

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**



**“CAPTURA DE CARBONO EN PLANTACIÓN FORESTAL
DE LAUREL Y SISTEMA AGROFORESTAL LAUREL-
CAFÉ EN LA PROVINCIA DE SAN IGNACIO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autores: Bach. Irene Sánchez Córdova

Bach. Yeltsin Manuel Flores Mejía

Asesor: Dr. José Andrés León Mostacero

JAÉN-PERÚ, NOVIEMBRE, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 11 de noviembre del año 2019; siendo las 10:45 horas, se reunieron los Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente Dr. SEGUNDO SÁNCHEZ TELLO
Secretario Dr. ALEXANDER HUAMÁN MERA
Vocal Dr. SANTOS CLEMENTE HERRERA DÍAZ

Para evaluar la Sustentación del INFORME FINAL DE TESIS Titulado: "CAPTURA DE CARBONO EN PLANTACIÓN FORESTAL DE LAUREL Y SISTEMA AGROFORESTAL LAUREL – CAFÉ EN LA PROVINCIA DE SAN IGNACIO"; presentado por el Bachiller Yeltsin Manuel Flores Mejía y la Bachiller Irene Sánchez Córdova de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado Evaluador acuerda:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría


Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	(<u>16</u>)
Bueno	14, 15	()
Regular	13	()
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 12:03.....horas del mismo día, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Dr. ALEXANDER HUAMÁN MERA
Secretario Jurado Evaluador



DR. SEGUNDO SÁNCHEZ TELLO
Presidente Jurado Evaluador



Dr. SANTOS CLEMENTE HERRERA DÍAZ
Vocal Jurado Evaluador

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE MAPAS	V
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE ANEXOS	VII
ABSTRAC.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1. Materiales	4
3.1.1. Materiales de escritorio	4
3.1.2. Materiales de campo	4
3.1.3. Materiales de laboratorio y equipos.....	5
3.2. Métodos	5
3.2.1. Ubicación del área de estudio	5
3.2.2. Descripción del área de estudio	6
3.2.3. Descripción de las parcelas a estudiar	7
3.2.4. Población, muestra y muestreo	15
3.2.5. Fuentes de Información	15
3.2.6. Método.....	16
3.2.7. Técnicas	16
3.2.8. Procedimientos e instrumentos para la recolección de datos	20
3.2.9. Procesamiento de datos y análisis estadísticos	28
IV. RESULTADOS	30
4.2. Evaluación de biomasa por componente	36
4.2.1. Biomasa por componente de la plantación de laurel	36
4.2.2. Biomasa por componente del sistema agroforestal laurel + café	37
4.3. Evaluación de carbono en suelo	39
4.4. Comparación del potencial de captura de carbono en el laurel como plantación y bajo sistema agroforestal en un tiempo propuesto de 30 años	40
4.4.1. Plantación de laurel	40
4.4.2. Sistema agroforestal laurel + café	42
4.5. Generación de ecuación alométrica para el café	44

4.5.1. Biomasa promedio de cada componente estructural del cafeto.....	44
4.5.2. Desarrollo de la ecuación alométrica para el cafeto	45
V. DISCUSIONES	46
5.1. Carbono total	46
5.2. Biomasa por componente	49
5.2.1. Biomasa por componente de la plantación de laurel	49
5.2.2. Biomasa por componente del sistema agroforestal laurel + café	50
5.3. Carbono en el suelo	52
5.4. Potencial de captura de carbono en el laurel como plantación y bajo SAF en un tiempo propuesto de 30 años	52
5.5. Generación de la ecuación alométrica para el cafeto	53
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
6.1. Conclusiones	55
6.2. Recomendaciones	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Diseño de la investigación.....	29
Tabla 2 : Carbono total en tn.ha ⁻¹ de 2 Sistemas de Uso de Tierra, bajo dos rangos de DAP de laurel en dos localidades de la Provincia de San Ignacio.	30
Tabla 3 : Análisis de variancia de la captura de carbono en tn.ha-1 de 2 SUT, plantación forestal (Laurel) y sistema agroforestal (Laurel + café), bajo dos rangos de DAP (DAP <30 cm y DAP>30 cm) en dos localidades de la Provincia de San Ignacio.	31
Tabla 4 : Biomasa en tn.ha ⁻¹ por componente de la plantación de laurel.....	36
Tabla 5 : Biomasa en tn.ha-1 por componente del sistema agroforestal laurel-café.....	38
Tabla 6 : Carbono Orgánico de Suelo en tn.ha ⁻¹	39
Tabla 7 : Tabla de Carbono en tn.ha-1 del laurel bajo plantación.....	41
Tabla 8 : Carbono en tn.ha-1 el laurel bajo SAF.....	42
Tabla 9 : Biomasa por componente estructural del cafeto.....	44
Tabla 10: Biomasa del cafeto correlacionando su altura y circunferencia.....	45
Tabla 11 : Sistemas Agroforestales de Cacao y Café ubicados en la Reserva de Biósfera Sumaco.....	45
Tabla 12: Ecuaciones alométricas de café en la Provincia de Luya.....	53
Tabla 13: Ecuación alométrica para la especie Coffea arabica en la Reserva de Biósfera Sumaco.....	53

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Ubicación geográfica del área de estudio.....	6
Mapa 2: SAF La Loma.....	7
Mapa 3: SAF El Roble.....	8
Mapa 4: P.F. 9 De Octubre.....	9
Mapa 5: P.F. El Mirador.....	10
Mapa 6: SAF El Huayacán.....	11
Mapa 7: P.F. La Flor del Café.....	12
Mapa 8: P.F. El Laurel.....	13
Mapa 9: P.F. El Cárcamo.....	14

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Medición de CAP	17
Imagen 2: Medición de altura.....	17
Imagen 3: Extracción de muestras de madera	17
Imagen 4: Extracción de cafeto	18
Imagen 5: Extracción de hojarasca.....	18
Imagen 6: Extracción de suelo.....	18
Imagen 7: Secado de muestras	19
Imagen 8: Pesado de muestras.....	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparación de medias de carbono total en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en localidades.....	32
Figura 2: Comparación de medias de carbono total en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ con rangos de DAP del laurel.....	32
Figura 3: Comparación de medias de carbono total en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en SUT.....	33
Figura 4: Comparación de medias de carbono total en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en localidades y con rangos de DAP	33
Figura 5: Comparación de medias de carbono total en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en localidades y Sistemas de Uso de Tierra (SUT).....	34
Figura 6: Comparación de medias de carbono total en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en rangos de DAP y SUT .	34
Figura 7: Comparación de medias de carbono total en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en localidades, con rangos de DAP y diferentes SUT.	35
Figura 8: Comparación de medias de biomasa por componente en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en plantaciones de laurel.....	37
Figura 9: Comparación de medias de biomasa por componente en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en sistemas agroforestales laurel + café.....	38
Figura 10: Carbono total almacenado del suelo en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en 2 SUT (plantación laurel y sistema agroforestal laurel + café), bajo dos rangos de DAP ($\text{DAP}<30\text{ cm}$ y $\text{DAP}>30\text{ cm}$ con respecto al laurel) en dos localidades de la Provincia de San Ignacio (San Ignacio y Chirinos)	40
Figura 11: Regresión exponencial de la captura de carbono y la edad de la plantación de laurel.....	41

Figura 12: Carbono promedio capturado por la plantación de laurel	42
Figura 13: Regresión exponencial de la captura de carbono y edad del sistema agroforestal laurel + café.....	43
Figura 14: Carbono promedio capturado por el SAF laurel + café	43
Figura 15: Biomasa almacenada en cada componente estructural del cafeto.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de Medidas dasométricas, volumen, biomasa y carbono del laurel.....	66
Anexo 2: Tabla de Carbono en tn.C.ha-1 del cafeto	67
Anexo 3: Tabla de Carbono en tn.C.ha-1 de Hojarasca	68
Anexo 4: Tabla de Área del componente vivo (laurel y cafeto) de las parcelas evaluadas ...	69
Anexo 5: Tabla de Densidad del laurel en la localidad de San Ignacio	70
Anexo 6: Tabla de Densidad del laurel de la localidad de Chirinos.....	70
Anexo 7: Tabla de Densidad del suelo de las parcelas a evaluar	71
Anexo 8: Tabla de Porcentaje de pérdida del laurel y el cafeto	72
Anexo 9: Resultados del ensayo de carbono en suelo	74
Anexo 10: Fotografía de la delimitación del área de estudio en SAF laurel + café	75
Anexo 11: Fotografía de la delimitación del área de estudio en las plantaciones de laurel ...	75
Anexo 12: Fotografía del registro de cada árbol y medición a la altura del pecho (1.30 m) en el laurel.....	76
Anexo 13: Fotografía de la medición del CAP a 1.30 m.....	76
Anexo 14: Fotografía de la medición de la altura del laurel con un clinómetro	77
Anexo 15: Fotografía de la extracción de muestras de laurel para medir sus densidades...	77
Anexo 16: Fotografía de la muestra del laurel a 5 cm de profundidad con un taladro de ½ pulgada.....	78
Anexo 17: Fotografía del llenado y sellado de las muestras del laurel en una bolsa hermética.....	78
Anexo 18: Fotografía del peso de las muestras extraídas del laurel.....	79
Anexo 19: Fotografía del secado de las muestras de laurel en la estufa a 75°C	79
Anexo 20: Fotografía de la delimitación del área de 0.25m x 0.25m.....	80
Anexo 21: Fotografía de la recolección de la hojarasca del área delimitada	80
Anexo 22: Fotografía del pesado de hojarasca	81
Anexo 23: Fotografía del llenado de hojarasca en sobres manila y marcado por cada	

muestra.....	81
Anexo 24: Fotografía del secado de hojarasca n la estufa a 75°C por 72 horas.....	82
Anexo 25: Fotografía de muestras de hojarasca después de 72 horas en la estufa.....	82
Anexo 26: Fotografía del pesado de hojarascas después de 72 horas en la estufa	83
Anexo 27: Fotografía de la muestra del suelo a 30 cm de profundidad para determinar el carbono.....	83
Anexo 28: Fotografía del muestreo del suelo para determinar el carbono.....	84
Anexo 29: Fotografía del peso de la muestra del suelo.....	84
Anexo 30: Fotografía del tamizado del suelo seco al aire libre.....	85
Anexo 31: Fotografía del pesaje del suelo tamizado 25g en una balanza analítica.....	85
Anexo 32: Fotografía del muestreo del suelo con el método del cilindro para estimar su densidad.....	86
Anexo 33: Fotografía de la muestra del suelo con el método del cilindro	86
Anexo 34: Fotografía del pesaje del suelo húmedo de cada SUT.....	87
Anexo 35: Fotografía de las muestras de suelo para densidades en la estufa a 105°C	87
Anexo 36: Fotografía de muestras del suelo para densidades en placas petri después de 72h en la estufa	88
Anexo 37: Fotografía de muestras de suelo después de 72 horas en la estufa por cada SUT.....	88
Anexo 38: Fotografías del pesaje de las muestras del suelo para densidades	89
Anexo 39: Fotografía de la extracción de plantas de cafeto.....	89
Anexo 40: Fotografía de la extracción de las raíces del cafeto	90
Anexo 41: Fotografía del peso húmedo de las raíces del cafeto	90
Anexo 42: Fotografía de la extracción de las hojas y ramas del cafeto.....	91
Anexo 43: Fotografía del peso húmedo de las hojas y ramas del cafeto.....	91
Anexo 44: Fotografía del peso del tronco	92
Anexo 45: Fotografía de las muestras del cafeto en la estufa a 75°C por 72h.....	92
Anexo 46: Fotografía de las muestras en la estufa a 75° por 72 horas.....	93
Anexo 47: Fotografía de las muestras secas de las hojas del cafeto después de 72h en la estufa	93
Anexo 48: Fotografía de las muestras secas de raíces del cafet después de 72h en la estufa.....	94

RESUMEN

La presión actual de los bosques en la Provincia de San Ignacio ha generado la disminución de las reservas de carbono, cobrando importancia los sistemas de uso de tierra (SUT). Esta investigación tuvo como objetivo determinar la captura de carbono en plantaciones de laurel (PF) y sistemas agroforestales laurel – café (SAF) con dos rangos de DAP (Diámetro a la altura del pecho) con respecto al laurel (<30 cm y >30 cm) en los Distritos de San Ignacio y Chirinos. Los métodos aplicados fueron, no destructivo para el laurel, destructivo para el café, hojarasca y carbono orgánico del suelo mediante extracción de muestras, obteniendo los siguientes resultados: La PF localizada en Chirinos con DAP > 30 cm capturó mayor carbono, con 482.07 tn.C.ha⁻¹, mientras que el SAF en Chirinos con DAP < 30 cm almacenó menor carbono, con 118.1 tn.C.ha⁻¹. Por otro lado en las PF, la biomasa viva almacenó mayor carbono y en los SAF, el suelo. Así mismo el laurel capturó más carbono bajo plantación que bajo SAF. En cuanto al café se obtuvo la ecuación alométrica $B = 0.0256(h) + 0.14514(C) - 3.41567$. Se concluye que dichos SUT son importantes mecanismos de mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Carbono orgánico del suelo, Sistemas de Uso de Tierra, biomasa viva, ecuación alométrica, cambio climático.

ABSTRAC

The current pressure of forests in the Province of San Ignacio has led to a decrease in carbon stocks, gaining importance the soil use systems (SUS). The objective of this research was to determinate the carbon capture in laurel plantations (FP) and laurel-café agroforestry systems (AFS), under two ranks of CHD (Chest Height Diameter) with respect to Laurel (DAP < 30 cm y DAP>30 cm) in the districts of San Ignacio and Chirinos. The methods applied were not destructive for laurel, destructive for the coffee, leaf litter and soil organic carbon by sampling, obtaining the following results: The PF located in Chirinos with DAP > 30 cm captured higher carbon, with 482.07 tn.C.ha-1, while the SAF in Chirinos with DAP < 30 cm stored lower carbon, with 118.1 tn.C.ha-1. On the other hand in the FP, the living biomass stored greater carbon and the AFS, the soil. Likewise the laurel captured more carbon under platation than under AFS. As to the allometric equation $B=0.0256(h)^{0.14514(C)}-3.41567$ was obtained for the coffee. It is concluded that these SUS are importants climate change mitigation. Mechanisms.

Key words: Soil organic carbon, Soil Use Systems, living biomass, allometric equation, climate change.

I. INTRODUCCIÓN

El clima es un estado cambiante de la atmósfera, en diversas escalas de tiempo y espacio, influenciado por varios factores, en sus interacciones con el mar y el continente. Esto sucede cuando el valor medio de un parámetro meteorológico de muchos años cambia, debido a factores externos o internos (Magaña, 2005).

La variación en el sistema meteorológico denominado cambio climático, se prevé que tendrá efectos directos sobre los organismos individuales, sobre las poblaciones y sobre los ecosistemas, por lo que ha puesto en alerta tanto a países desarrollados como en vías de desarrollo, (Uribe, 2015 & Landa, Ávila y Hernández, 2010). Dada esta problemática global, es que la mitigación de tan mencionado fenómeno se ha convertido en un desafío para el hombre. Siendo los Gases de Efecto Invernadero (GEI), los principales causantes de este fenómeno, de los cuales el vapor de agua es el que se presenta en mayor cantidad. Aparte del vapor de agua, que está sujeto al ciclo hidrológico, los principales gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (NO_x), ozono (O_3) y algunos compuestos orgánicos halogenados, como los clorofluorocarbonos (CFC) (Power, 2009 & Larios, 2008).

De ellos, el CO_2 tiene un mayor efecto sobre las condiciones climáticas del planeta dado a que permanece activo en la atmósfera durante mucho tiempo, del cual el 50% tardará 30 años en desaparecer, 30% se mantendrá varios siglos y el 20% permanecerá millares de años (Solomon et al, 2007).

Respecto a este mega problema el IPCC (2016), analizó las emisiones de GEI desde una perspectiva sectorial, e identificó que: el 35% correspondían al sector energético, el 24% a la agricultura, selvicultura y otros usos del suelo, el 21% a la industria, el 14% al transporte, el 6% a la edificación y el 3% a los residuos. Nuestro país produce un 0,4% de los GEI del planeta (MINAM, 2009).

Ante este desconcierto la discusión se ha enfocado en definir qué mecanismos pueden ser aplicados para reducir el impacto negativo de este fenómeno, entrando a tallar de este modo las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales (SAF), que, más allá de sus funciones productivas, juegan un papel muy importante en los tan mencionados “servicios ambientales”, adquiriendo relevancia significativa en la captura de carbono (Patiño, Suárez, Andrade y Segura, 2018 y Alegre *et al.*, 2000). Dicha captura, las plantas lo realizan según Rodríguez y Mance (2015) mediante la fotosíntesis, proceso en el que las células captan la energía luminosa, transformando el CO₂ y el agua en compuestos orgánicos, donde el carbono es almacenado como biomasa, para finalmente liberar oxígeno.

El potencial de la captura de carbono de las diferentes plantaciones forestales y sistemas agroforestales, se concentra tanto en la biomasa aérea, subterránea (sistema radicular), como en la superficie del suelo e incorporado a éste, por lo tanto requiere de la evaluación de cada componente (Somarriva *et al.*, 2013).

San Ignacio, siendo una provincia con 60% cubierta de bosques (Llerena, 2010), vulnerables a la deforestación específicamente los bosques Chinchiquilla, Quanda y Botijas, y a la vez contando con plantaciones forestales de laurel (*Cordia alliodora*) y sistemas agroforestales laurel + café (*Coffea arabica*), como muestras representativas de acumulación de carbono, es importante evaluar su capacidad de captura y generar información sobre ello.

Es así como en la presente investigación se obtuvo datos fehacientes del almacén de carbono en dos Sistemas de Uso de Tierra, plantaciones forestales (Plantaciones de laurel) y sistemas agroforestales (laurel + café) bajo dos rangos de Diámetro a la altura del pecho (DAP) con respecto al Laurel (DAP<30 cm y DAP>30 cm) en dos Distritos de la Provincia de San Ignacio (Chirinos y San Ignacio). Para el laurel se aplicó el método de la existencia de volumen, a través de mediciones dasométricas (Altura total y Circunferencia a la altura del pecho -CAP), extracción de muestras de madera para obtener densidades y Factores de Expansión de biomasa (FEB) del laurel, bajo plantación y bajo sistemas agroforestales, generados por algunos investigadores, mientras que para el café se aplicó el muestreo destructivo generando modelos alométricos locales que puedan servir a futuras investigaciones.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

“Determinar la captura de carbono de la plantación forestal laurel y sistema agroforestal laurel-café en los Distritos de Chirinos y San Ignacio de la Provincia de San Ignacio”

2.2. Objetivos específicos

Estimar la cantidad de carbono acumulado en Tn/ha en la plantación forestal de laurel (*C. alliodora*) y en el sistema agroforestal compuesto por laurel + café (*C. arabica*) con DAP del laurel mayor a 30 cm y menor a 30 cm en las localidades de San Ignacio y Chirinos.

Evaluar la biomasa almacenada en árboles y arbustivos vivos, hojarasca y en el suelo circundante de la plantación de laurel y del sistema agroforestal laurel + café.

Evaluar la captura de carbono en el suelo circundante de la plantación de laurel y sistema agroforestal laurel + café.

Comparar el potencial de captura de carbono del laurel (*C. alliodora*) como plantación y bajo sistema agroforestal en un tiempo propuesto de 30 años.

Generar ecuaciones alométricas para el café (*C. arabica*) a partir de datos recogidos en campo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Materiales de escritorio

- Hojas bond A4
- Grapador
- Grapas
- Goma
- Plumón indeleble
- Etiquetas autoadhesivas

3.1.2. Materiales de campo

- Bolsas plásticas
- Cinta métrica
- Wincha
- Taladro de ½ pulgada
- Esmalte
- Rafia
- Estacas
- Romana
- Recipiente plástico
- Machete
- Palana
- Cámara fotográfica
- Tijera

3.1.3. Materiales de laboratorio y equipos

- Placas petri
- Tamiz
- Balanza analítica de 152 g
- Balanza de 30 kg
- Balanza de 200 gr
- Cámara de secado
- GPS
- Clinómetro marca Sunto

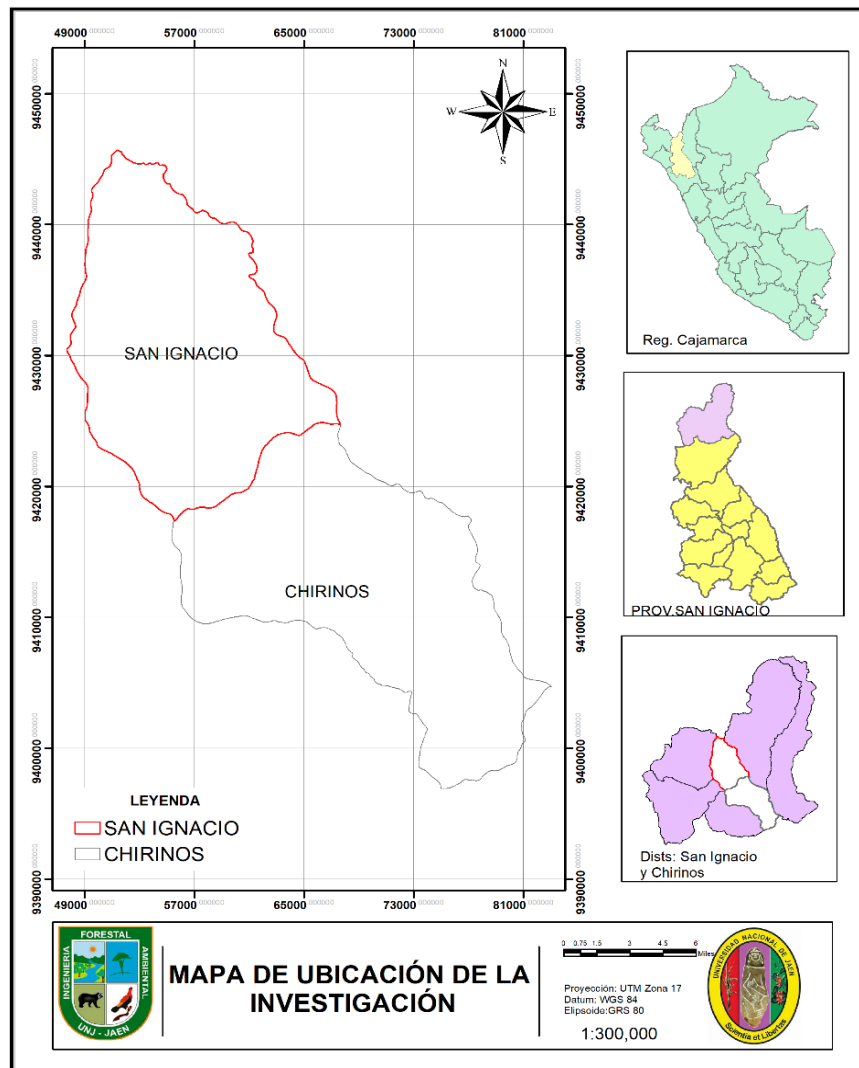
3.2. Métodos

3.2.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en la Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, específicamente en los Distritos de Chirinos y San Ignacio, que se encuentran en el centro de la Provincia de San Ignacio, al norte de la Región Cajamarca (*Ver Mapa 1*). La provincia de San Ignacio se encuentra a una altitud promedio de 1324 m.s.n.m.

Limita por el:

- Norte: Con la república del Ecuador.
- Sur: Con la Provincia de Jaén.
- Este: Con el Departamento de Amazonas.
- Oeste: Con el Departamento de Piura.



Mapa 1: Ubicación geográfica del área de estudio

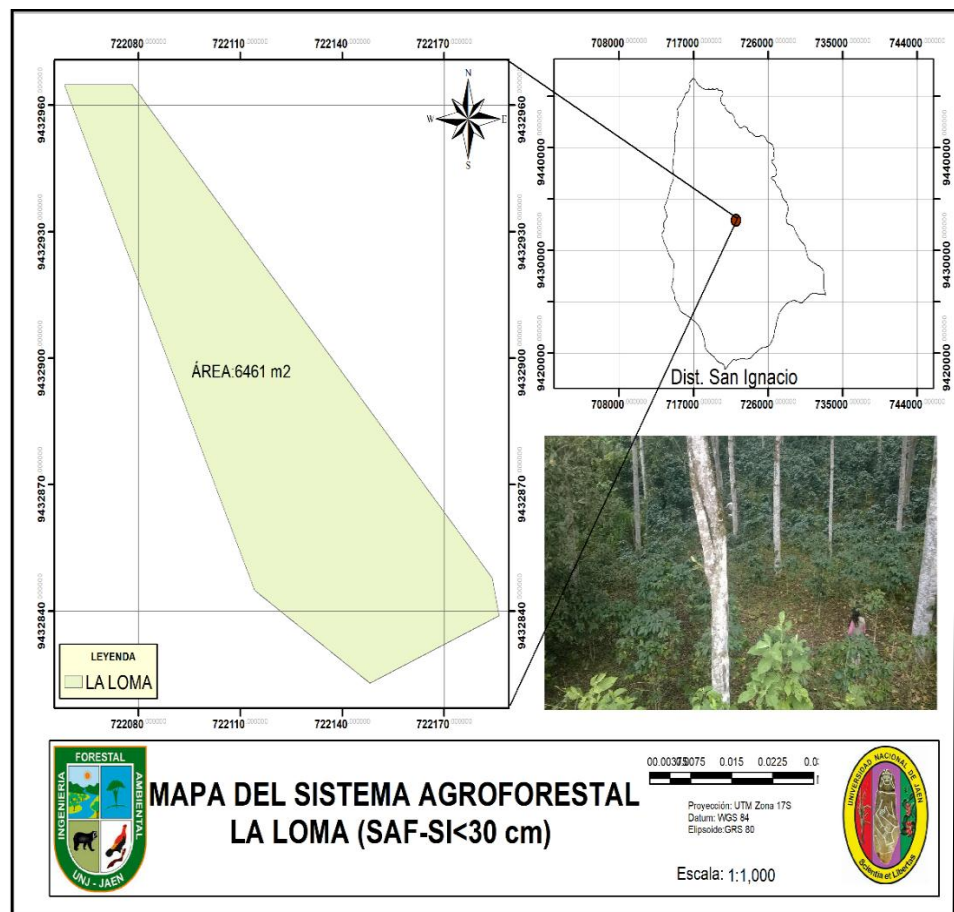
3.2.2. Descripción del área de estudio

El distrito de San Ignacio presenta un clima tropical. En verano se presentan precipitaciones. Según la clasificación de Köppen y Geiger clasifica como Aw. La temperatura media anual es 21.7° C. Precipitaciones promedios de 1165 mm. (Climate-data.org, 06 de setiembre).

El distrito de Chirinos presenta un clima tropical, por la presencia de precipitaciones significativas la mayoría de los meses. Este clima se clasifica como Am por el sistema Köppen-Geiger, la temperatura promedio es 19.4 ° C. la precipitación media es 1178 mm (Climate-data.org, 06 de setiembre).

3.2.3. Descripción de las parcelas a estudiar

Sistema Agroforestal La Loma (SAF-SI<30 cm); es un sistema que combina el café con laurel, se encuentra localizado en las coordenadas UTM E 722114 N 9432919 en el caserío Portachuelo, Distrito y Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, a una altitud de 1332.8 m. Los árboles de laurel presentan un DAP menor a 30 cm, con una edad de 9 años y una altura promedio de 11.4 m, su distanciamiento de siembra de 8m x 8m a una densidad de 156 árboles/ha y con densidad básica promedio de 0.30 gr/cm³. Mientras que el cafeto 10 años de edad, una altura promedio de 1.84 m, una circunferencia promedio de 14,8 cm, en cuanto a su distanciamiento de siembra es 1m x 1.5m, y una densidad de 4800 plantas/ha. Siendo *Coffea arabica* la especie de cafeto.



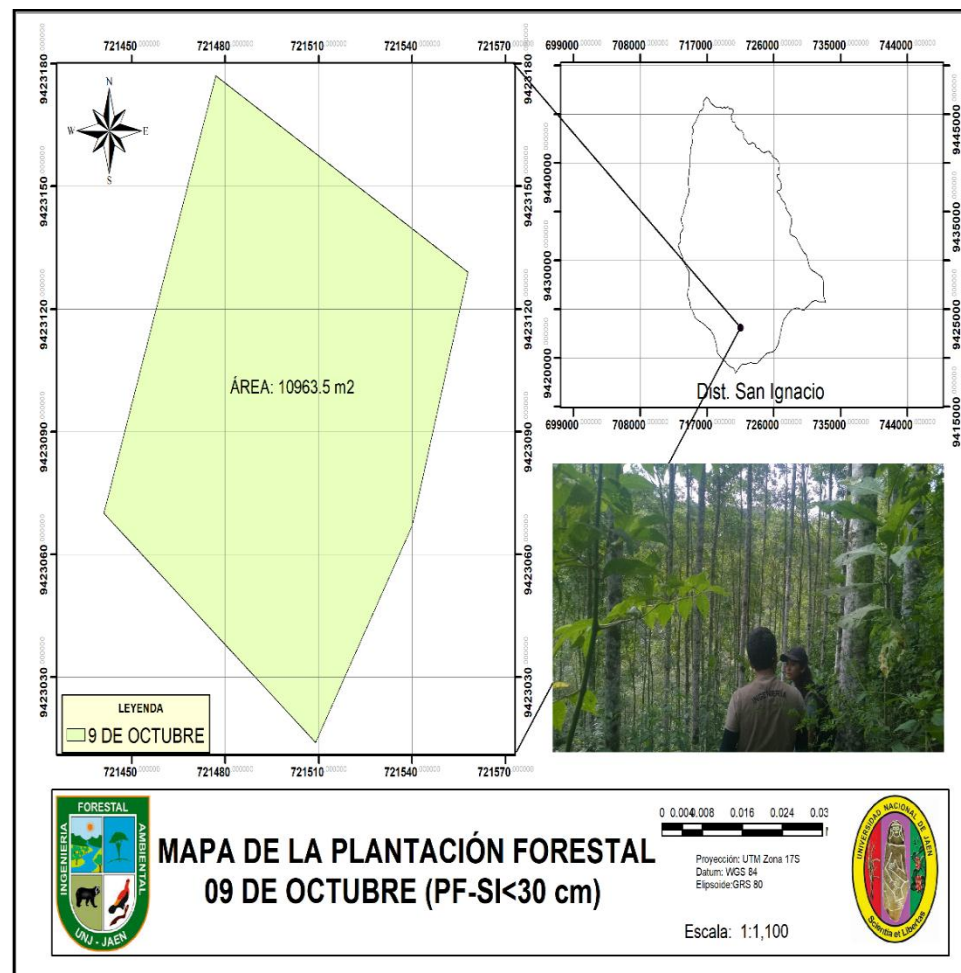
Mapa 2: SAF La Loma

Sistema Agroforestal El Roble (SAF-SI>30 cm); es un sistema que combina el café con laurel, se encuentra localizado en las coordenadas UTM E 722201 N 9433040 en el caserío Portachuelo, Distrito y Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, a una altitud de 1334.5 m Los árboles de laurel presentan en un DAP mayor a 30 cm, tienen una edad de 15 años y una altura promedio de 17.8 m, su distanciamiento de siembra de 8m x 8m a una densidad de 150 árboles/ha y con densidad básica promedio de 0.32 gr/cm³. Mientras que el cafeto entre 05 – 08 años de edad, una altura promedio 2.02 m, una circunferencia promedio de 13,5cm, en cuanto a su distanciamiento de siembra es de 1m x 1.5m, y una densidad de 5655 plantas/ha. Siendo *Coffea arabica* la especie de cafeto.



Mapa 3: SAF El Roble

Plantación Forestal 09 de Octubre (PF-SI<30 cm); es una plantación de laurel (*Cordia alliodora*) se encuentra localizado en las coordenadas UTM E 721529 N 9423079 en el caserío 9 de Octubre, Distrito y Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, a una altitud de 1370.7 m. Los árboles de laurel presentan en su mayoría un DAP menor a 30 cm, tienen una edad de 9 años con una altura promedio de 15.2 m, y un distanciamiento de siembra de 3m x 3m bajo el sistema tres bolillos y una densidad de plantación de 1000 árboles/ha y con densidad básica promedio de 0.29 gr/cm³. Cabe precisar que dicha plantación no ha sido manejada.



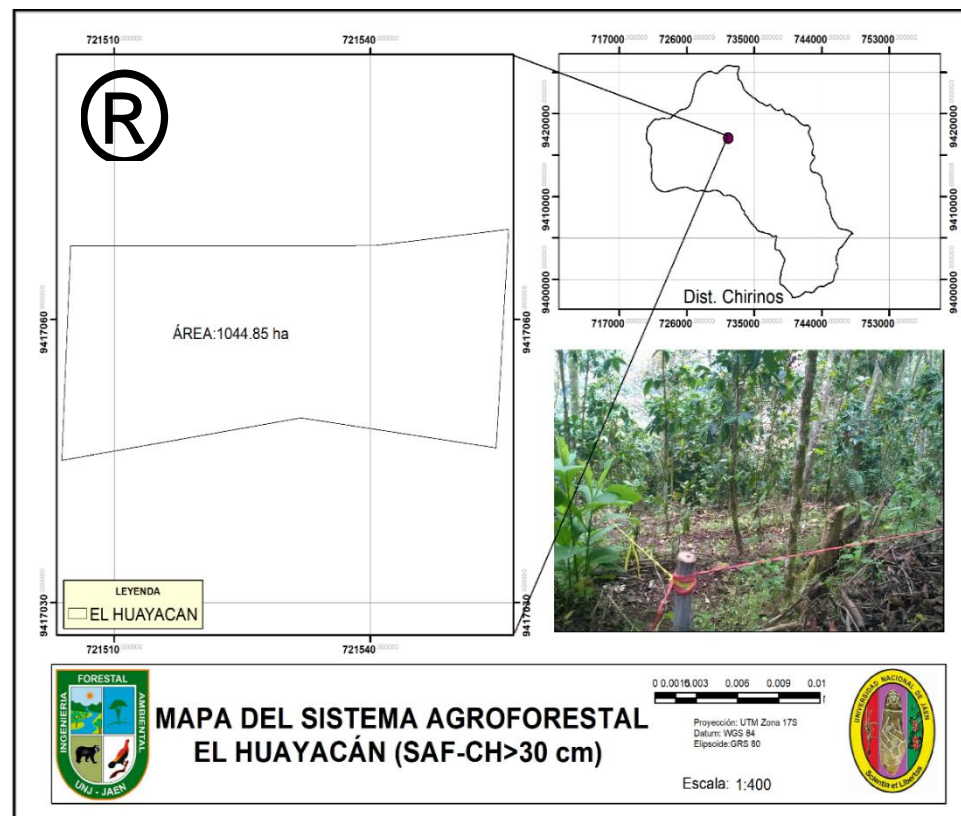
Mapa 4: P.F. 9 De Octubre

Plantación Forestal El Mirador (PF-SI>30 cm); es una plantación de laurel (*Cordia alliodora*) se encuentra localizado en las coordenadas UTM E 721842 N 9423249 en el caserío 9 de Octubre, Distrito y Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, a una altitud de 1455.6 m. Los árboles de laurel presentan en su mayoría un DAP mayor a 30 cm, tienen una edad de 16 años con una altura promedio de 16.8 m, y un distanciamiento de siembra de 3m x 3m una densidad de plantación de 1168 árboles/ha y con densidad básica promedio de 0.29 gr/cm³. Cabe precisar que dicha plantación no ha sido manejada.



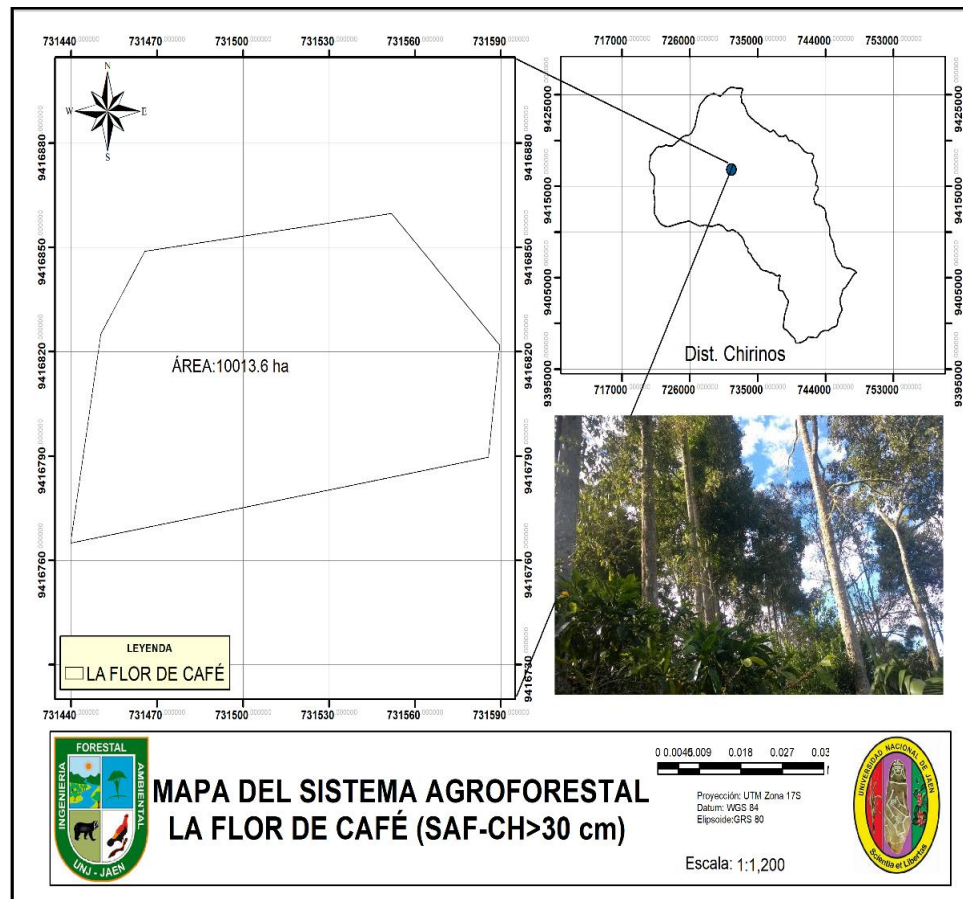
Mapa 5: P.F. El Mirador

Sistema Agroforestal El Huayacán (SAF-CH<30 cm); es un sistema que combina el café con laurel, se encuentra localizado en las coordenadas UTM E 731538 N 9417048 en el caserío Shimania, Distrito de Chirinos Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, a una altitud de 1726.7 m. Los árboles de laurel presentan un DAP menor a 30 cm, con una edad de 10 años y una altura promedio de 15 m, su distanciamiento de siembra de 7m x 7m a una densidad de 170 árboles/ha y con densidad básica promedio de 0.35 gr/cm³. Mientras que el cafeto 9 años de edad, una altura promedio de 1.66 m, una circunferencia promedio de 14,9 cm, en cuanto a su distanciamiento de siembra es 1m x 1.5m, y una densidad de 3550 plantas/ha. Siendo *Coffea arabica* la especie de cafeto.



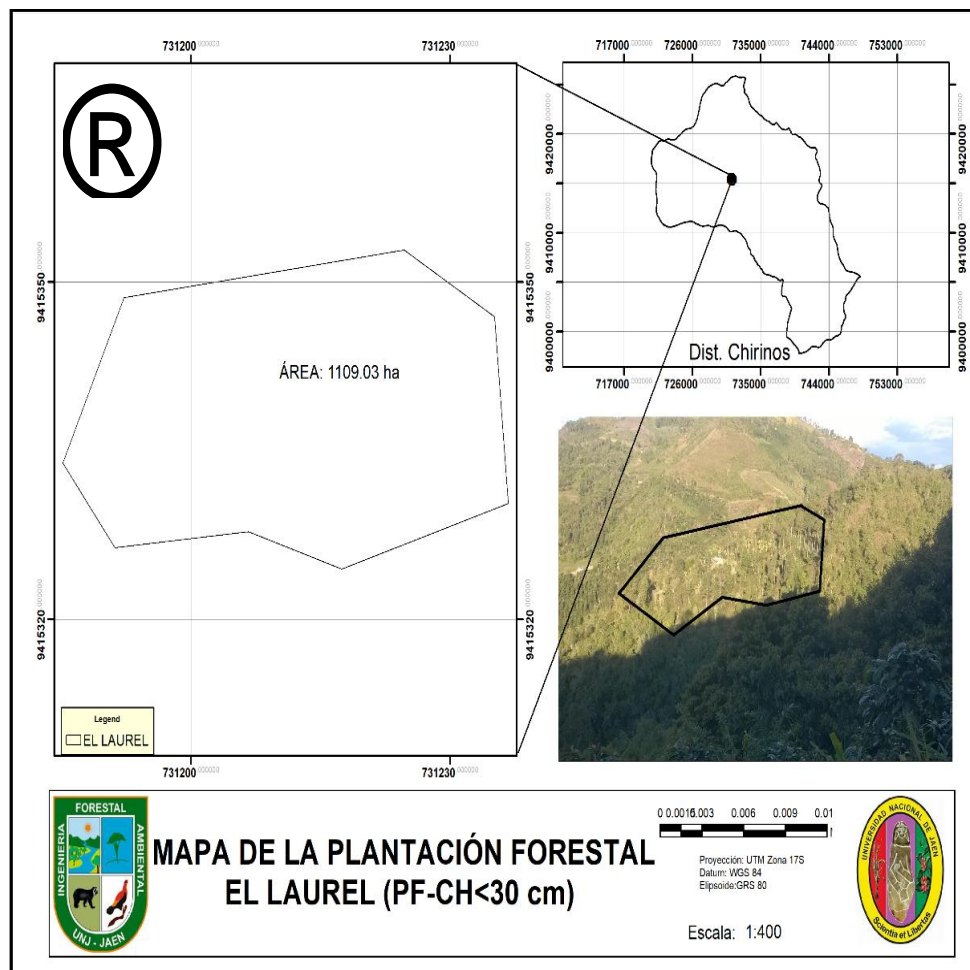
Mapa 6: SAF El Huayacán

Sistema Agroforestal La Flor del Café (SAF-CH>30 cm); es un sistema que combina el café con laurel, se encuentra localizado en las coordenadas E 731530 N 9416817 en el caserío Shimania, Distrito de Chirinos Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, a una altitud de 1727 m. Los árboles de laurel presentan un DAP mayor a 30 cm, con una edad de 17 años y una altura promedio de 17 m, su distanciamiento de siembra de 7m x 7m a una densidad de 175 árboles/ha y con densidad básica promedio de 0.33 gr/cm³. Mientras que el cafeto 5 años de edad, una altura promedio de 1.65 m, una circunferencia promedio de 15,7cm, en cuanto a su distanciamiento de siembra es 1m x 1.5m, y una densidad de 5100 plantas/ha. Siendo *Coffea arabica* la especie de cafeto.



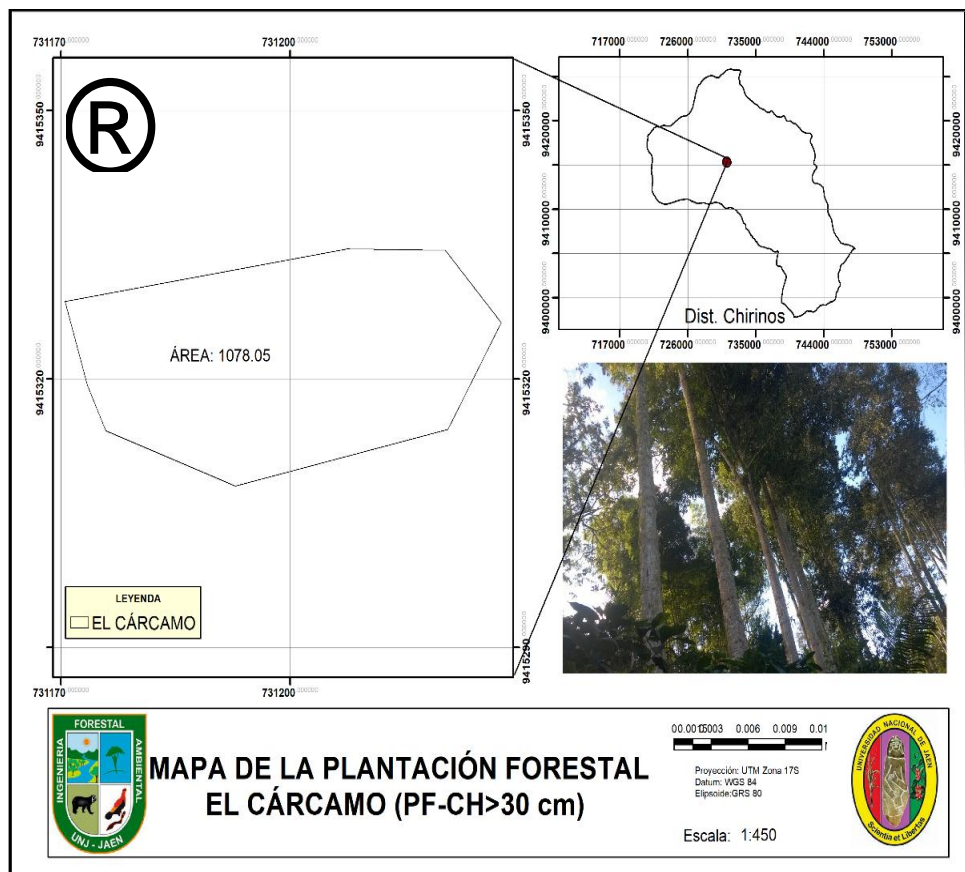
Mapa 7: P.F. La Flor del Café

Plantación Forestal El Laurel (PF-CH<30 cm); es una plantación de laurel (*Cordia alliodora*) se encuentra localizado en las coordenadas UTM E 731214 N 9415342 en el caserío Shimanía, Distrito Chirinos y Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, a una altitud de 1847 m. Los árboles de laurel presentan un DAP menor a 30 cm, tienen una edad de 12 años con una altura promedio de 15 m, y a un distanciamiento de siembra de 3m x 3m bajo el sistema tres bolillos y una densidad de plantación de 1100 árboles/ha y con densidad básica promedio de 0.33 gr/cm³. Cabe precisar que dicha plantación no ha sido manejada.



Mapa 8: P.F. El Laurel

Plantación Forestal El Cárcamo (PF-CH>30 cm); es una plantación de laurel (*Cordia alliodora*), se encuentra localizado en las coordenadas UTM E 731177 N 9415316 en el caserío Shimanía, Distrito Chirinos y Provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, a una altitud de 1885 m. Los árboles de laurel presentan en su mayoría un DAP mayor a 30 cm, tienen una edad de 18 años con una altura promedio de 18.7 m, y a un distanciamiento de siembra de 3m x 3m bajo el sistema tres bolillos y una densidad de plantación de 1104 árboles/ha y con densidad básica promedio de 0.39 gr/cm³. Cabe precisar que dicha plantación no ha sido manejada.



Mapa 9: P.F. El Cárcamo

3.2.4. Población, muestra y muestreo

✓ Población

Plantaciones forestales de Laurel (*C. alliodora*) y sistemas agroforestales laurel + café (*C. arabica*) establecidos en los distritos de Chirinos y San Ignacio, Provincia de San Ignacio.

✓ Muestra

Ocho parcelas. Cuatro parcelas en el distrito de Chirinos y cuatro parcelas en el distrito de San Ignacio. De las cuatro parcelas en cada distrito se seleccionarán dos parcelas bajo plantación forestal laurel y dos parcelas bajo sistema agroforestal laurel + café. De las dos parcelas de la plantación forestal se seleccionarán una parcela de 384 m² para individuos con DAP entre 5cm a 30 cm (plantación joven) y, una parcela de 625m² para individuos con DAP mayor a 30 cm (plantación adulta). Para el sistema agroforestal una parcela de 200 m² para individuos con DAP entre 5cm a 30 cm (sistema joven) y una parcela de 2000 m² para árboles con DAP superior a 30 cm (sistema adulto).

✓ Muestreo

Muestreo Completamente al azar tanto para las áreas muestreadas de plantaciones como SAF, así mismo para el muestreo de árboles y cafetos.

3.2.5. Fuentes de Información

✓ Primarias

Es toda información recogida en campo, en nuestro estudio utilizamos las siguientes:

- Encuestas
- Altitud y coordenadas de las diferentes parcelas.
- Medidas dasométricas para los árboles (Altura total y CAP)

- Muestras de madera.
- Plantas de cafeto.
- Muestras de hojarasca y suelo.

✓ **Secundarias**

Representa aquellos datos adquiridos de forma indirecta, como fórmulas, metodologías y materiales de muestreo, entre otros, a través de:

- Artículos científicos
- Libros
- Tesis
- Guías
- Investigaciones.

3.2.6. Método

En la presente tesis se utilizó el método analítico, debido a que se evaluó a partir de muestreos cada componente de la plantación de laurel (laurel, hojarasca y suelo) y del sistema agroforestal laurel + café (laurel, cafeto, hojarasca y suelo) y así se obtuvo la cantidad acumulada de carbono en cada uno ellos, logrando determinar el carbono total acumulado en hectáreas tanto de la plantación como del sistema.

3.2.7. Técnicas

✓ **Documental o gabinete**

- Revisión de la literatura científica existente en libros, tesis, revistas, artículos de investigación, documentos sobre el tema de investigación, entre otros.

✓ **Recolección de datos en campo**

- Encuestas a propietarios de plantaciones de laurel y sistemas agroforestales laurel + café de los distritos de San Ignacio y Chirinos, Provincia de San Ignacio para la identificación y caracterización de parcelas.

- Toma de medidas dasométricas, como CAP mediante una cinta métrica (*Ver imagen 1*) y altura a través de un clinómetro (*Ver imagen 2*) y extracción de muestras de madera del fuste de los árboles de laurel, con un taladro de ½ pulgada a una profundidad de 5 cm y un recipiente para el depósito de muestras (*Ver imagen 3*).



Imagen 1: Medición de CAP



Imagen 2: Medición de la altura



Imagen 3: Extracción de madera del fuste del laurel

- Técnica destructiva para el cafeto, donde se extrajo la planta desde la raíz (*Ver imagen 4*).



Imagen 4: Extracción de cafeto

- Recolección de hojarasca en 0.25 m² (*Ver imagen 5*) y extracción de muestras de suelo a 30 cm de profundidad en la misma área (*Ver imagen 6*)



Imagen 5: Extracción de hojarasca



Imagen 6: Extracción de suelo

- **Recolección de datos en laboratorio**

Técnicas de secado de muestras de madera, hojarasca, café y suelo
(Ver imagen 7) y pesado (Ver imagen 8)



Imagen 7: Secado de muestras



Imagen 8: Pesado de muestras

- Para el Carbono Orgánico en el Suelo, se enviaron las muestras al Laboratorio Oikoslab, en las que se utilizó el método de Walkley-Black.

3.2.8. Procedimientos e instrumentos para la recolección de datos

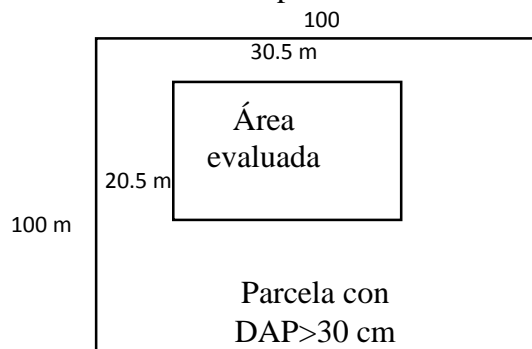
En el presente estudio se evaluaron ocho parcelas las cuales fueron georreferenciadas. Cuatro parcelas en el distrito de Chirinos y cuatro parcelas en el distrito de San Ignacio. De las cuatro parcelas en cada distrito se seleccionaron dos parcelas bajo plantación forestal laurel y dos parcelas bajo sistema agroforestal laurel + café. De las dos parcelas de la plantación forestal se seleccionó una parcela de 384 m² para individuos con DAP entre 5cm a 30 cm (plantación joven) y, una parcela de 625m² para individuos con DAP mayor a 30 cm (plantación adulta). Para el agroforestal una parcela de 200 m² para individuos con DAP entre 5cm a 30 cm (sistema joven) y una parcela de 2000 m² para árboles con DAP superior a 30 cm (sistema adulto), tomando algunas referencias de la metodología recomendada por el Consejo Internacional de Investigación en Agroforestería Centro (ICRAF).

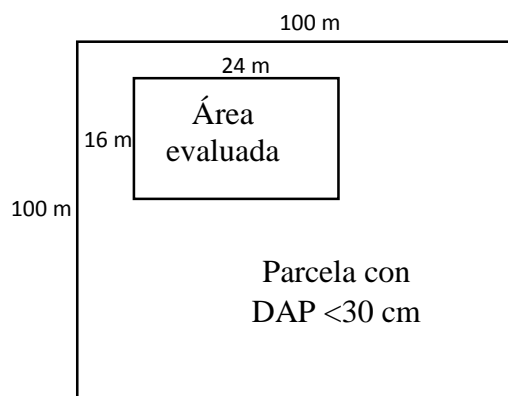
A continuación se detalla cada procedimiento específico e instrumentos para la recolección de los datos:

✓ Evaluación de biomasa vegetal en la plantación forestal laurel (*Cordia alliodora*)

- Biomasa Arbórea Viva (BAV)

Para evaluar la biomasa arbórea viva de árboles se delimitó el área a evaluar. Parcelas de 625 m² para árboles con DAP superior a 30 cm y parcelas de 384m² para individuos menores con diámetro entre 5 cm a 30 cm. Se codificaron con pintura los árboles a evaluar, y así mismo se señalaron a 1.30 m sobre el nivel del suelo con la finalidad de establecer la altura estándar para la toma de las circunferencias.





Se midió el CAP (circunferencia a la altura del pecho) con una cinta métrica y a partir de esta medida se calculó el DAP. Además se midió la altura total del árbol con un clinómetro.

Para la conversión de CAP a DAP se utilizó la siguiente fórmula:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Para obtener la altura a partir de los datos recogidos se utilizó la siguiente fórmula:

$$HT = (tg\alpha \times l) + (tg\beta \times l)$$

Dónde:

HT: Altura total del árbol

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

Posteriormente se tomaron 03 árboles de los cuales se extrajo 03 muestras de madera por cada árbol con la ayuda de un taladro con broca de 1/2 pulgada de diámetro y calibrado a 5 cm de profundidad, dichas muestras se aislaron en una bolsa plástica y fue pesado en el Laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén en su fase húmeda, luego fueron colocadas en la estufa a una temperatura de 75°C por 48 horas y así se obtuvo el peso seco con el fin de calcular la densidad de la madera del laurel. Dado

a que el tipo de densidad para estimar la biomasa de volúmenes forestales es la densidad básica (peso seco entre volumen) en el laurel se utilizó dicha densidad.

- **Volumen de la muestra de madera**

$$v = \pi r^2 h$$

Dónde:

V = volumen de la muestra de madera (cm³),

$\pi = 3,1415$

r = radio de la broca (cm)

h = profundidad (cm).

- **Densidad básica de la madera del laurel**

$$D_{\text{madera}} = \frac{MS_m}{V_m}$$

Dónde:

D_{madera} = densidad básica-específica de la madera (g cm⁻³),

MS_m = masa seca de la submuestra de la madera (g),

V_m = volumen de las submuestras (cm³).

- **Volumen de madera del fuste del laurel**

Para la estimación del volumen se utilizó la fórmula general del volumen de árboles en pie:

$$V = \frac{1}{4} (3,1416) \times \text{DAP}^2 \times \text{Ht} \times \text{Ff}$$

Dónde:

DAP = Diámetro Altura de Pecho (1,3 m del suelo).

Hf = Altura total (m).

Ff = Factor de forma (0,70 en latifoliada y 0,47 en pino).

Los datos de densidad de cada muestra de madera de laurel y volumen estimado a partir de las anteriores fórmulas fueron utilizados para obtener la biomasa de cada árbol:

$$D_{\text{madera}} = \frac{MS_a}{V_a}$$

Dónde:

D_{madera} = densidad básica-específica de la madera (g cm^{-3})

MS_a = masa seca del árbol (g),

V_a = volumen en pie (verde) del árbol (cm^3).

Con ello se estimó la biomasa fustal de cada árbol existente en el área de muestreo de las parcelas seleccionadas tanto en la plantación de laurel con menor de 30 cm de diámetro como con mayor a 30 cm. Como dicha fórmula no incluye raíces ni ramas, se aplicó la siguiente fórmula que estima la biomasa total del árbol a partir de un Factor de Expansión de biomasa que relaciona la biomasa aérea total y la biomasa del fuste (Salinas & Hernández, 2008)

$$B = B_f + FEB \text{ (1.26 ó 1.9)}$$

Dónde:

B : Factor de expansión de biomasa

B_f : Biomasa fustal

FEB: Factor de Expansión de Biomasa. Para laurel dentro de plantaciones 1,26 (Avendaño, 2008) y bajo SAF 1,9 (Andrade & Ibrahim, 2003).

- **Carbono**

$$CC = B \times 0,5$$

Dónde:

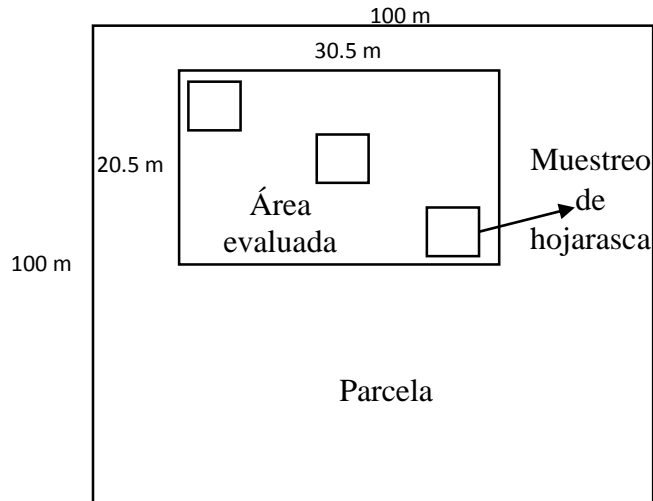
CC: Carbono

B : Biomasa

0.5: Factor de conversión

- **Biomasa seca (hojarasca) (Bh)**

Se tomaron 03 muestras, para ello se cuantificó la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas), utilizando cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m.



Se registró su peso fresco total en los 0.25 m². De esta muestra se sacó una submuestra de 200 g y se colocó en bolsas de papel. Luego fueron llevadas a la estufa 75°C de temperatura constante de aire caliente, durante 72 horas hasta obtener peso seco constante.

Para obtener la biomasa de la hojarasca se utilizó la siguiente fórmula:

$$Bh = \left[\left(\frac{PSM}{PFM} \right) * PFT \right]$$

Dónde:

Bh : Biomasa de la hojarasca, materia seca en (gr)

PSM : Peso seco de la submuestra colectada (gr)

PFM : Peso fresco de la submuestra colectada (gr)

PFT : Peso fresco total de la muestra en los 0.25 m²(gr)

La biomasa de hojarasca calculada en los 0.25 m² fue convertida a hectáreas, por lo que se le aplicó un descuento, de la siguiente manera: De los 03 árboles donde se extrajo las muestras con el taladro, se midió su circunferencia de la base, obteniendo un promedio, para así estimar el área de la base a través de la siguiente fórmula:

$$A = \pi r^2$$

Con ello se estima el área que ocupan los árboles de laurel en una hectárea y se le resta la biomasa total de hojarasca.

- **Biomasa vegetal total (tn/ha)**

Es la suma de la biomasa arbórea viva y hojarasca.

$$BVT = BAV + Bh$$

Dónde:

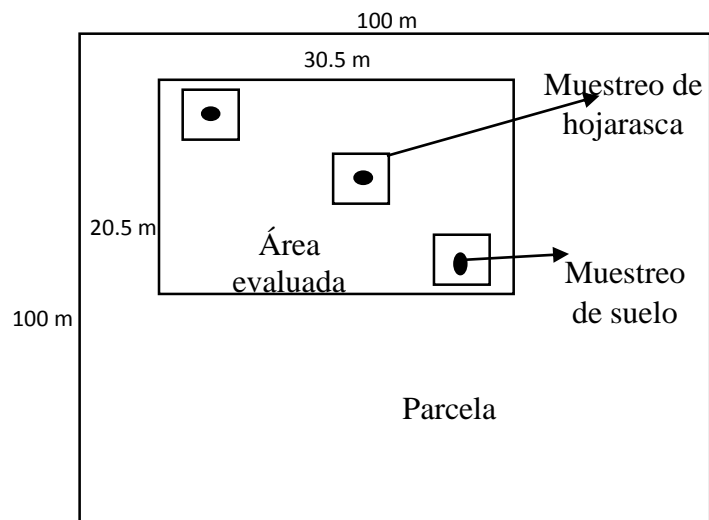
BVT: Biomasa vegetal total

BAV: Biomasa arbórea viva

Bh : Biomasa de la hojarasca.

- **Carbono orgánico del suelo**

En los mismos sitios donde se recolectó el mantillo, se tomaron 3 muestras de suelo con una palana y se conformó una muestra compuesta por parcela de 200 g, en 30 cm de profundidad. Esto debido a que en ella se concentra la mayor actividad de las raíces finas y por ende, una mayor acumulación de materia orgánica por su senescencia. Dichas muestras fueron enviadas al laboratorio Oikoslab, donde se determinó el porcentaje de concentración de carbono orgánico con el método de Walkley & Black.



Además, se extrajo muestras de suelo por cada 10 cm de profundidad (0-10cm, 10-20cm y 20-30 cm), siendo 3, llegando a una profundidad de 30 cm para la medición de la densidad aparente, empleando el

método del cilindro de volumen conocido, el cual consiste en tomar una muestra de suelo dentro de un anillo de metal de un volumen de 198 cm³. Estas muestras fueron llevadas a peso constante, secando en horno a una temperatura de 105 °C por 24 horas. Se estimó mediante la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{Pss}{Vc}$$

Dónde

Da : densidad aparente expresada (gr.cm⁻³)

Pss : peso de suelo seco (gr)

Vc : volumen del cilindro (198 cm³)

Posteriormente se obtuvo el carbono almacenado en el suelo, a partir del porcentaje de concentración y la densidad del suelo, utilizando la fórmula propuesta por Andrade e Ibrahim (2003):

$$COS = Ps \times Da \times CO$$

Dónde:

COS: Carbono orgánico en suelos (t·ha-1)

Ps : Profundidad del suelo (cm)

Da : Densidad aparente (g·cm-3)

CO : Concentración de carbono orgánico en suelos (%)

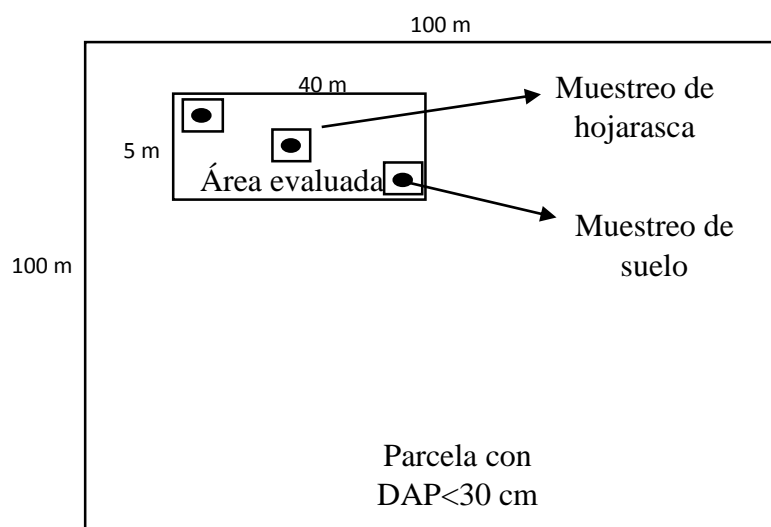
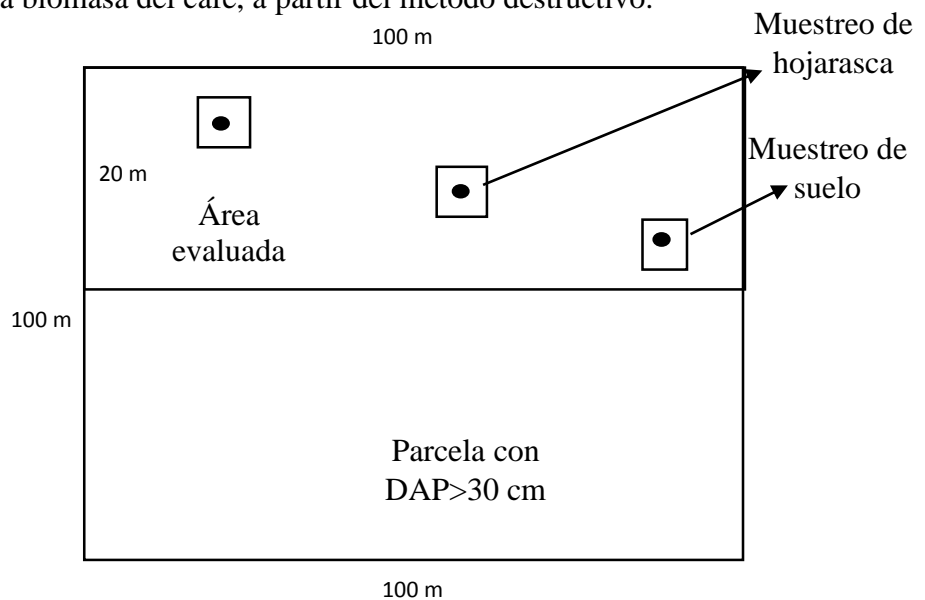
- **Carbono total**

Resulta de la suma del Carbono Total Vegetal y el COS

$$CT = CVT + Csuelo$$

✓ **Evaluación de biomasa vegetal en el sistema agroforestal *Cordia alliodora*- *Coffea arabica***

Para el sistema agroforestal en cada distrito (San Ignacio y Chirinos) se tomó una parcela de 200 m² para individuos con DAP entre 5cm a 30 cm (sistema joven) y una parcela de 2000 m², tal y como el ICRAF recomienda. Para árboles con DAP superior a 30 cm (sistema adulto). La metodología aplicada para la evaluación de la biomasa del sistema agroforestal es la misma que se aplicó en la plantación forestal, con la diferencia de que en el sistema agroforestal se incluyó la evaluación de la biomasa del café, a partir del método destructivo.



Se aplicó el método destructivo de tres plantas promedios de cafeto tanto del SAF con árboles de laurel menores a 30 cm de diámetro como del SAF con árboles mayores a 30 cm. Dichas plantas fueron cortadas y divididas en tres partes, raíz, tronco y ramas. Así mismo fueron llevadas a la estufa a una temperatura de 105°C por 48 horas. La diferencia entre el peso verde (inicial) y el peso seco (final) es la biomasa del cafeto.

A partir de la correlación entre altura y circunferencia con la biomasa obtenida del cafeto, se desarrolló una ecuación para la estimación de biomasa del cafeto a través de una regresión lineal, aplicable a la Provincia de San Ignacio. Además de ello se generó ecuaciones por cada variable.

3.2.9. Procesamiento de datos y análisis estadísticos

Se realizó dos análisis, el primero a través de la hoja de cálculo Excel, con cuadros, gráficos para la comparación de medias y regresiones lineales.

El segundo fue el análisis Trifactorial 2 x 2 x 2: 02 factores, 02 niveles, 02 repeticiones mediante el programa IBM SPSS para explicar las correlaciones entre las variables observadas.

Factores: FA: Plantación forestal laurel y FB: Sistema agroforestal laurel+café

Niveles: N_i: Individuos con DAP entre 5cm a 30cm y N_{ii}: Individuos con DAP superior a 30cm

Repeticiones: Parcelas en el Distrito de Chirinos y Parcelas en el Distrito de San Ignacio

Tabla 1*Diseño de la investigación*

Repeticiones	Parcelas en el Distrito de San Ignacio		Parcelas en el Distrito de Chirinos	
Niveles Factores	Individuos con DAP entre 5cm a 30 cm	Individuos con DAP superior a 30 cm	Individuos con DAP entre 5cm a 30 cm	Individuos con DAP superior a 30 cm
Plantación forestal laurel	-	-	-	-
Sistema agroforestal laurel + café	-	-	-	-

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de carbono total

La evaluación de carbono en las diferentes parcelas, arrojó resultados como: El promedio mayor de captura de carbono expresado en toneladas por hectárea de las parcelas evaluadas correspondió a la PF-CH>30 cm con 482.07 tn.C.ha⁻¹, seguido de la PF>30cm con 254.76 tn.C.ha⁻¹, SAF-SI<30 cm con 248.76 tn.C.ha⁻¹, SAF-SI>30 cm con 224.54 tn.C.ha⁻¹, SAF-CH>30 cm con 202.76 tn.C.ha⁻¹, PF-CH<30 cm con 201.98 tn.C.ha⁻¹, PF-SI<30 cm con 172.61 tn.C.ha⁻¹ y por último SAF-CH<30 con 118.10 tn.C.ha⁻¹ con valores menores de captura de carbono.

Tabla 2

Carbono total en tn.ha⁻¹ de dos Sistemas de Uso de Tierra, bajo dos rangos de DAP de laurel en dos localidades de la Provincia de San Ignacio.

Localidad Bloque	Laurel		Laurel+ Café		Prom.	
	(PF)		(SAF)			
	DAP: <30cm (01)	DAP: >30cm (02)	DAP: <30cm (01)	DAP: >30cm (02)		
<i>*San Ignacio</i> (SI)	I	175.808	220.099	249.446	211.108	225.084
	II	161.574	235.010	249.168	241.130	232.740
	III	152.703	309.175	247.662	221.371	246.993
	Prom.	163.362	254.761	248.758	224.536	234.939
<i>**Chirinos</i> (CH)	I	158.520	481.280	119.450	199.890	239.785
	II	192.250	502.360	119.820	156.280	242.678
	III	255.160	462.580	115.020	251.400	271.040
	Prom.	201.977	482.073	118.097	202.523	251.168
Promedio	182.669	368.417	183.428	213.530	243.053	

DAP: Diámetro a la altura de pecho del laurel, *Localidad 1: Distrito San Ignacio, **Localidad 2: Distrito Chirinos.

En el análisis Trifactorial, se observó que entre localidades no hay varianza significativa al 5 y al 1% (el valor es 4.023%), para el caso del DAP y SUT, se muestra valores de la significancia estadística menores al 5 y 1%. Similar caso se tiene para las interacciones loc*DAP, Localidad * SUT, DAP * SUT done los valores de la significancia son menores al 5% y al 1%. Finalmente para la interacción de las tres variables se determinó que la variación estadística es mayor al 5 y al 1% (13.43%).

Tabla 3

Análisis de variancia de la captura de carbono en $m. ha^{-1}$ de 2 SUT, plantación forestal (Laurel) y sistema agroforestal (Laurel + café), bajo dos rangos de DAP ($DAP < 30\text{ cm}$ y $DAP > 30\text{ cm}$) en dos localidades de la Provincia de San Ignacio.

Origen	gl	Suma de cuadrados tipo III	Media cuadrática	F	Sig.
Localidad	1	4809.869	4809.869	4.983	.04023842
DAP	1	69886.834	69886.834	72.405	.00000025
SUT	1	35632.544	35632.544	36.917	.00001605
Localidad * DAP	1	33155.640	33155.640	34.350	.00002412
Localidad * SUT	1	65711.828	65711.828	68.080	.00000037
DAP * SUT	1	36338.827	36338.827	37.648	.00001435
Localidad * DAP * SUT	1	2402.801	2402.801	2.489	.13418026
Error	16	15443.466			
Total	23	1611561.052			

R cuadrado = ,941 (R cuadrado corregida = ,916)

DAP: Diámetro a la altura de pecho, SUT: Sistema de Uso de Tierra, LOC: Localidad

En la **figura 1**, se muestra la diferencia numérica promedio (16.3 tn.C.ha⁻¹). sobre captura de carbono entre localidades, siendo Chirinos la localidad en la que los sistemas almacenaron más carbono. Sin embargo presenta igualdad de medias estadísticamente.

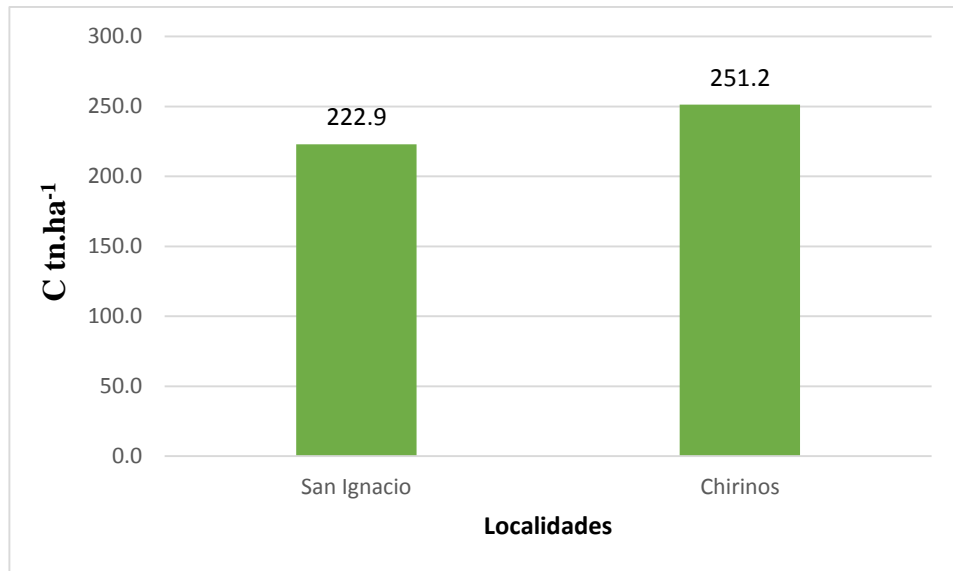


Figura 1: Comparación de medias de carbono total en tn.ha⁻¹ en localidades

En la **figura 2**, se puede mostrar la diferencia de medias, siendo el DAP mayor a 30 cm el que ofrece mayor captura de carbono.

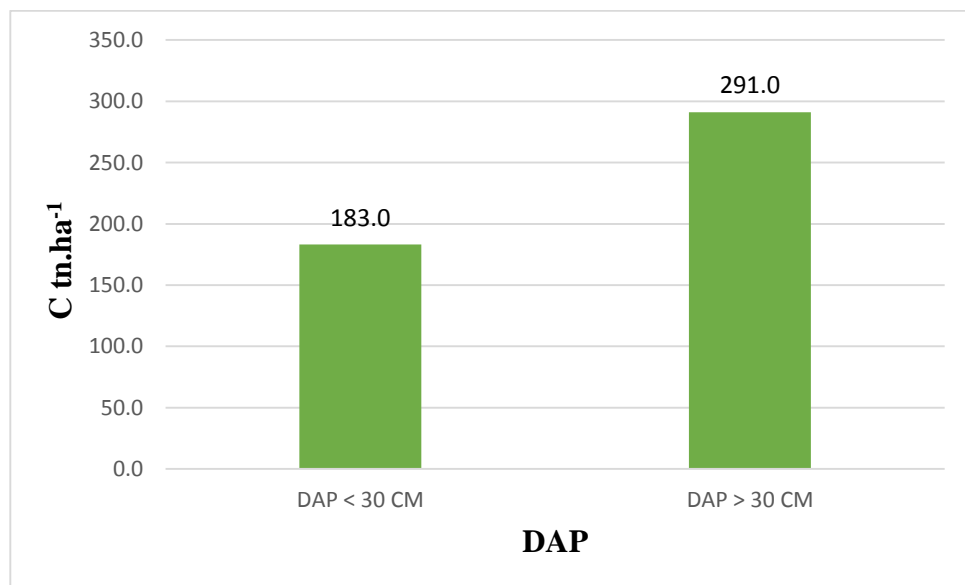


Figura 2: Comparación de medias de carbono total en tn.ha⁻¹ con rangos de DAP del laurel.

En la **figura 3**, se puede mostrar la diferencia de medias entre SUT, siendo la plantación de laurel la que almacenó mayor cantidad de carbono por hectárea.

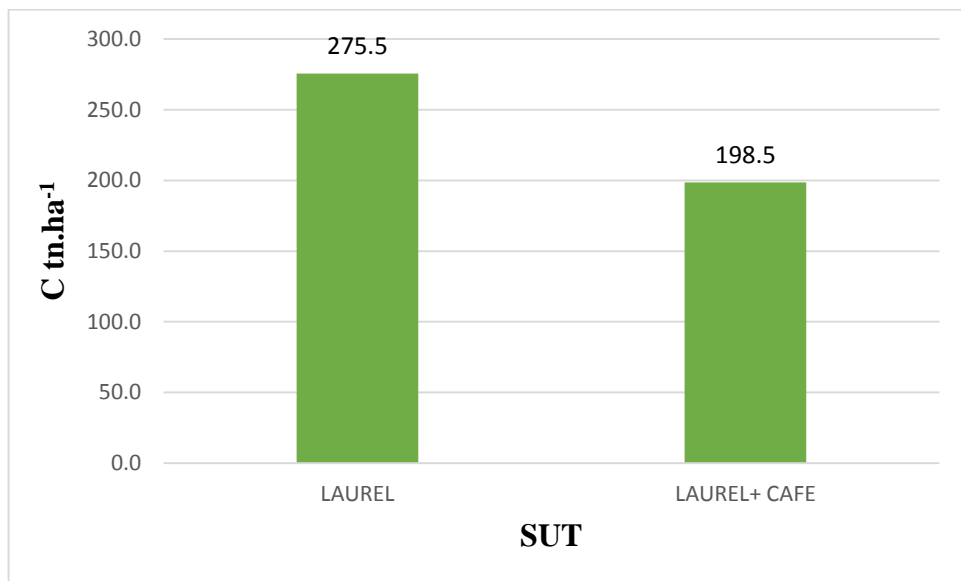


Figura 3: Comparación de medias de carbono total en tn.ha-1 en SUT

En la **figura 4**, se puede mostrar la diferencia de medias entre localidades bajo rangos de DAP, siendo la parcela de Chirinos con DAP>30 cm con respecto al laurel con mayor cantidad de carbono almacenado por hectárea. Para las tres parcelas restantes el promedio de carbono no presenta diferencias muy marcadas.

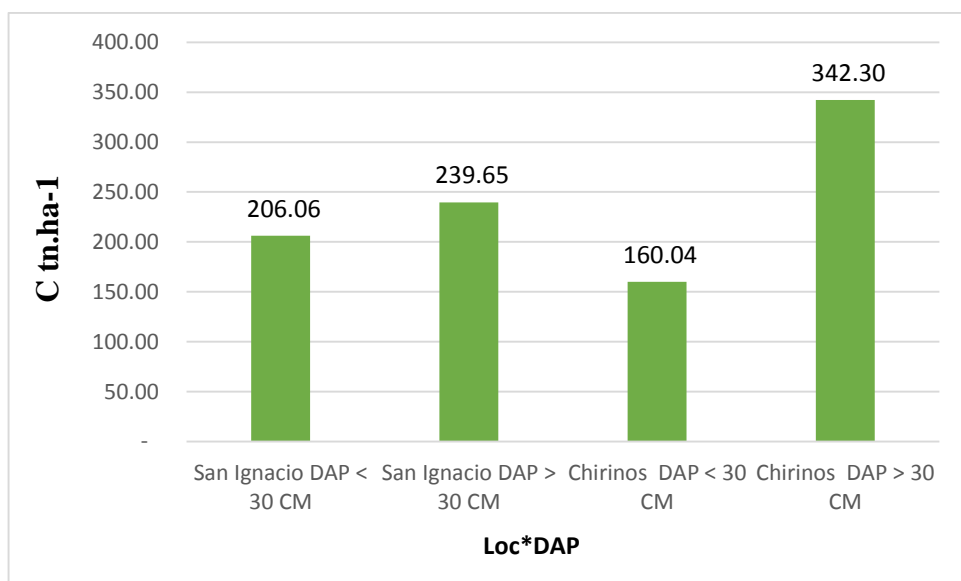


Figura 4: Comparación de medias de carbono total en tn.ha⁻¹ en localidades y con rangos de DAP.

En la **figura 5**, se observa la diferencia de medias entre localidades bajo dos SUT, siendo la plantación de laurel en Chirinos la que presentó mayor carbono promedio almacenado, mientras que el SAF laurel + café de la misma localidad la que almacenó menor cantidad de carbono.

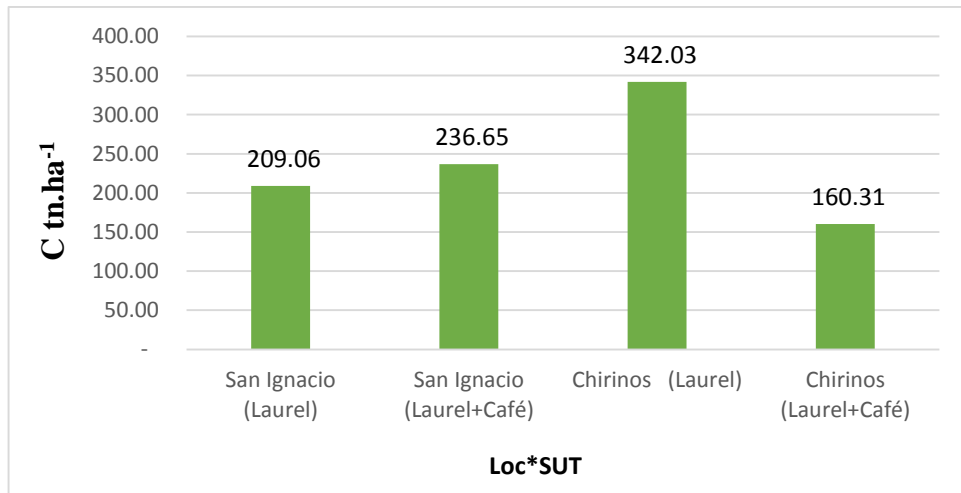


Figura 5: Comparación de medias de carbono total en tn.ha-1 en localidades y Sistemas de Uso de Tierra (SUT).

En el caso de la interacción DAP*SUT se presenta una variación estadística, donde en la **figura 6** podemos notar un valor extremo de captura de carbono máximo siendo la plantación de laurel con DAP mayor a 30 cm, mientras que las otras parcelas presenta promedio de captura de carbono similares por debajo del promedio del valor extremo.

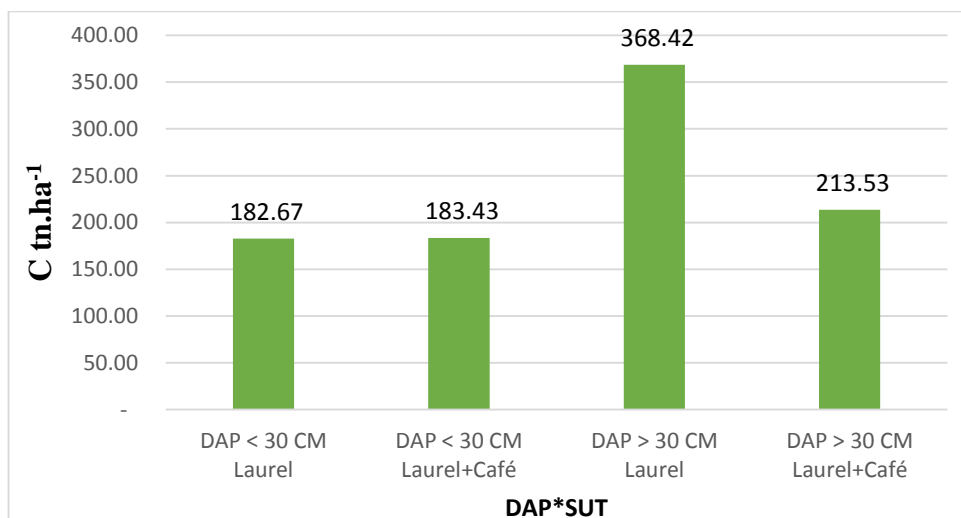


Figura 6: Comparación de medias de carbono total en tn.ha⁻¹ en rangos de DAP y SUT

En la **figura 7**, se aprecia que en la interacción Loc*DAP*SUT en promedio no existe variación estadística, esto por el efecto de la igualdad de medias de las localidades y las interacciones entre éstas, sin embargo en el gráfico, se puede apreciar valores extremos de captura de carbono máximo como es la parcela PF-CH>30 cm de laurel y el valor más bajo SAF-CH<30 cm.

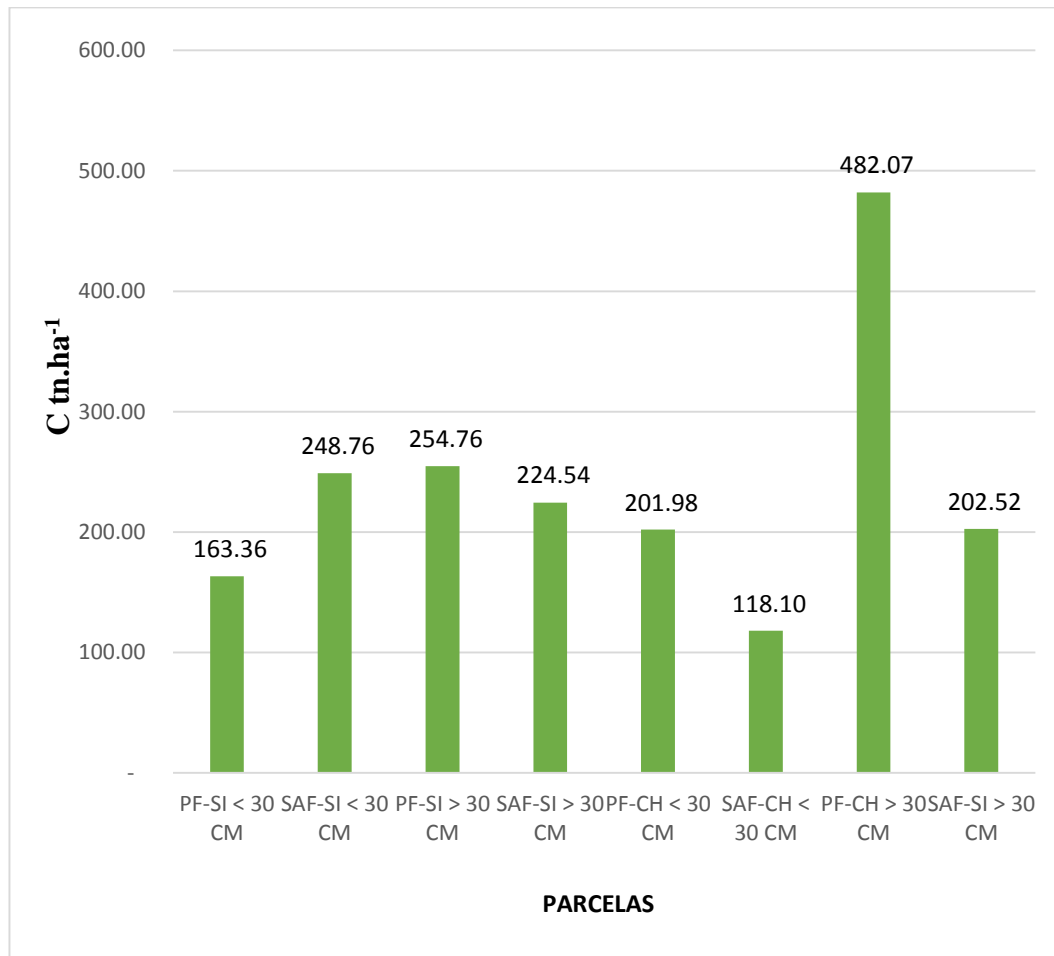


Figura 7: Comparación de medias de carbono total en tn.ha⁻¹ en localidades, con rangos de DAP y diferentes SUT.

4.2. Evaluación de biomasa por componente

4.2.1. Biomasa por componente de la plantación de laurel

Los resultados obtenidos demuestran que en la plantación forestal de laurel los árboles (biomasa viva) es el componente que mayor biomasa promedio almacena con $387.566 \text{ tn.ha}^{-1}$, seguido de la materia orgánica del suelo (MOS) con $137.616 \text{ tn.ha}^{-1}$ y por último la hojarasca con 7.423 tn.ha^{-1} .

Tabla 4

Biomasa en tn.ha^{-1} por componente de la plantación de laurel

Árboles	Plantación de Laurel		
	BV	H	MOS
1	123.366	6.126	
2	94.899	5.705	196.897
3	77.156	6.018	
4	328.876	7.727	
5	358.698	7.469	96.059
6	507.029	7.893	
7	123.244	6.801	
8	190.081	7.425	161.332
9	315.932	7.400	
10	841.561	9.528	
11	884.896	8.353	96.174
12	805.055	8.635	
Prom	387.566	7.423	137.616

BV: Biomasa Viva en tn.ha^{-1} , H: Hojarasca tn.ha^{-1} , MOS: Materia Orgánica del Suelo en tn.ha^{-1}

En la **figura 8**, se aprecia que existe diferencia numérica entre los componentes de la plantación de laurel, donde el componente biomasa viva almacenó mayor biomasa promedio siendo $384.15 \text{ tn.ha}^{-1}$, seguido el suelo con $137.62 \text{ tn.ha}^{-1}$ y por último la hojarasca con 7.44 tn.ha^{-1} .

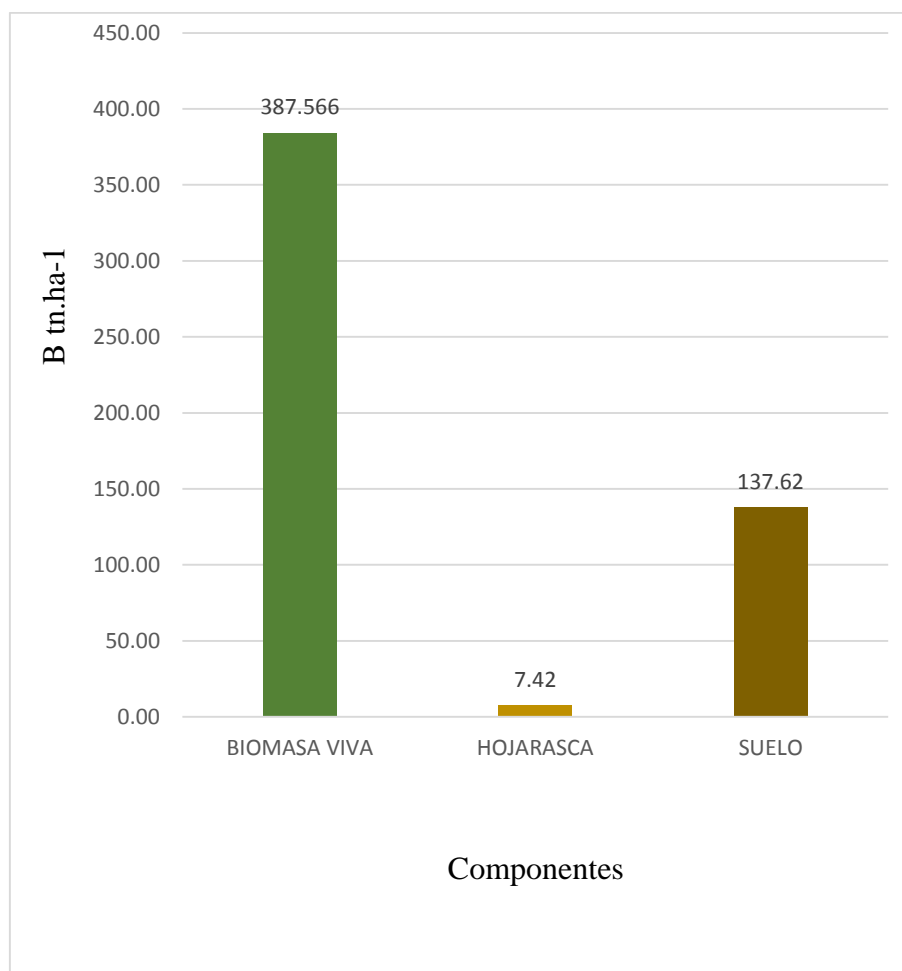


Figura 8: Comparación de medias de biomasa por componente en tn.ha^{-1} en plantaciones de laurel.

4.2.2. Biomasa por componente del sistema agroforestal laurel + café

En el SAF laurel + café el componente con mayor biomasa almacenada fue la Materia Orgánica del suelo (MOS), con una biomasa promedio de $252.391 \text{ tn.ha}^{-1}$, seguido de la Biomasa viva (árboles y cafeto) con $94.522 \text{ tn.ha}^{-1}$ y por último la hojarasca con un valor menor, siendo 136 tn.ha^{-1} .

Tabla 5*Biomasa en tn.ha⁻¹ por componente del sistema agroforestal laurel+café*

SAF Laurel + Café			
Árboles	BV	H	MOS
1	42.061	8.954	
2	40.795	9.665	385.803
3	36.821	10.627	
4	94.498	9.285	
5	154.567	9.262	274.639
6	113.493	10.816	
7	35.636	9.642	
8	37.189	8.834	166.856
9	27.189	9.235	
10	177.282	10.927	
11	92.634	8.369	182.267
12	282.099	9.136	
Prom	94.522	9.563	252.391

BV: Biomasa Viva en tn.ha⁻¹, H: Hojarasca tn.ha⁻¹, MOS: Materia Orgánica del Suelo en tn.ha⁻¹

En la **figura 9**, se muestra que existe diferencia numérica entre los componentes del sistema agroforestal laurel + café, donde el componente suelo almacenó mayor biomasa promedio con 252.39 tn.ha⁻¹, seguido de la biomasa viva con 94.52 tn.ha⁻¹, por último la hojarasca con 9.56 tn.ha⁻¹

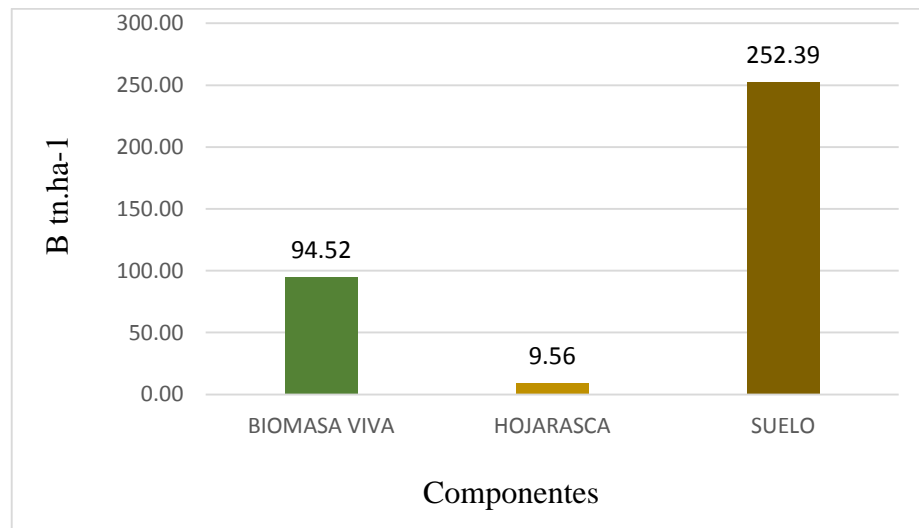


Figura 9: Comparación de medias de biomasa por componente en tn.ha⁻¹ en sistemas agroforestales laurel + café.

4.3. Evaluación de carbono en suelo

Los resultados del carbono en el suelo encontrados muestran al SAF-SI<30 cm como la parcela con mayor carbono capturado, siendo 223.938 tn.ha⁻¹, y valores extremos mínimos de carbono en la PF-SI<30 cm con 55.661 tn.C.ha⁻¹.

Tabla 6

Carbono Orgánico de Suelo en tn.ha⁻¹

Parcela	Materia Orgánica (%)	Carbóno (%)	Densidad (gr.cm ⁻³)	Profundidad de Muestreo (cm)	MOS (tn.ha ⁻¹)	COS (tn.ha ⁻¹)
SAF-SI<30 cm	12.99	7.54	0.99	0.3	385.803	223.938
SAF-SI>30 cm	8.09	4.69	1.1316	0.3	274.639	159.216
PF-SI<30 cm	6.280	3.640	1.045	0.300	196.897	114.125
PF-SI>30 cm	3.210	1.860	0.998	0.300	96.059	55.661
SAF-CH<30 cm	6.360	3.690	0.875	0.300	166.856	96.808
SAF-CH>30 cm	5.910	3.430	1.028	0.300	182.267	105.783
PF-CH<30 cm	4.4	2.55	1.222	0.300	161.332	93.499
PF-CH>30 cm	2.83	1.64	1.133	0.300	96.174	55.734

En la **figura 10**, se muestra diferencias en el carbono almacenado por las diferentes parcelas evaluadas, donde podemos notar valores extremos de captura de carbono máximo siendo la parcela SAF-SI<30 cm con 293.94 tn.C.ha⁻¹ y valores bajos en las parcelas PF-SI>30 cm y PF-CH>30 cm, con 55,661 y 55.74 tn.C.ha⁻¹ respectivamente.

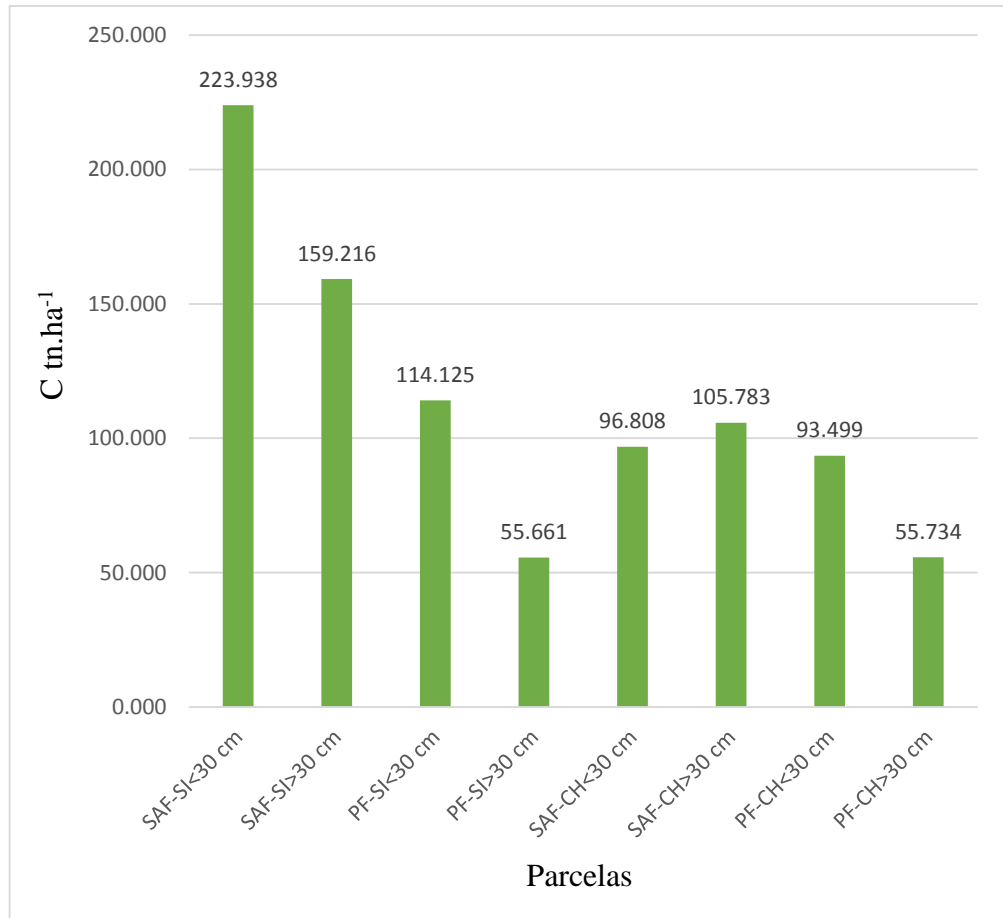


Figura 10: Carbono total almacenado del suelo en tn.ha^{-1} en 2 SUT (plantación laurel y sistema agroforestal laurel + café), bajo dos rangos de DAP ($\text{DAP}<30$ cm y $\text{DAP}>30$ cm con respecto al laurel) en dos localidades de la Provincia de San Ignacio (San Ignacio y Chirinos).

4.4. Comparación del potencial de captura de carbono en el laurel como plantación y bajo sistema agroforestal en un tiempo propuesto de 30 años

4.4.1. Plantación de laurel

A partir de la evaluación de carbono por cada edad de los árboles de laurel muestreados (9, 12, 16 y 18 años) bajo plantación se llegó a los resultados que dicha especie en un tiempo propuesto de 30 años capturará más de $575.97 \text{ tn.C.ha}^{-1}$ acumulado.

Tabla 7

Tabla de Carbono en tn.ha⁻¹ del laurel bajo plantación

Plantación Laurel			
N° Árbol	Edad (años)	N° Árboles /ha	Carbono (tn.ha ⁻¹)
1	9		58.62
2	9	1000	44.60
3	9		35.57
1	12		61.62
2	12	1100	95.04
3	12		157.97
1	16		160.57
2	16	1168	175.61
3	16		249.57
1	18		420.78
2	18	1104	442.45
3	18		402.53

En la **figura 11** se muestra la existencia de una relación logarítmica positiva entre las variables carbono y edad de la plantación de laurel, conforme aumenta la edad, también se incrementa la cantidad de carbono en la plantación.

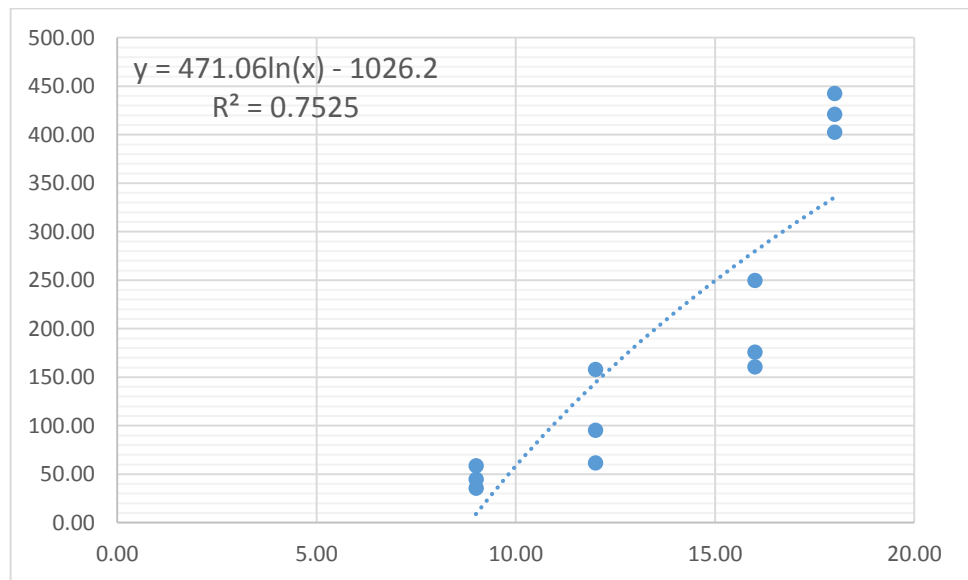


Figura 11: Modelo regresional logarítmico de la captura de carbono y la edad de la plantación de laurel.

En la **figura 12**, se puede mostrar que la plantación de laurel a 30 años acumulará más de 800 tn.C.ha⁻¹.

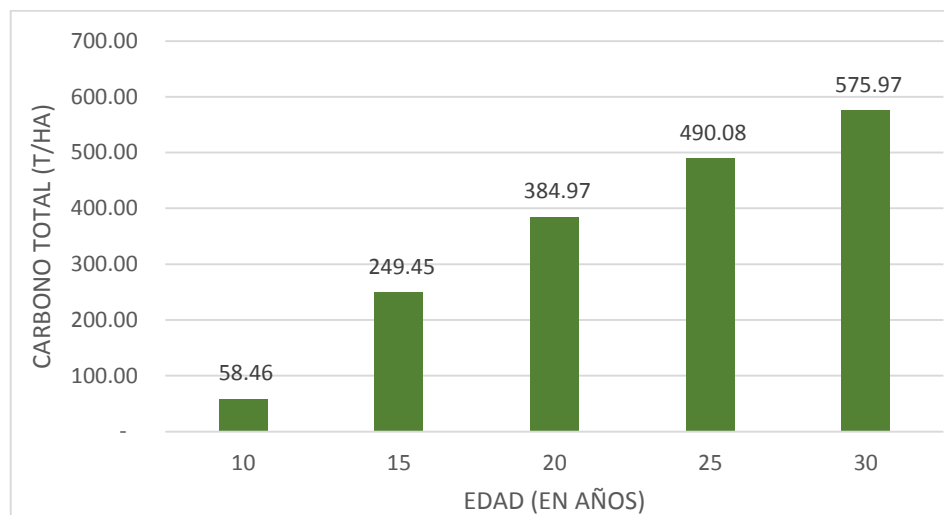


Figura 12: Carbono promedio capturado por la plantación de laurel

4.4.2. Sistema agroforestal laurel + café

Los árbol de laurel bajo SAF evaluados fueron de 9, 10, 15 y 17 años de edad, obteniéndose como resultados que en un tiempo propuesto de 30 años acumularán aproximadamente 137.28 tn.C.ha⁻¹.

Tabla 8

Carbono en tn.ha⁻¹ el laurel bajo SAF

Plantación Laurel			
N° Árbol	Edad (años)	N° Árboles /ha	Carbono (tn.ha ⁻¹)
1	9		11.45
2	9	156	11.71
3	9		11.30
1	10		35.17
2	10	170	67.83
3	10		47.20
1	15		11.43
2	15	150	14.32
3	15		9.07
1	17		79.74
2	17	175	38.80
3	17		135.46

En la **figura 13**, se muestra la existencia de una baja relación lineal positiva entre las variables carbono y edad del sistema, donde a medida que aumenta la edad, la cantidad de carbono también asciende.

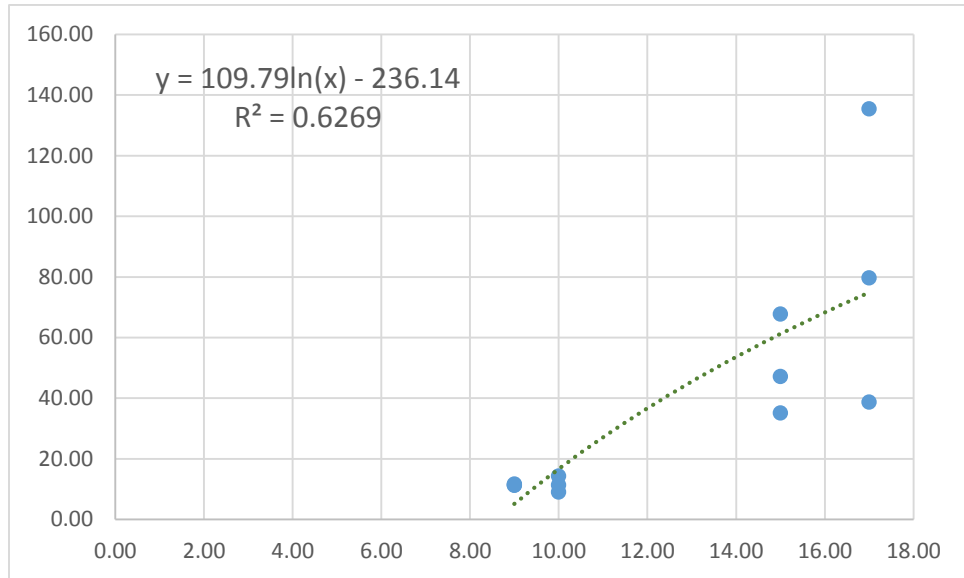


Figura 13: Modelo regresional logarítmico de la captura de carbono y edad del sistema agroforestal laurel + café.

En la **figura 14**, se puede mostrar que el SAF laurel + café en 30 años de edad acumulará aproximadamente 200 tn.C.ha⁻¹.

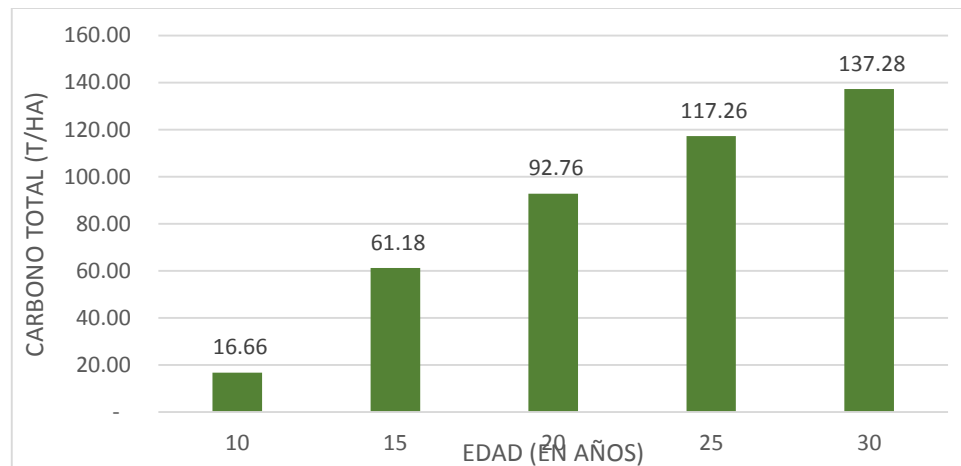


Figura 14: Carbono promedio capturado por el SAF laurel + café

4.5. Generación de ecuación alométrica para el café

4.5.1. Biomasa promedio de cada componente estructural del cafeto

De los componentes evaluados del cafeto, el tallo es quien almacena mayor biomasa promedio siendo 1.361 kg, seguido de la raíz con 0.993 kg y por último las hojas y ramas con 0.875 kg de biomasa.

Tabla 9

Biomasa por componente estructural del cafeto

N° de Cafetos	Peso Verde (kg)			Peso Seco (Kg)		
	HR	Tallo	Raíz	HR	Tallo	Raíz
1	3.205	3.045	2.480	0.847	1.195	1.950
2	2.415	2.489	2.005	0.840	1.560	1.220
3	2.918	2.609	2.009	0.909	1.150	0.902
4	2.805	2.395	2.032	1.092	1.950	1.230
5	2.570	2.513	2.008	0.970	1.260	1.112
6	2.421	2.209	1.980	1.060	1.215	1.103
7	3.205	3.245	2.479	0.854	1.950	0.795
8	3.567	3.543	1.994	0.575	1.210	0.622
9	2.190	3.006	2.053	0.836	1.113	0.601
10	2.453	2.045	2.532	0.806	1.720	0.963
11	2.089	3.651	2.107	0.866	1.210	0.872
12	2.229	3.541	2.035	0.848	0.799	0.545
Promedio	2.672	2.858	2.143	0.875	1.361	0.993

En la **figura 15** se puede mostrar que el tallo almacenó mayor carbono con respecto a los demás componentes, representando el 42.1%, seguido de la raíz con 30.7% y por último las hojas y ramas con 27.1%.

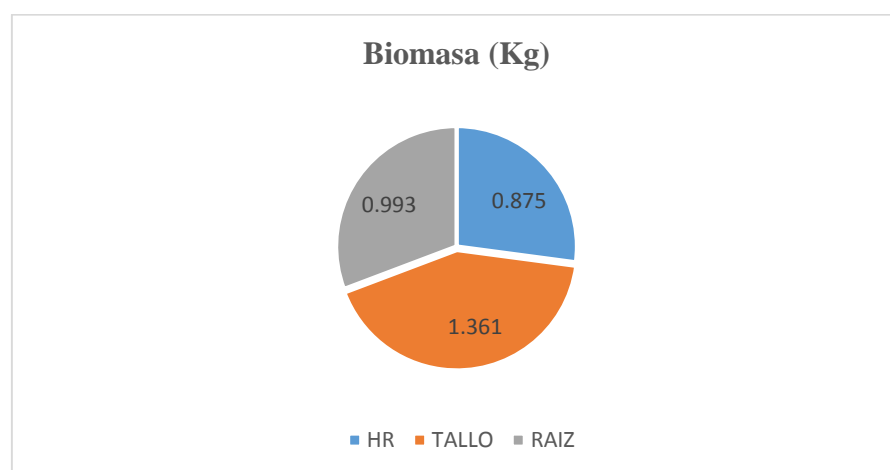


Figura 15: Biomasa almacenada en cada componente estructural del cafeto

4.5.2. Desarrollo de la ecuación alométrica para el café

Para el desarrollo de la ecuación alométrica, se correlacionó la altura del café con la circunferencia y la biomasa obtenida, donde el coeficiente de correlación (R^2) fue 0.38.

Tabla 10

Biomasa del café según su altura y circunferencia

N° Café	Altura (cm)	C ₁₅	Biomasa (Tn.Ha ⁻¹)
1	202	14.8	3.992
2	178	15.3	3.62
3	171	13	2.961
4	198	13.6	4.272
5	210	12.8	3.342
6	199	14.1	3.378
7	157	15.3	3.599
8	165	15.5	2.407
9	175	13.9	2.55
10	168	15.5	3.489
11	170	16.4	2.948
12	156	15.2	2.192

C₁₅: Circunferencia del café a 15 cm

Tabla 11

Ecuaciones alométricas generadas en esta investigación

Variables relacionadas	Ecuación	R ²
H y C ₁₅ -B	$B = 0.0256(h) + 0.14514(C) - 3.41567$	0.38

H y C₁₅-B: Altura y circunferencia con biomasa

Dónde:

B: Biomasa del café (kg)

H: Altura del café (cm)

C₁₅: Circunferencia del café a 15 cm de altura (cm)

V. DISCUSIONES

5.1. Carbono total

Estudios realizados en Costa Rica por Mena *et al.* (2011) obtuvieron resultados como 113.2 Mg C.ha⁻¹ en SAF laurel + café. Cabe precisar que un Mg (megagramo) equivale a una tn (Tonelada), estos datos se asemejan a los resultados de esta investigación, donde se obtuvo en el SAF-CH01<30 cm un promedio de 118.10 tn.C.ha⁻¹, mientras los demás SAF evaluados en nuestro estudio arrojaron datos más elevados en la captura de carbono.

Por otro lado, CATIE (2008), afirma que, los sistemas agroforestales pueden almacenar entre 12 y 228 t/ha de carbono, estando más del 50% de los resultados de esta investigación en SAF entre dichos rangos. Por su parte Espinoza *et al.* (2012) suscribe que los sistemas agroforestales con base en café capturan en promedio 110 t C·ha⁻¹. Sin embargo los resultados presentados en este estudio fueron más elevados, esto explica la influencia de los índices de calidad de sitio. Otro estudio realizado en el litoral ecuatoriano en SAF con café arábica por Corral *et al.* (2006) determinaron que la captura de carbono de dicho SAF fue de 115 tn.ha⁻¹ a nivel de biomasa viva y 187 tn.ha⁻¹ contabilizando el suelo, resultados que están dentro de los rangos de esta investigación siendo 118.410 tn.C.ha⁻¹ a 482.07 tn.ha⁻¹.

En cuanto a estudios en plantaciones de laurel, se encontró que Patiño *et al.* (2018) quien evaluó árboles de laurel de 17 años de edad con una densidad de plantación de 500 árboles por hectárea determinó en ellos una captura de carbono de 19,9 tn.ha⁻¹, Por otro lado Dzib (2003), encontró que los árboles de laurel a una densidad de 184 árboles por hectárea y a una edad de 13+- 2 años almacenan 39+- 27 tn.C.ha⁻¹. Siendo estos resultados menores a lo obtenido en esta investigación de captura de carbono en plantaciones de laurel, esta diferencia se debe a que en nuestra investigación además del laurel se ha considerado

componentes como carbono orgánico del suelo y hojarasca, lo que no se ha incluido en los anteriores estudios, además la densidad de plantación de la parcelas evaluadas en esta investigación fue mayor.

En la **tabla 3** se muestra las interacciones entre las variables estudiadas, donde entre las localidades se acepta la igualdad de las medias, para el caso del DAP y SUT existe variación estadística. Similar caso se tiene para las interacciones Loc*DAP, Loc*SUT, DAP*SUT que se acepta la variación estadística. Finalmente para la interacción de las tres variables Loc*SUT*DAP se acepta la igualdad entre medias.

Dichas variaciones según Kursten y Burschel (1993) y Vega (2016), son altamente dependientes de las especies arbóreas utilizadas, la densidad de la plantación, la edad de los componentes, diferencias de calidad de sitio y del clima, el tipo de suelo y las prácticas de manejo aplicado.

Por su parte Lapeyre, Alegre & Arévalo (2004), afirma que el rango de variación es más amplio a medida que el sistema sea más complejo esto sucede en sistemas con gran dinámica forestal, como bosques y SAF.

En la **figura 1** se aprecia que no hubo diferencia estadística entre las parcelas de las localidades de San Ignacio y Chirinos, la cual se le atribuye a que tanto Chirinos como San Ignacio presentan un clima tropical, clima de mejor desarrollo del laurel según Johnson y Morales (1972).

En la **figura 2** la comparación de medias manifestó que parcelas con DAP mayor a 30 cm acumuló mayor carbono total, esto se debe a que las parcelas con DAP mayor a 30 cm además de presentar mayor volumen por tener mayor diámetro y por ende mayor área basal, fueron las que presentaron mayor altura, por lo tanto mayor biomasa y carbono. Dichos resultados concuerdan con lo afirmado por Gómez y Oviedo (2000) quienes reportan que árboles con mayores dimensiones tanto en altura como diámetro, almacenan más carbono que aquellos que son más pequeños. Por su parte Castro (2017) sostiene que el carbono captado por los árboles aumenta al aumentar el área basal existente en la plantación. Santos et al, (2013), afirma que la biomasa es directamente proporcional al diámetro a la altura de pecho, es decir que a mayor biomasa mayor diámetro.

Sumado a ello las parcelas con DAP mayor a 30 cm presentaron una edad mayor a las parcelas con DAP menor a 30 cm, siendo las edades mayor a 15 años y menor de 12 años respectivamente, lo que explica que mientras más edad tenga un árbol de laurel más carbono acumula, esto concuerda con Zabala, Merino y Peláez (2018) quienes sostienen que las especies forestales al desarrollarse con el tiempo, son más vigorosas y por lo tanto acumulan mayor de biomasa.

En la **figura 3** se muestra la comparación de medias entre SUT, donde la plantación de laurel capturó mayor carbono que el SAF laurel + café; esto se debe a que la densidad de siembra del laurel en una plantación es mayor, siendo en nuestro estudio un distanciamiento de 3m x 3m por lo tanto más árboles por hectárea, mientras que el laurel bajo SAF presentaron un distanciamiento que varía entre 7m x 7m y 8m x 8m, lo que hace que exista menos árboles, es así que en concordancia con Mieses (2017) la relación entre la densidad y la captura de carbono es directamente proporcional.

A pesar de que en el SAF hubo mayor hojarasca, no representa cantidades significativas en el carbono total.

En la **figura 4**, se muestra que la parcela de Chirinos con DAP mayor a 30 cm, acumuló mayor toneladas de carbono a diferencia de las 3 parcelas restantes. Esto explica que Chirinos presenta mayor disponibilidad hídrica, lo que se traduce en mayores diámetros, alturas y por ende volumen. Naji *et al.* (2011) suscriben la disponibilidad de agua y nutrientes de los árboles influye directamente en la acumulación de biomasa, dado a que les permite tener un mejor desarrollo.

En la **figura 5**, se observa que la parcela de Chirinos bajo plantación de laurel acumuló mayor cantidad de carbono con respecto a las 3 parcelas restantes. Esto se debió a que además de presentar mejores condiciones climáticas para el laurel, tuvo el menor porcentaje de pérdida de árboles desde su instalación, ya que según Naji, Sahri, Nobuchi y Bakar (2012) existe una disminución de árboles a partir de la densidad inicial de establecimiento debido a los daños mecánicos o raleo natural de estas plantaciones. Además fue mayor que los SAF laurel + café,

por lo que el número de árboles en plantación supera a los que se encuentran bajo dicho sistema.

En dicha figura también se muestra un dato que se contrapone a lo sostenido por esta investigación, donde la parcela de San Ignacio bajo SAF laurel + café almacenó mayor carbono que la plantación de laurel de la misma localidad y que el SAF de Chirinos, esto se le atribuye a que en los SAF de San Ignacio se reportó mayor aporte de carbono en el suelo, lo cual según Nair (2004) el depósito de carbono en el suelo aumenta en la agroforestería.

En la **figura 6**, la plantación de laurel con DAP mayor a 30 cm capturó mayor cantidad de carbono. Esto según Hergoulach *et al.* (2012) se debe a la influencia de la variable densidad, donde la densidad de plantación es mayor en la plantación comparado de un SAF. Además presentaron los árboles con mayor edad, la cual es un factor que influye directamente en la cantidad de carbono almacenado en la parte aérea de los árboles tal y como lo afirma Dzib (2003).

En la **figura 7**, se muestra que en promedio no existió variación estadística, sin embargo numéricamente la parcela PF-CH>30cm capturó mayor carbono. Estos resultados se deben a que en dicha parcela el laurel se desarrolló mejor comparado con San Ignacio, muestra de ello son los mejores diámetros y alturas, menor porcentaje de pérdida comparado con las demás plantaciones, mayor densidad de plantación comparado con los SAF y mayor edad comparado con las demás parcelas. Además la madera del laurel presentó la mayor densidad básica, por tanto la madera más pesada, lo que se traduce en biomasa.

5.2. Biomasa por componente

5.2.1. Biomasa por componente de la plantación de laurel

En la **figura 8**, los resultados obtenidos se le atribuyen a que en una plantación de laurel lo que prima es el componente arbóreo haciendo que exista mayor biomasa viva, en cuanto al suelo probablemente ya existía contenido de carbono antes de que se instale dicha plantación y en cuanto a la hojarasca, el laurel al tratarse de un árbol de copa muy pequeña, el aporte de hojas es menor, sumado a ello a que presenta una descomposición foliar lenta (Oken, 1833 citado por Van Der, 1988).

A nivel interprovincial, se encontró en la provincia de Jaén, específicamente en el caserío Las Naranjas, un estudio sobre la biomasa fustal del laurel bajo sistema agroforestal con café, en la que Vásquez (2018) encontró como dato mayor de biomasa fue 16.9518 tn en 66 árboles de 19 años de edad, comparando con la presente investigación los datos obtenidos son mayores a los que se reportó en el caserío las Naranjas siendo en promedio $94.522 \text{ tn.ha}^{-1}$, esto se debe a que en esta investigación el número de árboles fue mayor y además se evaluó no sólo la biomasa fustal, sino que, se incluyó raíces, ramas y hojas.

5.2.2. Biomasa por componente del sistema agroforestal laurel + café

En la **figura 9**, el componente suelo es el que almacenó mayor materia orgánica (biomasa), con más del 70% del total, en concordancia con Roncal et al (2006), quienes evaluaron un SAF laurel + café, y encontraron que el carbono del suelo representa el 65.8% de la biomasa total, seguido del laurel y cafeto.

Esto se le puede atribuir a varias razones, una a que en un SAF existe mayor incorporación de material vegetal que al degradarse se deposita en el suelo. También es atribuible a que según muy probablemente ya existían diferencias en el contenido de biomasa en el suelo antes de que se instalen las parcelas, lo que sería efecto del tipo o formación de suelo y no del sistema, ambas causas son similares a lo que sostiene López (1998), los contenidos de biomasa en el suelo dependen de factores como la formación del suelo, pero pueden ser modificados, degradados o mejorados por los SUT.

Similares resultados obtuvieron Roncal *et al.* (2008) y Mena *et al.* (2011) quienes sostienen que el mayor reservorio de carbono en los SAF que evaluaron fue la materia orgánica del suelo.

Por otro lado en concordancia con esta investigación se tiene a Corral, Duicela y Maza (2006), quienes en su estudio “Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos Zonas Agroecológicas del litoral Ecuatoriano”,

determinaron que en un SAF laurel + café arábigo, el suelo capturó más carbono con $78.7 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$, seguido del laurel con $36.5 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ y por último el café con $4.4 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Comparando la **figura 8 y 9**, se puede constatar que en plantaciones de laurel la biomasa viva supera a la biomasa del SAF laurel + café, esto se debe a la mayor densidad de siembra del laurel bajo plantación, lo que se traduce en mayor número de árboles, por ende mayor biomasa, en consecuencia mayor carbono.

Mientras que la hojarasca es mayor dentro del SAF laurel + café, atribuible a que tiene dos componentes como aportante de hojas, que a pesar que la plantación de laurel presentó mayor densidad de plantación, la caída de hojas no compensan la cantidad de hojas caídas en un SAF laurel + café. Además las actividades silvícolas desarrolladas en el SAF que dan lugar a la incorporación de hojas y ramas tanto del cafeto como el laurel fueron mayores a diferencia de las plantaciones de laurel, que solo presentan podas naturales, lo que concuerda con Calderón y Solís (2012) quienes encontraron que entre mayor sea la acumulación de biomasa por parte de la hojarasca, mayor será también el almacenamiento de carbono a este nivel. Además según Vega *et al.* (2014) la tasa de fijación de carbono depende al manejo silvicultural al que se vea sometido el SAF.

Con respecto al suelo, el SAF laurel + café acumuló mayor carbono en este nivel que la plantación de laurel, resultado que concuerda con Nair (2004) quien afirma que el depósito de carbono en el suelo aumenta en la agroforestería.

5.3. Carbono en el suelo

En un estudio sobre captura de carbono de SAF's en Ecuador, realizado por Corral, Duicela y Maza (2006), el promedio de carbono acumulado en el suelo de un SAF laurel + café fue 78.8 tn.ha⁻¹, mientras que en nuestra investigación fue mayor, con 144.94 tn.ha⁻¹. Por otro lado en Costa Rica, Fassbender *et al.* (1985), reportó 121 tn.C.ha⁻¹ en el suelo para un sistema laurel + café. Por lo que se puede apreciar diferencias marcadas en algunos estudios y bajas en otros.

En la **figura 10**, los resultados se le atribuyen a que muy probablemente ya existían diferencias en el contenido de carbono en el suelo antes de establecerse las parcelas evaluadas, así mismo se le atribuye a la gran biodiversidad en un SAF, lo que explica Moreira y Castro (2017) los SAF al mantener una gran biodiversidad, aumenta la actividad microbiológica favoreciendo la descomposición de la materia orgánica e incorporación en el suelo, por ende mayor carbono, lo cual se refleja en este estudio.

5.4. Potencial de captura de carbono en el laurel como plantación y bajo SAF en un tiempo propuesto de 30 años.

En las **figuras 11, 12, 13 y 14**, se muestra que la edad del laurel bajo plantación y SAF con café, es directamente proporcional a la cantidad de carbono capturado, esto se debe a que las especies arbóreas al desarrollarse con el tiempo, son más vigorosas y por lo tanto producen mayor acumulación de biomasa tal y como lo afirman Zabala, Merino y Peláez (2018).

Los datos obtenidos en esta investigación y la proyección de captura de carbono del laurel bajo plantación y SAF, obedecen a la influencia de factores edafoclimáticos que inciden en la acumulación de contenidos muy altos de materia orgánica y por consiguiente de carbono tal y como lo sostienen Corral *et al.* (2006).

Se debe considerar que la edad será directamente proporcional al contenido de carbono hasta que el árbol alcance su máximo crecimiento.

5.5. Generación de la ecuación alométrica para el cafeto

En lo que respecta a la **figura 15**, el componente aéreo del cafeto almacenó mayor biomasa representado el 72.8% del total, similar resultados obtuvo Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit ([GIZ], 2011), donde la biomasa aérea del café arábigo representó el 76.27% del total.

En cuanto a la generación de la ecuación alométrica, existen diversos estudios donde se han desarrollado ecuaciones para el café, relacionando diámetro. Siendo uno de ellos las ecuaciones generadas por Odar (2018), en su estudio “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”:

Tabla 12

Ecuaciones alométricas de café en la Provincia de Luya

Tipo de ecuación	Ecuación alométrica	R ²
E. Lineal simple	$B(\text{kg}) = -4.53 + 0.69(\text{DAP})$	0.917
E. Logarítmica	$B(\text{kg}) = -12.683 + 6.59(\text{DAP})$	0.883
E. Cuadrática	$B(\text{kg}) = -3.29 + 0.435(\text{DAP}) + 0.013(\text{DAP})^2$	0.919
E. Cúbica	$B(\text{kg}) = 14.928 - 5.319(\text{DAP}) + 0.598(\text{DAP})^2 - 0.019(\text{DAP})^3$	0.947
E. Exponencial	$B(\text{kg}) = 0.034 * e^{0.397 * (\text{DAP})}$	0.703

Fuente: Odar (2018)

Por otro lado, GIZ (2011), desarrolló la ecuación para el café arábigo, siendo ésta una ecuación exponencial:

Tabla 13

Ecuación alométrica para la especie Coffea arabica en la Reserva de Biósfera Sumaco

Ecuación alométrica	Valor R ²	Especie
$B = 93.42e^{0.208x}$	0.899	<i>Coffea arabica</i>

Fuente: GIZ (2011)

En esta investigación al desarrollar las ecuaciones para estimar la cantidad de biomasa en *C. arabica* en la Provincia de San Ignacio, se obtuvo, que la ecuación con más correspondencia, fue en la que se relacionó las variables circunferencia y altura, siendo:

$$B = 0.0256(h) + 0.14514(c) - 3.41567$$

Dónde:

B: Biomasa del cafeto (kg)

H: Altura del cafeto (cm)

C₁₅: Circunferencia del cafeto a 15 cm de altura (cm)

Sin embargo el coeficiente de correlación (R^2) fue de 0.38, por lo que a diferencia de las anteriores investigaciones, este coeficiente es menor, dado a que se correlacionó dos variables.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La parcela que almacenó mayor carbono total fue la PF-CH>30 cm con 482.07 tn.C.ha⁻¹, seguido de la PF>30cm con 254.76 tn.C.ha⁻¹, SAF-SI<30 cm con 248.76 tn.C.ha⁻¹, SAF-SI>30 cm con 224.54 tn.C.ha⁻¹, SAF-CH>30 cm con 202.76 tn.C.ha⁻¹, PF-CH<30 cm con 201.98 tn.C.ha⁻¹, PF-SI<30 cm con 172.61 tn.C.ha⁻¹ y por último SAF-CH<30 con 118.10 tn.C.ha⁻¹. Para la evaluación de dichas parcelas se buscó la similitud de condiciones edafoclimáticas y de altitud, sin embargo a partir del análisis de varianza en las ocho parcelas estudiadas se llegó a concluir que, variables como Localidad, DAP y Sistema de Usos de Tierra son determinantes en la captura de carbono lo que explica una variación altamente significativa tanto al 1% y al 5% de manera individual e interactuando en la mayoría de ellas, considerando además factores como densidad de la plantación, edad y actividades de manejos culturales.

Dentro de una plantación de laurel, el árbol almacena mayor biomasa con 384 tn.ha⁻¹, seguido del suelo con 137.62 tn.ha⁻¹ y hojarasca con 7.42 tn.ha⁻¹, mientras que dentro de un SAF laurel + café, el componente suelo es quien almacena mayor biomasa, siendo en este estudio 252.39 tn.ha⁻¹, seguido de la biomasa viva (árbol y cafeto) con 94.52 tn.ha⁻¹ y por último la hojarasca almacenando 9.56 tn.ha⁻¹ de biomasa.

El carbono orgánico del suelo es muy variable en las parcelas estudiadas, no presentando relación alguna entre sistema de uso, localidad y DAP, por lo que dicha variación se le atribuye a que ya existía diferencia en el contenido de carbono antes de la instalación de las parcelas.

El laurel bajo plantación en 30 años capturará 575.97 tn.C.ha⁻¹, con un R² de 0.7525, mientras que bajo SAF, capturará 137.28 tn.C.ha⁻¹, con un R² de 0.6269, lo que muestra una relación positiva entre la captura de carbono y la edad del laurel.

La ecuación generada para el *Coffea arábica* en la provincia de San Ignacio a partir de medidas como altura y circunferencia a 15 cm fue: $B = 0.0256(h) + 0.14514(C) - 3.41567$ con un R^2 de 0.38.

6.2. Recomendaciones

Para realizar estudios sobre captura de carbono tanto en plantaciones como en sistemas agroforestales, se recomienda seleccionar parcelas con similares condiciones climáticas, cronológicas (edad), tipo de combinación y misma especie, de este modo compararlas y poder conocer la influencia de éstas sobre la captura de carbono.

La utilización de ecuaciones alométricas es una herramienta de gran utilidad para estimar la captura de carbono por parte de los diferentes sistemas de uso de tierra, sin embargo para obtener datos más exactos se recomienda el método destructivo de este modo se estaría calculando el contenido de carbono y no estimando.

A nivel del suelo, la captura de carbono es muy variable en cualquier sistema de uso de tierra, por lo que se debe realizar el mayor número de muestras, teniendo en cuenta que en los primeros 30 cm de profundidad es donde se almacena el mayor contenido de biomasa.

Para el pronóstico de la captura de carbono del laurel en una determinada edad, se debe tomar mínimo tres datos de las medidas dasométricas, cada uno de ellos en una edad diferente, y a través de una regresión estimar el carbono en los próximos años.

Se recomienda la generación de ecuaciones alométricas de la especie *Coffea arabica* propias para la provincia de San Ignacio, ya que el uso de ecuaciones desarrolladas por otros investigadores puede sobrestimar o subestimar la captura de carbono de esta especie, dado a que las condiciones climáticas en las que se han generado son diferentes con respecto a la Provincia de San Ignacio, considerando que a mayor número de muestras, probablemente el coeficiente de determinación de la ecuación sea mayor.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J., Ricse, A., Arévalo, L., Barbarán, J., Palm, C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. 12: 8-9.
- Andrade, H., & Ibrahim, M. (2003). Cómo monitorear carbono en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*. 10(3040), 109-116.
- Avendaño, J. R. (2008). Modelos Genéricos de Biomasa Área para Especies Forestales en Función de la Arquitectura y la Ocupación del Rodal (Tesis de maestría, Escuela de Posgrado Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza).
- Calderón., D & Solis, D (2012). Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de Pino (*Pinus oocarpa*, L.)(Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria).
- Castro, R (2017). Almacenamiento de carbono y análisis de rentabilidad en sistemas agroforestales con *Coffea arabica* L. en la zona de Los Santos, *Costa Rica*. (Tesis de pregrado, Instituto tecnológico de Costa Rica).
- Climate (S.F). Clima del distrito de chirinos y san Ignacio. Recuperado de <https://es.climate-data.org/>
- Corral, R., Duicela, L., & Maza, H. (2006). Fijación y Almacenamiento de Carbono en Sistemas Agroforestales con Café Arabiga y Cacao en dos Zonas Agroecológicas del Litoral Ecuatoriano. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Loja).
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (2011). Secuestro de Carbono en Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales de Cacao y Café ubicados en la Reserva de Biosfera Sumaco.

- Dzib, B. (2003). Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. (Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de Costa Rica).
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vásquez, Antonio., & Torres, A (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo*, 8(1). Recuperado de <http://www.chapingo.mx./revistas>
- George Power Porto (2009) El calentamiento global y las emisiones de carbono. *Ingeniería Industrial*, (27), 101-112.
- GIZ (2011). Secuestro de Carbono en Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales de Cacao y Café ubicados en la Reserva de Biósfera Sumaco.
- Hergoulach K., Blancart E., Skiba U., Henault, C. & Harmand, J. (2012) Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agric Ecosyst Environ*, 148:102–110.
- IPCC (2016). Cambio Climático: Informe de síntesis. Guía resumida del quinto informe de evaluación.
- Johnson, P., & Morales, R. (1972). A Review of *Cordia Alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. *Turrialba*, 22(2), 210-220.
- Kursten, E.; Burschel, P. (1993). CO2 Mitigation by Agroforestry. *Water, Air, and Soil Pollution*, 70: 553–544. DOI: 10.1007/BF01105020.
- Landa, R., Ávila, B., Hernández, M. (2010). Cambio Climático y Desarrollo Sustentable América Latina y El Caribe.
- Lapeyre, T., Alegre, J. & Arévalo (2004), Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Revista Scielo*. v.3 n.1-2.
- Larios, J. (2008). Calentamiento global al borde del límite.

- Llerena, C., Cruz, Z., Durt, É., Marcelo, J., Martínez, K., Ocaña, J. (2010) Gestión ambiental de un ecosistema frágil. Los bosques nublados de San Ignacio, Cajamarca, cuenca del río Chinchipe. Soluciones Prácticas. Recuperado de: <http://www.infobosques.com>
- López A (1998) Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica (Tesis de Maestría, Sc, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 50 p.
- Lok, S., Noda, A., García, M. & Fraga, S. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, (47) 1, 75-82.
- Magaña, V. (2005). El cambio climático global. En Martínez, J. & Fernández, A., *Cambio climático una visión desde México* (pág. 17). Coyoacán, México.
- Mena, V., Hernán, J., Andrade, C., & Navarro, M. (2011). Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Agroforestería Neotropical*, 1(1).
- Mieses, J. (2017). Influencia de la densidad de cinco especies forestales en la captura de carbono en un bosque secundario en el Centro de Producción e Investigación Pabloyacu 2015 (Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín).
- MINAN (2009). Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe>.
- Moreira, D., Castro, C. (2017). Adaptación en la producción del banano y cacao.
- Nair, P. K. (2004). Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. In: HILLEL, H.; ROSENZWEIG, C.; POWLSON, D.; SCOW, K.; SINGER, M.; SPARKS, D. (eds). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, U.K. pp. 35–44.
- Naji, H. R., Sahri, M. H., Nobuchi, T. y Bakar, E. S. (2012). Clonal and planting density effects on some properties of rubber wood (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *BioResources*, 7 (1), 189-202.
- Ordoñez, J. A. B., De Jong, B. H. J., García, F., Aviña, F. L., Pérez, J. V.; Guerrero, G., Martínez, R., Masera, O. (2008). Carbon content in vegetation, litter, and soil under

10 different land–use and land–cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255: 2074–2084. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.12.024.

Patiño, S., Suárez, L. N., Andrade, H. J., & Segura, M. A. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2).

Rodriguez, M., Mance, H., Barrera, X. & García, C. (2015). *Cambio climático: Lo que está en juego*.

Roncal, S., Soto, L., Castellanos, J., Ramírez, N., & De Jong, B. (2008). Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas.

Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., Porro R. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -- 1. ed. -- Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.

Solomon, S., Qin, D., Maning, M., Alley, R.B., Berntsen, T., Bindolf, N., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegerl, G., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, F., Whetton, P., Wood, R.A., y d. Wratt (2007). Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge y New York: Solomon, S., Qin, D., Maning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M y Miller, H. Pp, 25.

Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Davila, H., Espin, T., Mavisoya, H., Avila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E. y Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173, 46–57. doi.10.1016/j.agee.2013.04.013.

Uribe, E. (2015). Estudios del cambio climático en América Latina. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina.

- Van Der, P (1988). *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken, Experiencias en Colombia.
- Vega, G.; Ordoñez, C.M.; Suarez, J.C.; López, C.F. (2014). Almacenamiento de carbono en arreglos agro- forestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 5(1): 213-221.
- Vega, Y. (2016). Análisis mensual de acumulación de biomasa y fijación de carbono en una plantación de *Gmelina arborea* Roxb. Los Chiles, Alajuela, Costa Rica. (Tesis de pregrado, Instituto tecnológico de Costa Rica).
- Zabala, W., Merino, E. & Peláez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agorforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Revista Scielo*, 9(4).

Agradecimiento

En primer lugar agradecemos a Dios por permitirnos llegar al lugar donde estamos, a nuestros padres por su apoyo incondicional, a nuestro asesor de tesis Dr. José León Mostacero por su apoyo absoluto en el desarrollo de la misma y a la Universidad Nacional de Jaén por brindarnos los ambientes del Laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Manuel e Irene

Dedicatoria

A mis padres **Vicente** e **Ignacia**, los verdaderos pilares de mi formación, a mi hermano **Juan Carlos** y a mis abuelitos Eleuterio y Santiago, quienes me guían desde el cielo. A mis abuelitas Margarita y Sobeida. A mis hermanos Margarita, José, Asunciona, Vicente y Violeta que en todo momento me impulsaron a seguir adelante. A mis sobrinos Karito, Stephanie, Juan Carlos y Lionel y a mis hermanos políticos Elky y Víctor Manuel.

Irene

Dedicatoria

A mi madre MARÍA EMERITA, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, a mi padre MANUEL quien con su esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir un sueño más. A mis abuelitos ANTONIO y PILAR por haber sido mi apoyo a lo largo de mi vida. A JOSÉ ADELINO y hermanos GERMAÍN, DALTON, DACNER, SANDRITA por estar conmigo en todo momento. A mi sobrina DARLETH y a toda mi familia porque con sus palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y me acompañan en todos mis sueños y metas.

Manuel

ANEXOS: TABLAS

Anexo 1: Tabla de Medidas dasométricas, volumen, biomasa y carbono del laurel

Laurel								
Parcelas	Árbol	Altura(m)	CAP (cm)	DAP (m)	Volumen Del Fuste (m³)	Biomasa Total (tn)	N° Árboles/ha	Carbono (Tn.Ha-1)
SAF-SI<30 Cm	1	11.76	62.7	0.200	0.258	0.147		11.450
	2	10.92	65.8	0.209	0.263	0.150	156	11.709
	3	11.5	63.0	0.201	0.254	0.145		11.304
SAF-SI>30 Cm	1	16.72	91	0.290	0.771	0.469		35.170
	2	18.24	121	0.385	1.488	0.904	150	67.834
	3	18.58	100	0.318	1.035	0.629		47.195
PF-SI<30 Cm	1	16	60	0.19	0.321	0.117		58.620
	2	15.6	53	0.17	0.244	0.089	1000	44.597
	3	13.98	50	0.16	0.195	0.071		35.569
PF-SI>30 Cm	1	15.96	92	0.293	0.752	0.275		160.575
	2	16.72	94	0.299	0.823	0.301	1168	175.615
	3	18	108	0.344 0.175	1.170	0.427		249.568
SAF-CH<30 Cm	1	12	55	1 0.181	0.2022	0.134		11.430
	2	14	57	4 0.152	0.2534	0.168	170	14.322
	3	12.5	48	8	0.1604	0.107		9.068
SAF-CH>30 Cm	1	16.7	125	0.40	1.454	0.911		79.744
	2	15	92	0.29	0.707	0.443	175	38.800
	3	19.7	150	0.48	2.469	1.548		135.460
PF-CH<30 Cm	1	13	61	0.19	0.269	0.112		61.622
	2	14	73	0.23	0.416	0.173	1100	95.040
	3	18	83	0.26	0.691	0.287		157.966
PF-CH>30 Cm	1	20	118	0.376	1.551	0.762		420.780
	2	20	121	0.385	1.631	0.802	1104	442.448
	3	18.5	120	0.382	1.484	0.729		402.528

Anexo 2: Tabla de Carbono en tn.C.ha-1 del cafeto

Sistema Agroforestal	N° De Cafetos	Cafeto									
		Peso Verde (Kg)			Peso Verde Total (Kg)	Peso Seco (Kg)			Peso Seco Total (Kg)	Biomasa (tn)	Carbono (tn.C.ha ⁻¹)
		Hojas	Tallo	Raíz		Hojas	Tallo	Raíz			
SAF SIO1 <30 cm	1	3.205	3.045	2.480	8.730	0.847	1.195	1.950	3.992	19.162	9.581
	2	2.415	2.489	2.005	6.909	0.840	1.560	1.220	3.620	17.376	8.688
	3	2.918	2.609	2.009	7.536	0.909	1.150	0.902	2.961	14.213	7.106
SAF SIO2>30 cm	1	2.805	2.395	2.032	7.232	1.092	1.950	1.230	4.272	24.158	12.079
	2	2.570	2.513	2.008	7.091	0.970	1.260	1.112	3.342	18.899	9.450
	3	2.421	2.209	1.980	6.610	1.060	1.215	1.103	3.378	19.103	9.551
SAF-CH<30 cm	1	3.205	3.245	2.479	8.929	0.854	1.950	0.795	3.599	12.776	6.388
	2	3.567	3.543	1.994	9.104	0.575	1.210	0.622	2.407	8.545	4.272
	3	2.190	3.006	2.053	7.249	0.836	1.113	0.601	2.550	9.053	4.526
SAF-CH>30 cm	1	2.453	2.045	2.532	7.030	0.806	1.720	0.963	3.489	17.794	8.897
	2	2.089	3.651	2.107	7.847	0.866	1.210	0.872	2.948	15.035	7.517
	3	2.229	3.541	2.035	7.805	0.848	0.799	0.545	2.192	11.179	5.590

Anexo 3: Tabla de Carbono en tn.C.ha-1 de Hojarasca

Parcelas	N° de Muestras	Hojarasca					
		Peso de la muestra (gr)	Peso húmedo sub muestra (gr)	Peso seco de la sub muestra (gr)	% de Humedad	Biomasa total (tn)	Carbono (tn.ha ⁻¹)
SAF-SI<30 cm	1	425	200	105.5	0.005275	0.0002242	4.477
	2	405	200	119.5	0.005975	0.0002420	4.832
	3	422	200	126.1	0.006305	0.0002661	5.313
SAF-SI>30 cm	1	402	200	115.75	0.0057875	0.0002327	4.643
	2	430	200	107.94	0.005397	0.0002321	4.631
	3	425	200	127.54	0.006377	0.0002710	5.408
PF-SI<30 cm	1	305	200	101	0.0050365	0.0001536	3.063
	2	315	200	91	0.004542	0.0001431	2.853
	3	300	200	101	0.00503	0.0001509	3.009
PF-SI>30 cm	1	403	200	97	0.004839	0.0001952	3.863
	2	370	200	102	0.0050985	0.0001886	3.734
	3	356	200	112	0.0056	0.0001994	3.947
SAF-CH<30 cm	1	470	200	102.7	0.005135	0.0002413	4.821
	2	440	200	100.5	0.005025	0.0002211	4.416
	3	455	200	101.6	0.00508	0.0002311	4.616
SAF-CH>30 cm	1	498.5	200	110	0.0055	0.0002742	5.463
	2	420	200	100	0.005	0.0002100	4.185
	3	435	200	105.4	0.00527	0.0002292	4.568
PF-CH<30 cm	1	327.0	200	104.6	0.00523	0.0001710	3.400
	2	339.5	200	110	0.0055	0.0001867	3.713
	3	342.7	200	108.6	0.00543	0.0001861	3.700
PF-CH>30 cm	1	417	200	116.5	0.005825	0.0002429	4.764
	2	409	200	104.13	0.0052065	0.0002129	4.177
	3	405	200	108.7	0.005435	0.0002201	4.317

Anexo 4: Tabla de Área del componente vivo (laurel y cafeto) de las parcelas evaluadas

Parcelas	Componente	Circunferencia (cm)	Diámetro (cm)	Radio (cm)	Área (m ²)	Área en 1 Ha	Área (m ²) Total en 1 Ha
SAF-SI<30 cm	Laurel	76.900	24.478	12.239	470.589	7.341	15.218
	Cafeto	14.360	4.571	2.285	16.410	7.877	
SAF-SI>30 cm	Laurel	110.600	35.205	17.602	973.418	14.601	22.803
	Cafeto	13.500	4.297	2.149	14.503	8.201	
PF-SI<30 cm	Laurel	62.000	19.735	9.868	305.895	30.590	30.590
PF-SI>30 cm	Laurel	104.7	33.327	16.663	872.333	101.889	101.889
SAF-CH<30 cm	Laurel	66.6	21.199	10.600	352.970	5.506	11.778
	Cafeto	14.9	4.743	2.371	17.667	6.272	
SAF-CH>30 cm	Laurel	139	44.245	22.122	1537.513	26.906	36.910
	Cafeto	15.7	4.997	2.499	19.615	10.004	
PF-CH<30 cm	Laurel	85.9	27.343	13.671	587.186	58.719	58.719
PF-CH>30 cm	Laurel	148.6	47.301	23.650	1757.222	193.294	193.294

Anexo 5: Tabla de Densidad del laurel en la localidad de San Ignacio

Parcelas A Evaluar	Árboles	San Ignacio				Densidad (gr.cm ⁻³)
		Peso Seco (gr)			Promedio	
		M1	M2	M3		
SAF <30 cm	A1	1.21	1.96	1.49	1.55	0.25
	A2	1.41	1.96	1.77	1.71	0.27
	A3	2.46	2.44	2.21	2.37	0.37
			Promedio			
SAF >30 cm	A1	1.96	1.83	2.72	2.17	0.34
	A2	2.43	1.91	1.89	2.08	0.33
	A3	2.16	1.99	1.44	1.86	0.29
			Promedio			
PF <30 cm	A1	1.77	1.92	1.79	1.83	0.29
	A2	1.55	1.89	2.16	1.87	0.29
	A3	1.66	1.91	1.96	1.84	0.29
			Promedio			
PF >30 cm	A1	2.32	2.35	1.69	2.12	0.33
	A2	1.31	1.86	2.09	1.75	0.28
	A3	1.98	1.1	1.89	1.66	0.26
			Promedio			

M1, M2, M3: Muestras de hojarasca 1, 2 y 3.

Anexo 6: Tabla de Densidad del laurel de la localidad de Chirinos

Parcelas	Árboles	Chirinos				Densidad (gr.cm ⁻³)
		Peso Seco (gr)			Promedio	
		M1	M2	M3		
SAF <30	A1	2.24	1.81	1.5	1.85	0.29
	A2	2.01	1.85	1.2	1.69	0.27
	A3	3.45	3.35	2.8	3.20	0.51
			Promedio			2.25
SAF >30	A1	2	2.41	2.15	2.19	0.35
	A2	2.05	2.7	1.59	2.11	0.33
	A3	2.02	2	2.16	2.06	0.33
			Promedio			2.12
PF >30	A1	2.06	2.03	2.1	2.06	0.33
	A2	2	2.14	2.3	2.15	0.34
	A3	2.08	2.03	1.99	2.03	0.32
			Promedio			2.08
PF <30	A1	1.76	2.54	2.31	2.20	0.35
	A2	2.89	3.05	2.54	2.83	0.45
	A3	3.1	3	1.22	2.44	0.39
			Promedio			2.49

Anexo 7: Tabla de Densidad del suelo de las parcelas a evaluar

Parcelas a evaluar	PSH (gr)			Promedio	PSS (gr)			Promedio	Densidad (gr.cm-3)
	M01	M02	M03		M01	M02	M03		
SAF-SI<30 cm	272.75	269.06	275.24	272.350	199.04	190.05	205.1	198.063	0.9998
SAF -SI>30 cm	268.37	261.13	255	261.500	227.39	225.34	219.79	224.173	1.1316
PF-SI <30 cm	254.22	249.1	255.03	252.783	210.79	199.3	211.04	207.043	1.0451
PF-SI>30 cm	236.75	240	231.48	236.077	197.07	201.23	194.5	197.600	0.9975
SAF -CH<30 cm	211.87	213.54	209.67	211.693	175.81	170.87	173.04	173.240	0.8745
SAF -CH>30 cm	254.3	249.21	256.81	253.440	204.47	200.09	206.39	203.650	1.0280
PF-CH <30 cm	282.13	279.57	284.36	282.020	243.00	237.67	245.69	242.120	1.2222
PFCH>30 cm	287.57	284.91	288.44	286.973	222.32	226.81	224.09	224.407	1.1328

PSH: Peso de suelo húmedo en gr, PSS: Peso del suelo seco en g

Anexo 8: Tabla de Porcentaje de pérdida del laurel y el cafeto

Parcelas	Comp onente	Áre a (m²)	Distanciamient o de siembra (m)	Sistema de siembra	N° Individuo s	Individuo s / ha	% Pérdida
SAF-SI<30 cm	Laurel	384	8 x 8	Filas	6	156	0.00
	Cafeto	200	1 x 1.5	Filas	96	4800	27.99
SAF-SI>30 cm	Laurel	2000	8 x 8	Filas	30	150	3.85
	Cafeto		1 x 1.5	Filas	1131	5655	15.17
PF-SI<30 cm	Laurel	100	3 x 3	Tres bolillos	10	1000	22.06
PF-SI>30 cm	Laurel	625	3x 3	Tres bolillos	73	1168	8.96
SAF-CH<30 cm	Laurel	384	7 x 7	Filas	6	170	16.67
	Cafeto	200	1 x 1.5	Filas	71	3550	46.74
SAF-CH>30 cm	Laurel	2000	7 x 7	Filas	40	175	14.22
	Cafeto		1 x 1.5	Filas	1020	5100	23.49
PF-CH<30 cm	Laurel	100	3 x 3	Tres bolillos	11	1100	14.26
PF-SI02>30 cm	Laurel	625	3x 3	Tres bolillos	69	1104	13.95

ANEXOS: PANEL FOTOGRÁFICO

Anexo 9: Resultados del ensayo de carbono en suelo



ENSAYO OIKOSLAB N°1612-2019

Solicitante : Yeltsin Manuel Flores Mejía e Irene Sánchez Córdova
 Fecha de recepción : 20-07-2019
 Muestra proporcionada por el solicitante :
 Investigación :
 "Captura de carbono en plantación forestal laurel y sistema agroforestal laurel -café en la provincia de San Ignacio"

I.- Datos de la muestra

Tipo de muestra : Suelos de sistema forestal y agroforestales

II.- Ubicación

Distrito : Chirinos y San Ignacio
 Provincia : San Ignacio
 Región : Cajamarca

III.- Resultados

Muestra	Unidades	Resultados		Metodología
		Carbono	Materia Orgánica	
Sistema agroforestal S.I. 01 < 30 cm DAP		7.54	12.99	Walkley Black
Sistema agroforestal S.I. 02 >30 cm DAP		4.69	8.09	
Plantación Forestal S.I. 01 < 30 cm DAP		3.64	6.28	
Plantación Forestal S.I. 02 >30 cm DAP		1.86	3.21	
Plantación Forestal CH 01 < 30 cm DAP	%	2.55	4.40	
Plantación Forestal CH 02 >30 cm DAP		1.64	2.83	
Sistema agroforestal CH 01 < 30 cm DAP		3.69	6.36	
Sistema agroforestal CH 02 > 30 cm DAP		3.43	5.91	


Jose A. Delgado Soto
 ING. RESPONSABLE
 CIP. 56757



Psje. San Pedro N°113 - Morro Salar Alto - Jaén
 Cel. 970911920
 jads14@hotmail.com

A. Delimitación de parcelas



Anexo 10: Fotografía de la delimitación del área de estudio en SAF laurel + café



Anexo 11: Fotografía de la delimitación del área de estudio en las plantaciones de laurel

B. Muestreo de los árboles de laurel



Anexo 12: Fotografía del registro de cada árbol y medición a la altura del pecho (1.30 m) en el laurel



Anexo 13: Fotografía de la medición del CAP a 1.30 m



Anexo 14: Fotografía de la medición de la altura del laurel con un clinómetro



Anexo 15: Fotografía de la extracción de muestras de laurel para medir sus densidades



Anexo 16: Fotografía de la muestra del laurel a 5 cm de profundidad con un taladro de ½ pulgada



Anexo 17: Fotografía del llenado y sellado de las muestras del laurel en una bolsa hermética



Anexo 18: Fotografía del peso de las muestras extraídas del laurel



Anexo 19: Fotografía del secado de las muestras de laurel en la estufa a 75°C

C. Muestreo de hojarasca



Anexo 20: Fotografía de la delimitación del área de 0.25m x 0.25m



Anexo 21: Fotografía de la recolección de la hojarasca del área delimitada



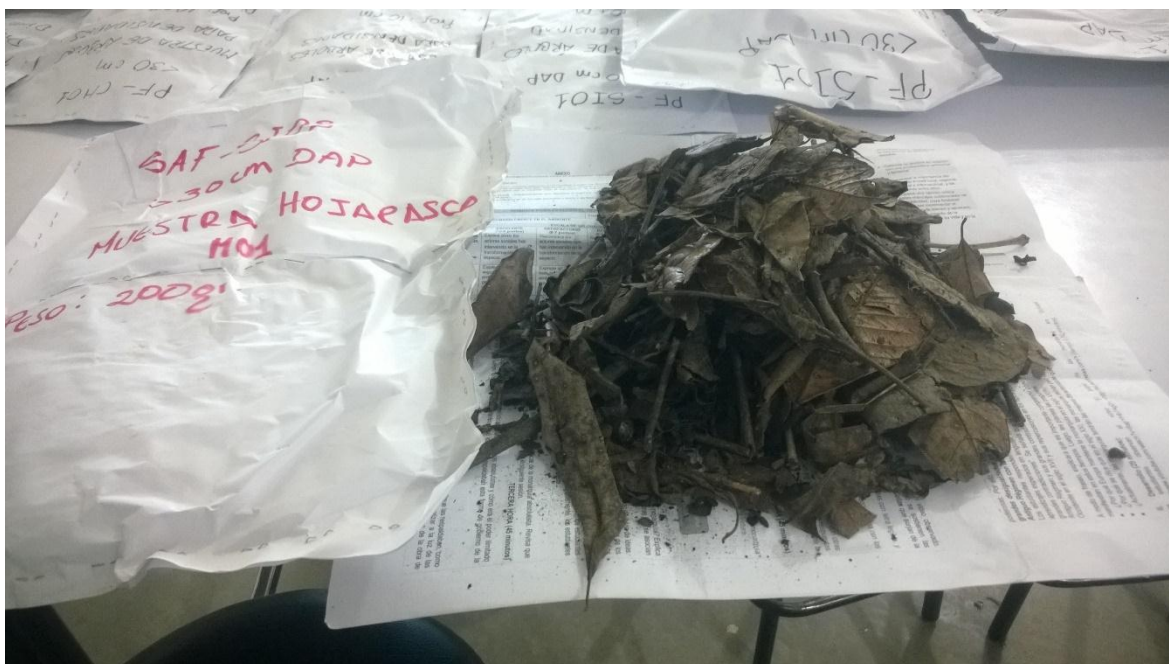
Anexo 22: Fotografía del pesado de hojarasca



Anexo 23: Fotografía del llenado de hojarasca en sobres manila y marcado por cada muestra



Anexo 24: Fotografía del secado de hojarasca n la estufa a 75°C por 72 horas



Anexo 25: Fotografía de muestras de hojarasca después de 72 horas en la estufa



Anexo 26: Fotografía del pesado de hojarasca después de 72 horas en la estufa

D. Muestreo del suelo



Anexo 27: Fotografía de la muestra del suelo a 30 cm de profundidad para determinar el carbono



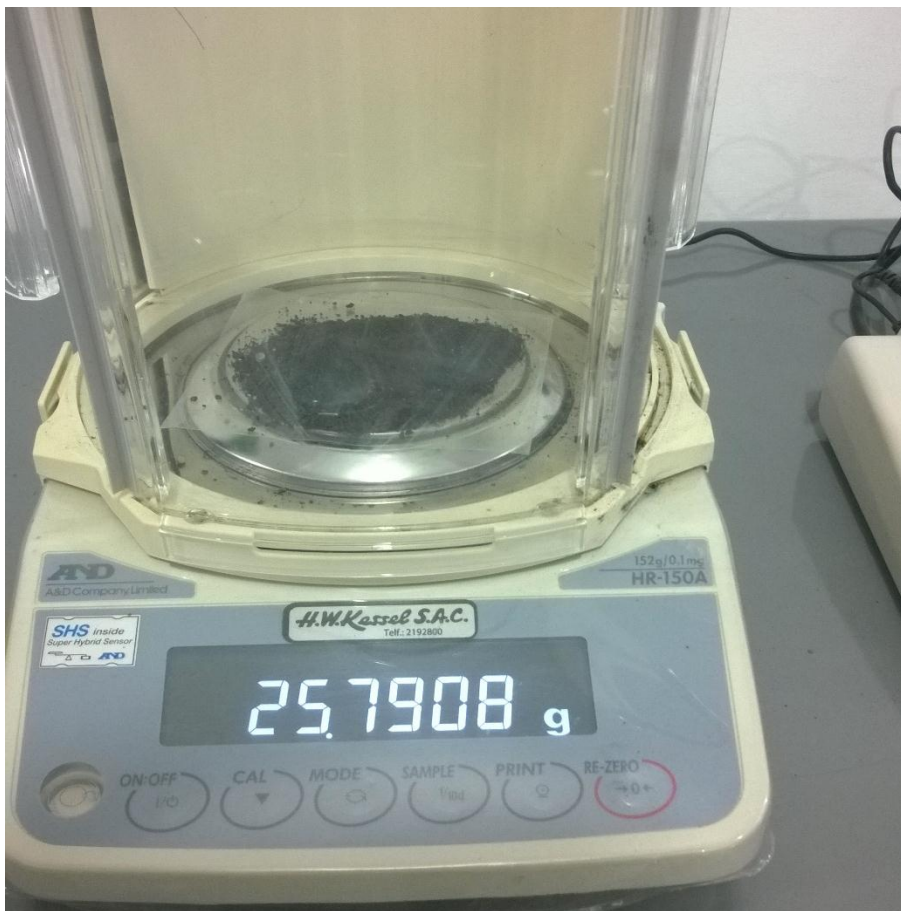
Anexo 28: Fotografía del muestreo del suelo para determinar el carbono



Anexo 29: Fotografía del peso de la muestra del suelo



Anexo 30: Fotografía del tamizado del suelo seco al aire libre



Anexo 31: Fotografía del pesaje del suelo tamizado 25g en una balanza analítica



Anexo 32: Fotografía del muestreo del suelo con el método del cilindro para estimar su densidad



Anexo 33: Fotografía de la muestra del suelo con el método del cilindro



Anexo 34: Fotografía del pesaje del suelo húmedo de cada SUT



Anexo 35: Fotografía de las muestras de suelo para densidades en la estufa a 105°C



Anexo 36: Fotografía de muestras del suelo para densidades en placas petri después de 72h en la estufa



Anexo 37: Fotografía de muestras de suelo después de 72 horas en la estufa por cada SUT



Anexo 38: Fotografías del pesaje de las muestras del suelo para densidade

E. Muestreo de las plantas del cafeto mediante el método destructivo para la generación de ecuaciones alométricas



Anexo 39: Fotografía de la extracción de plantas de cafeto



Anexo 40: Fotografía de la extracción de las raíces del café



Anexo 41: Fotografía del peso húmedo de las raíces del café



Anexo 42: Fotografía de la extracción de las hojas y ramas del cafeto



Anexo 43: Fotografía del peso húmedo de las hojas y ramas del cafeto



Anexo 44: Fotografía del peso del tronco



Anexo 45: Fotografía de las muestras del café en la estufa a 75°C por 72h



Anexo 46: Fotografía de las muestras en la estufa a 75° por 72 horas



Anexo 47: Fotografía de las muestras secas de las hojas del cafeto después de 72h en la estufa



Anexo 48: Fotografía de las muestras secas de raíces del cafeto después de 72h en la estufa