5	2.6
1	1	CAFÉ	9	2	2	2.6
1	1	CAFÉ	10	1	5	3.1
1	1	CAFÉ	11	1	4	2.5
1	1	CAFÉ	11	2	3	2.5
1	1	CAFÉ	12	1	6	2.7
1	1	CAFÉ	13	1	7	3.1
1	1	CAFÉ	14	1	4	1.7
1	1	CAFÉ	15	1	3	2.3
1	1	CAFÉ	15	2	3	2.3
1	1	CAFÉ	16	1	3	1.9
1	1	CAFÉ	16	2	3	1.9
1	1	CAFÉ	16	3	3	1.9
1	1	CAFÉ	17	1	5	2.4
1	1	CAFÉ	18	1	4	2.3
1	1	CAFÉ	19	1	4	1.9
1	1	CAFÉ	20	1	4	1.8
1	1	CAFÉ	21	1	4	1.7
1	1	CAFÉ	22	1	3	1.9
1	1	CAFÉ	22	2	3	1.9
1	1	CAFÉ	23	1	3	1.5
1	1	CAFÉ	23	2	4	1.5
1	1	CAFÉ	24	1	3	1.8
1	1	CAFÉ	24	2	2	1.8
1	1	CAFÉ	24	3	3	1.8
1	1	CAFÉ	25	1	5	3.1

1	1	CAFÉ	26	1	3	1.7
1	1	CAFÉ	26	2	3	1.7
1	1	CAFÉ	27	1	3	1.7
1	1	CAFÉ	27	2	3	1.7
1	1	CAFÉ	28	1	8	2.2
1	1	CAFÉ	29	1	4	3.2
1	1	CAFÉ	29	2	6	3.2
1	1	CAFÉ	29	3	6	3.2
1	1	CAFÉ	30	1	6	1.8
1	1	CAFÉ	30	2	3	1.8
1	1	CAFÉ	31	1	4	2
1	1	CAFÉ	32	1	12	3.4
1	1	CAFÉ	33	1	6	3.6
1	1	CAFÉ	33	2	5	3.6
1	1	CAFÉ	34	1	7	2.6
1	1	CAFÉ	35	1	5	2.7
1	1	CAFÉ	36	1	3	2.1
1	1	CAFÉ	36	2	3	2.1
1	1	CAFÉ	36	3	4	2.1
1	1	CAFÉ	37	1	6	2.8
1	1	CAFÉ	38	1	6	1.7
1	1	CAFÉ	39	1	6	3.6
1	1	CAFÉ	40	1	5	2.8
1	1	CAFÉ	41	1	3	3
1	1	CAFÉ	41	2	4	3
1	1	CAFÉ	41	3	4	3
1	1	CAFÉ	42	1	4	1.7
1	1	CAFÉ	43	1	3	1.7
1	1	CAFÉ	43	2	2	1.7
1	1	CAFÉ	44	1	3	1.8
1	1	CAFÉ	45	1	4	1.9
1	1	CAFÉ	45	2	3	1.9
1	1	CAFÉ	46	1	6	1.8
1	1	CAFÉ	47	1	6	1.8
1	1	CAFÉ	47	2	6	1.8
1	1	CAFÉ	48	1	4	1.7
1	1	CAFÉ	48	2	4	1.7
1	1	CAFÉ	49	1	4	1.8
1	1	CAFÉ	49	2	3	1.8
1	1	CAFÉ	50	1	4	1.8
1	1	CAFÉ	50	2	3	1.8
1	1	CAFÉ	51	1	3	1.7

1	1	CAFÉ	52	1	6	1.7
1	1	CAFÉ	53	1	3	1.7
1	1	CAFÉ	53	2	3	1.7
1	1	CAFÉ	53	3	4	1.7
1	1	CAFÉ	54	1	2	1.8
1	1	CAFÉ	54	2	3	1.8
1	1	CAFÉ	54	3	2	1.8
1	1	CAFÉ	55	1	2	1.8
1	1	CAFÉ	55	2	2	1.8
1	1	CAFÉ	56	1	6	2.1
1	1	CAFÉ	57	1	7	2.4
1	1	CAFÉ	58	1	3	2.2
1	1	CAFÉ	58	2	2	2.2
1	1	CAFÉ	58	3	3	2.2
1	1	CAFÉ	59	1	6	1.7
1	1	CAFÉ	60	1	4	2.8
1	1	CAFÉ	60	2	4	2.8
1	1	CAFÉ	60	3	3	2.8
1	1	CAFÉ	61	1	3	2.6
1	1	CAFÉ	62	1	4	3.1
1	1	CAFÉ	62	2	4	3.1
1	1	GUABA	1	1	25	8.5
1	1	GUABA	2	1	26	9
1	1	GUABA	3	1	19	11
1	1	GUABA	4	1	21	9.5
1	1	GUABA	5	1	23	10
1	1	GUABA	6	1	18	8.5
1	1	GUABA	7	1	25	9
1	1	GUABA	8	1	16	11
1	1	GUABA	9	1	17	10.5
1	1	GUABA	10	1	23	11.5
2	1	CACAO	1	1	6	2.7
2	1	CACAO	1	2	8	2.7
2	1	CACAO	2	1	9	2.3
2	1	CACAO	3	1	8	3.3
2	1	CACAO	3	2	6	3.3
2	1	CACAO	4	1	9	3
2	1	CACAO	5	1	14	3
2	1	CACAO	6	1	10	3.5
2	1	CACAO	7	1	10	2.7
2	1	CACAO	8	1	5	2.5
2	1	CACAO	8	2	5	2.5

2	1	CACAO	8	3	7	2.5
2	1	CACAO	9	1	13	2.5
2	1	CACAO	10	1	6	3.5
2	1	CACAO	10	2	8	3.5
2	1	CACAO	11	1	11	2
2	1	CACAO	12	1	8	3.5
2	1	CACAO	12	2	9	3.5
2	1	CACAO	13	1	8	2.5
2	1	CACAO	13	2	5	2.5
2	1	CACAO	13	3	8	2.5
2	1	CACAO	14	1	7	2.5
2	1	CACAO	14	2	8	2.5
2	1	CACAO	15	1	8	3
2	1	CACAO	15	2	7	3
2	1	CACAO	16	1	5	2
2	1	CACAO	16	2	10	2
2	1	CACAO	17	1	15	3
2	1	CACAO	18	1	11	3.5
2	1	CACAO	19	1	7	3
2	1	CACAO	19	2	7	3
2	1	CACAO	20	1	9	2.5
2	1	CACAO	21	1	11	2.5
2	1	CACAO	22	1	10	3.5
2	1	CACAO	22	2	11	3.5
2	1	CACAO	23	1	9	3.7
2	1	CACAO	23	2	13	3.7
2	1	CACAO	24	1	8	4
2	1	CACAO	24	2	9	4
2	1	CACAO	25	1	10	3
2	1	CACAO	25	2	8	3
2	1	CACAO	25	3	9	3
2	1	CACAO	26	1	7	3.5
2	1	CACAO	26	2	6	3.5
2	1	CACAO	27	1	15	3.5
2	1	CACAO	28	1	10	4
2	1	CACAO	28	2	8	4
2	1	CACAO	29	1	7	3.5
2	1	CACAO	29	2	9	3.5
2	1	CACAO	30	1	13	2.8
2	1	CACAO	31	1	8	4
2	1	CACAO	31	2	7	4
2	1	CACAO	32	1	9	3

2	1	CACAO	33	1	8	2.5
2	1	CACAO	34	1	9	2.3
2	1	CACAO	35	1	9	2.7
2	1	CACAO	36	1	10	2.5
2	1	CACAO	37	1	12	2.4
2	1	CACAO	37	2	8	2.4
2	1	CACAO	38	1	16	4
2	1	CACAO	39	1	8	3.5
2	1	CACAO	40	1	12	3.5
2	1	CACAO	41	1	13	4
2	1	CACAO	42	1	15	4.1
2	1	CACAO	43	1	10	3
2	1	CACAO	44	1	22	4
2	1	CACAO	45	1	18	4
2	1	CACAO	46	1	13	4.1
2	1	CACAO	47	1	17	4
2	1	CACAO	48	1	7	3.2
2	1	CACAO	48	2	12	3.2
2	1	CACAO	49	1	12	3
2	1	CACAO	50	1	11	3
2	1	CACAO	51	1	10	3
2	1	CACAO	52	1	11	3.5
2	1	CACAO	53	1	10	3.3
2	1	CACAO	54	1	11	3.5
2	1	CACAO	55	1	16	4
2	1	CACAO	56	1	10	3.7
2	1	CACAO	57	1	10	3.4
2	1	CACAO	58	1	18	4
2	1	CACAO	59	1	12	4.2
2	1	CACAO	60	1	10	3.6
2	1	CACAO	61	1	12	3.5
2	1	CACAO	62	1	10	3
2	1	CACAO	62	2	11	3
2	1	CACAO	63	1	13	3
2	1	CACAO	64	1	21	3.5
2	1	CACAO	65	1	10	2.9
2	1	CACAO	66	1	8	3
2	1	CACAO	66	2	10	3
2	1	CACAO	67	1	10	3.5
2	1	CACAO	68	1	11	2.8
2	1	CACAO	69	1	20	3
2	1	CACAO	70	1	13	4

2	1	CACAO	71	1	8	2.5
2	1	CACAO	72	1	21	3.5
2	1	CACAO	73	1	18	3.3
2	1	CACAO	74	1	12	3
2	1	CACAO	75	1	11	3
2	1	CACAO	75	2	9	3
2	1	CACAO	76	1	12	2.7
2	1	CACAO	77	1	7	2.5
2	1	CACAO	77	2	8	2.5
2	1	CACAO	77	3	7	2.5
2	1	CACAO	78	1	14	3.5
2	1	CACAO	79	1	12	3.5
2	1	CACAO	80	1	11	3.3
2	1	CACAO	81	1	14	3
2	1	CACAO	82	1	9	3.2
2	1	CACAO	83	1	17	4
2	1	CACAO	84	1	8	3
2	1	CACAO	84	2	9	3
2	1	CACAO	85	1	12	3
2	1	CACAO	86	1	15	3.5
2	1	CACAO	87	1	11	4
2	1	CACAO	87	2	11	4
2	1	CACAO	88	1	14	3.5
2	1	CACAO	89	1	12	3.3
2	1	CACAO	90	1	12	2.8
2	1	CACAO	91	1	12	3.5
2	1	CACAO	92	1	20	4
2	1	CACAO	93	1	14	3
2	1	CACAO	94	1	8	3
2	1	CACAO	95	1	10	2.7
2	1	CACAO	96	1	12	2.95
2	1	CACAO	97	1	8	3.1
2	1	CACAO	97	2	8	3.1
2	1	CACAO	97	3	8	3.1
2	1	CACAO	98	1	8	3.5
2	1	CACAO	98	2	5	3.5
2	1	CACAO	99	1	20	5.2
2	1	CACAO	100	1	11	4.5
2	1	CACAO	101	1	17	3.1
2	1	CACAO	102	1	17	4
2	1	CACAO	103	1	14	4
2	1	CACAO	104	1	9	3.5

2	1	CACAO	104	2	10	3.5
2	1	CACAO	105	1	17	4
2	1	CACAO	106	1	18	4.3
2	1	CACAO	107	1	19	3.1
2	1	CACAO	108	1	9	3.1
2	1	CACAO	108	2	9	3.1
2	1	CACAO	108	3	10	3.1
2	1	CACAO	109	1	8	3
2	1	CACAO	110	1	8	3.3
2	1	CACAO	110	2	10	3.3
2	1	CACAO	111	1	16	3.6
2	1	CACAO	112	1	8	2.9
2	1	CACAO	112	2	8	2.9
2	1	CACAO	112	3	6	2.9
2	1	CACAO	113	1	21	3.1
2	1	CACAO	114	1	12	3.2
2	1	CACAO	115	1	10	3.2
2	1	CACAO	116	1	13	3
2	1	CACAO	117	1	15	3.5
2	1	CACAO	118	1	8	3.3
2	1	CACAO	118	2	9	3.3
2	1	CACAO	119	1	11	3.2
2	1	CACAO	120	1	12	3.6
2	1	CACAO	121	1	9	3
2	1	CACAO	122	1	12	3.4
2	1	CACAO	123	1	13	3.7
2	1	CACAO	124	1	18	3.1
2	1	CACAO	125	1	13	3
2	1	CACAO	126	1	10	3.2
2	1	CACAO	127	1	16	4
2	1	CACAO	128	1	13	3
2	1	CACAO	129	1	6	3.6
2	1	CACAO	129	2	11	3.6
2	1	CACAO	130	1	9	3.1
2	1	CACAO	130	2	12	3.1
2	1	CACAO	131	1	10	3.7
2	1	CACAO	131	2	11	3.7
2	1	CACAO	132	1	18	3.5
2	1	CACAO	133	1	17	3.6
2	1	CACAO	133	2	12	3.6
2	1	CACAO	133	3	14	3.6
2	1	CACAO	134	1	17	4

2	1	CACAO	135	1	9	3.1
2	1	CACAO	136	1	16	3.7
2	1	CACAO	137	1	10	2.6
2	1	CACAO	138	1	18	4.5
2	1	CACAO	139	1	8	3
2	1	CACAO	139	2	9	3
2	1	CACAO	140	1	14	3.4
2	1	CACAO	140	2	20	3.4
2	1	CACAO	141	1	19	3.2
2	1	CACAO	142	1	20	4
2	1	CACAO	143	1	16	3
2	1	CACAO	144	1	16	4.2
2	1	CACAO	145	1	18	3
2	1	CACAO	146	1	16	3.9
2	1	CACAO	147	1	15	3.6
2	1	CACAO	148	1	10	2.5
2	1	CACAO	149	1	15	3.5
2	1	CACAO	150	1	13	2.5
2	1	CACAO	151	1	8	3.1
2	1	CACAO	152	1	9	3.5
2	1	CACAO	152	2	9	3.5
2	1	CACAO	153	1	13	3.2
2	1	LAUREL	1	1	22	8.5
2	1	LAUREL	2	1	20	11.5
2	1	LAUREL	3	1	25	13.5
2	1	LAUREL	4	1	20	10
2	1	LAUREL	5	1	19	9
2	1	LAUREL	6	1	20	11.5
2	1	LAUREL	7	1	25	12.5
2	1	LAUREL	8	1	21	12.5
2	1	LAUREL	9	1	18	9.5
2	1	LAUREL	10	1	12	7
2	1	LAUREL	11	1	9	8
2	1	LAUREL	12	1	17	10
2	1	LAUREL	13	1	12	7
2	1	LAUREL	14	1	10	8.5
2	1	LAUREL	15	1	12	10
2	1	LAUREL	16	1	9	6.5
2	1	LAUREL	17	1	13	11

Anexo 7. Establecimiento de puntos en la delimitación de parcelas del SAF1, se utilizó GPS Garmin, estacas para reconocer los puntos y pita rafia para demarcación de parcela.



Anexo 8. Toma de coordenadas geográficas de las plantas de café evaluadas en las subparcelas del SAF1.



Anexo 9. Toma de coordenadas geográficas de los individuos de guaba en el SAF1.



Anexo 10. Toma de medidas dasométricas en las parcelas establecidas en el SAF1.



Anexo 11. Establecimiento de puntos en la delimitación de parcelas. Punto 1 en la Parcela de Evaluación 1 (P1-PE1) en el SAF2.



Anexo 12. Toma de coordenadas geográficas de individuos de laurel en el SAF2.



Anexo 13. Toma de coordenadas geográficas de individuos de cacao en el SAF2.



Anexo 14. Toma de medidas dasométricas en el SAF2: Medición de altura en cacao, utilizando pértiga.



Anexo 15. Fotografía de la obtención de la planta de café (Aplicación de método destructivo)



Anexo 16. Fotografía del peso de las ramas del café.



[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

Anexo 17. Fotografía del peso de las hojas de café.



Anexo 18. Fotografía del peso húmedo del fuste de café.



[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

Anexo 19. Fotografía del secado de las hojas de café en la estufa



Anexo 20. Fotografía del secado de las ramas de café en la estufa.

