



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).  
Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Reserva de biomasa y captura del carbono de un sistema agroforestal de  
*Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna*, Naranjillo, 2018**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

**Paul Jhonatan Hurtado Hernández**

**ASESOR:**

**Ing. M. Sc. Gerardo Cáceres Bardález**

**Código N° 6054718**

**Moyobamba-Perú**

**2019**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

## FACULTAD DE ECOLOGÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL




Reserva de biomasa y captura del carbono de un sistema agroforestal de  
*Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna*, Naranjillo, 2018


AUTOR:

Paul Jhonatan Hurtado Hernández


Sustentada y aprobada el 27 de noviembre del 2019, por los siguientes jurados:

  
.....  
Ing. M. Sc. Rubén Ruiz Valles


Presidente

  
.....  
Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardález

Secretario

  
.....  
Ing. M. Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz

Miembro

  
.....  
Ing. M. Sc. Gerardo Cáceres Bardález

Asesor

## Declaratoria de autenticidad

**Paul Jhonatan Hurtado Hernández**, con DNI N° 70608082, egresado de la Facultad de Ecología, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Reserva de biomasa y captura del carbono de un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna*, Naranjillo, 2018.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y las normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 27 de noviembre del 2019.



.....  
**Bach. Paul Jhonatan Hurtado Hernández**

DNI N° 70608082

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: Hurtado Hernández Paul Jhonatan	
Código de alumno : 70608082	Teléfono: 930668471
Correo electrónico : pauljhurtadoh@gmail.com	DNI: 70608082

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: Ecología
Escuela Profesional de: Ingeniería Ambiental

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	( X )	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título : Reserva de biomasa y captura del carbono de un sistema agroforestal de Coffea arabica L. y Eucalyptus saligna, Naranjillo, 2018.
Año de publicación: 2019

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	( X )	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**



Firma y huella del Autor

## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

07 / 10 / 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e  
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea  
Responsable

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **Dedicatoria**

*A mi madre Luz Marina, por su apoyo incondicional, por ser el pilar en mi vida y por siempre confiar en mí.*

*A Sonia, Harddy y Luis, mis queridos hermanos, por su incansable apoyo moral y afectivo.*

*A Vilvina, mi abuelita, el ángel que siempre confió en mí y estuvo pendiente de mí en todo momento. A mi padre y tíos también, por su invaluable apoyo.*

*A Cristina, por su amistad, amor y sobre todo por animarme a siempre seguir adelante.*

## **Agradecimiento**

- A Dios por sus bendiciones y la oportunidad de brindarme vida y salud para realizar mis objetivos.
- A mis padres, hermanos y demás familiares por el apoyo y demostrarme sus buenos deseos en todo momento.
- A todos los docentes, quienes aportaron los conocimientos y valores morales para realizarme como profesional en esta casa superior de estudios, Universidad Nacional de San Martín.
- A mis amigos, por su aprecio, y por los momentos compartidos dentro y fuera de las aulas universitarias.



## Índice general

	Pág.
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Resumen	xii
Abstract	xiii
 Introducción	 1
 CAPÍTULO I	 4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1. Antecedentes de la investigación	4
1.1.1 Internacionales	4
1.1.2 Nacionales	5
1.1.3 Locales	6
1.2. Bases teóricas	7
1.2.1 Cambio Climático	7
1.2.2 Protocolo de Kyoto	8
1.2.3 Ciclo del carbono	10
1.2.4 Agroforestería	11
1.2.5 Biomasa	21
1.2.6 Café	21
1.2.7 Eucalipto	22
 CAPÍTULO II	 23
MATERIAL Y MÉTODOS	23
2.1. Materiales	23
2.1.1 Equipos	23
2.1.2 Herramientas	23
2.1.3 Servicios	23
2.2. Métodos	23
2.2.1 Biomasa Vegetal Total	24
2.2.2 Biomasa arbórea viva (Tn/Ha)	24
2.2.3 Biomasa Arbustiva y Herbácea	25
2.2.4 Biomasa de la hojarasca (Bh)	26

2.2.5	Carbono en la materia orgánica del suelo	26
2.2.6	Cálculo de carbono en la biomasa vegetal total	27
2.2.7	Cálculo de carbono total	27
2.3.	Análisis estadístico	27
CAPÍTULO III		29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		29
3.1.	Resultados	29
3.1.1	Carbono almacenado en biomasa aérea del sistema agroforestal	29
3.1.2	Carbono almacenado en biomasa arbustiva y herbácea	32
3.1.3	Carbono almacenado en biomasa de hojarasca	33
3.1.4	Biomasa Vegetal Total	34
3.1.5	Carbono almacenado en el suelo	35
3.1.6	Carbono total almacenado en el sistema agroforestal	36
3.2.	Discusión	37
CONCLUSIONES		40
RECOMENDACIONES		41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		42
ANEXOS		48
Anexo A. Mapa de ubicación del área de estudio		49
Anexo B. Biomasa y carbono almacenado en parcelas		50
Anexo C. Panel fotográfico		54
Anexo D. Resultados de análisis fisicoquímico de suelos en laboratorio		57

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1: Factores que afectan a la biomasa	21
Tabla 2: Análisis físicoquímico de suelo por parcelas	27
Tabla 3: Análisis de datos descriptivos del carbono almacenado en biomasa aérea	29
Tabla 4: Carbono almacenado en biomasa aérea	31
Tabla 5: Carbono almacenado en biomasa arbustiva y herbácea	32
Tabla 6: Carbono almacenado en biomasa de hojarasca	33
Tabla 7: Biomasa vegetal total	34
Tabla 8: Carbono almacenado en el suelo	35
Tabla 9: Carbono total almacenado	36

## Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Valores máximos y mínimos de carbono almacenado por transecto	30
Figura 2. Carbono almacenado en la biomasa aérea	31
Figura 3. Biomasa arbustiva y herbácea	32
Figura 4. Biomasa aérea y carbono almacenado en el transecto II	34
Figura 5. Biomasa aérea y carbono almacenado en el transecto III	35
Figura 6. Biomasa aérea y carbono almacenado	36
Figura 7. Biomasa arbustiva y herbácea y carbono almacenado	37

## Resumen

El estudio de investigación se realizó en un sistema agroforestal conformado por las especies *Coffea arabica L.* y *Eucalyptus saligna* de 4 años de edad en la localidad de Naranjillo, provincia de Rioja, región San Martín, cuyo objetivo principal fue determinar la biomasa y captura de carbono del sistema, para ello se establecieron tres parcelas de 100 metros cuadrados dentro del sistema agroforestal para determinar la biomasa existente. La recolección de muestras para biomasa arbustiva y herbácea se hizo en cuadrantes de 1 metro cuadrado, dos por cada parcela definida; así también para la biomasa de hojarasca en cuadrantes de 0.25 metros cuadrados, dos por cada parcela, y para el suelo se recolectaron muestras una por cada parcela de 100 metros cuadrados cuya profundidad de muestreo fue de 0 a 30 cm. Los resultados muestran que el componente que presentó la mayor reserva de biomasa y carbono almacenado estimado con modelos alométricos fue el aéreo con 424.94 Tn/Ha y 191.22 Tn/Ha respectivamente. El componente arbustivo y herbáceo registró un valor de 2.36 Tn/Ha para reserva de biomasa y 1.06 Tn/Ha para almacenamiento de carbono. La hojarasca presentó una biomasa de 1.24 Tn/Ha y el carbono almacenado es 0.56 Tn/Ha. El componente suelo presentó el segundo mayor valor de carbono capturado entre los componentes evaluados con 86.99 TnC/Ha. Se concluye que, en promedio, el Sistema agroforestal almacena 428.55 Tn/Ha de biomasa y almacena 279.83 TnC/Ha de carbono.

**Palabras clave:** Café, eucalipto, sistema agroforestal, biomasa aérea, carbono almacenado, arbustiva-herbácea, hojarasca, suelo.

## Abstract

The research study was carried out in an agroforestry system constituted by the species *Coffea arabica* L. and *Eucalyptus saligna* of 4 years old in the town of Naranjillo, province of Rioja, region of San Martín. The main objective was to determine the biomass and carbon capture of the system, for this purpose three plots of 100 square meters each were established within the agroforestry system to determine the existing biomass. Samples collection for bush and herbaceous biomass was done in quadrants of 1 square meter, two for each defined plot; whereas for leaf litter biomass quadrants of 0.25 square meters were used, two for each plot, and for the soil samples, one for each plot of 100 square meters was collected whose sampling depth was from 0 to 30 cm.

The results show that the component that presented the largest biomass and carbon stock reserve, estimated with allometric models, was the aerial one with 424.94 t/ha and 191.22 t/ha respectively. The shrub and herbaceous component registered a value of 2.36 t/ha for biomass reserve and 1.06 t/ha for carbon storage. Leaf litter presented a biomass of 1.24 t/ha and the stored carbon is 0.56 t/ha. The soil component presented the second highest value of captured carbon among the evaluated components with 86.99 tC/ha. We concluded that, on average, the agroforestry system stores 428.55 t/ha of biomass and stores 279.83 tC/ha of carbon.

**Keywords:** Coffee, eucalyptus, agroforestry system, aerial biomass, stored carbon, shrub-herb, leaf litter, soil



## Introducción

El cambio climático es el mayor desafío de nuestro tiempo y nos encontramos en un momento decisivo. Desde pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos, hasta el aumento del nivel del mar que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas, los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Si no se toman medidas drásticas desde hoy, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro (Naciones Unidas, 2019).

Elliot (2014), manifiesta que el calentamiento global, causante del cambio climático a nivel planetario, se origina por la emisión y acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Este calentamiento tiene diversos impactos en distintos sectores de la vida humana, originando en muchos casos crisis en los medios de vida de las poblaciones más vulnerables.

La deforestación y quema de combustibles fósiles son las principales actividades humanas que emiten grandes cantidades de dióxido de carbono manifiesta Watson *et al.* (2010), esto ha generado preocupación mundial ya que el dióxido de carbono en la atmósfera es uno de los principales gases que contribuyen al calentamiento global.

Si bien la Región San Martín ha disminuido la deforestación, aún presenta el mayor promedio de deforestación anual con: 24,699.17 hectáreas y con una tasa anual de deforestación de -0.72% entre los años 2001 al 2018. De seguir la tendencia de los últimos 18 años, en 166 años San Martín perdería la totalidad de sus bosques y la biodiversidad que alberga (Mestanza, 2019).

Es importante conocer el stock de carbono que se puede por dos razones; para saber cuál es el potencial de captura de carbono de una determinada asociación que nos permita realizar proyectos en el mercado de carbono y además para conocer el patrón de cambios por la pérdida del carbono almacenado en el ecosistema conforme se le va cambiando de uso al bosque con ello podemos medir el carbono que se va hacia la atmósfera formando los gases de efecto invernadero y para planificar sistemas de producción que sean altamente eficientes en captura y almacenamiento de carbono de acuerdo con la vocación de cada territorio o área (Cuéllar y Salazar, 2016)

En la región San Martín, la superficie total del área boscosa es de 3 533 642 ha, que representa el 72.45% del bosque original, sin embargo, muchas de estas áreas han sido utilizadas en la producción de cultivos anuales, pastos y sistemas perennes; habiéndose reducido en la actualidad la capacidad de capturar o fijar carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra (MINAM, 2014).

El sistema agroforestal estudiado se encuentra ubicado frente a la carretera Fernando Belaúnde Terry, a 5 Km de la localidad de Naranjillo, distrito de Nueva Cajamarca, Provincia de Rioja, departamento de San Martín.

El principal objetivo de estudio fue determinar la reserva de biomasa y captura de carbono que presenta un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna*, Para alcanzar el objetivo general se plantearon tres objetivos específicos que debimos cumplir para dar solución al problema de investigación los cuales fueron: Determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea del sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna*; determinar el carbono almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea, hojarasca y en el suelo del sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna* y determinar la cantidad total de carbono almacenado por el sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna*.

La metodología de evaluación que se utilizó es la desarrollada por el Consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería-ICRAF siguiendo los procedimientos del manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra citado por Arévalo et al. (2003).

En una (01) hectárea del sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. y *Eucalyptus saligna* se establecieron tres parcelas de 4 metros por 25 metros para determinar la biomasa aérea, en cada una de esas parcelas se establecieron subparcelas de 1m<sup>2</sup> y 0.25m<sup>2</sup> para determinar la biomasa arbustiva y herbácea y biomasa del suelo respectivamente. El procesamiento de datos posteriores se desarrolló en gabinete.

El presente trabajo de investigación está distribuido en tres capítulos, los cuales contienen lo siguiente:



Capítulo I: Descripción del planteamiento del problema, los antecedentes de investigación y las bases teóricas.

Capítulo II: Descripción de los materiales y métodos empleados en la investigación.

Capítulo III: Descripción de los resultados y sus discusiones.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones y anexos del proyecto de investigación.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

#### 1.1.1 Internacionales

Ordóñez *et al.*, (2011), realizaron un estudio técnico en secuestro de carbono en biomasa aérea en sistemas agroforestales de cacao y café ubicados en la reserva de biósfera Sumaco, en Ecuador; en este evaluaron los componentes biomasa aérea, biomasa arbustiva y herbácea, biomasa de hojarasca y suelo, cuyo diseño del sistema agroforestal con café es de tipo cerco vivo con una densidad de 3565 árboles de café/Ha y 64 árboles de especies maderables/ha concluyendo que el sistema agroforestal (de 05 años de edad) de café arábica y especies maderables lograron almacenar 55 TnC/Ha.

Espinoza *et al.*, (2012) con el objetivo de estimar el almacén de carbono en sistemas agroforestales con base en café en la región de Huatusco, en el estado de Veracruz, México, evaluaron biomasa vegetal total y materia orgánica edáfica existentes en sistemas agroforestales. La recolección de muestras se realizó en parcelas de 100 m<sup>2</sup>, donde colectaron biomasa de vegetación arbórea, arbustiva-herbácea y hojarasca, y para el suelo la profundidad de muestreo fue de 0 a 30 cm. El sistema agroforestal que presentó la mayor cantidad de carbono orgánico total entre los sistemas agroforestales fue el tratamiento café-cedro rosado, con 172 TnC/Ha, y el tratamiento silvopastoril presentó el menor, con 65 TnC/Ha. De los sistemas evaluados se concluye que, en promedio, los sistemas agroforestales almacenan 102 TnC/Ha.

Conolly y Corea (2007), en su investigación denominado “Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua” concluyen que el sistema café ecoforestal conformado por especies de café, maderables y musas fija 14.04 TnC/Ha en su biomasa aérea, 2.38TnC/Ha en su biomasa radicular, en la biomasa de hojarasca 0.76 TnC/Ha y en el suelo 142.78 TnC/Ha, haciendo un total de 163.88 TnC/Ha en todo el sistema ecoforestal.

### 1.1.2 Nacionales

Silva (2019), realizó un trabajo de investigación denominado “Cuantificación de carbono almacenado en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), asociado con guaba (*Inga edulis* sp.)”, en el centro poblado San Miguel de las Naranjas, distrito y provincia de Jaén, del departamento de Cajamarca, cuya edad del sistema era de 15 años; evaluó el carbono almacenado en la biomasa aérea de los árboles de café y guaba; determinó el carbono almacenado en la necromasa (hojarasca), y cuantificó el carbono fijado en el suelo. Los resultados mostraron que la concentración de carbono según los componentes evaluados en el sistema agroforestal fue: 22.80 TnC/ha almacenado en la biomasa aérea, 6.34 TnC/ha almacenado en la hojarasca y 104.13 TnC/ha fijado en el suelo; determinándose un total de 133.27 TnC/ha almacenado en el sistema agroforestal.

Odar (2018), realizó un estudio donde evaluó el almacenamiento de carbono aéreo y porcentaje de carbono del suelo en policultivos de café con diferentes árboles de sombra en terrenos ubicados en el anexo de Vilaya, provincia de Luya, Amazonas. Los sistemas incluyeron café (*Coffea spp.*), guaba (*Inga spp.*) y pashaco (*Schizolobium spp.*). Consideró cuatro componentes de almacenamiento: biomasa aérea viva (árboles y café), suelo, hojarasca y maleza. Los resultados muestran que los sistemas de café-guaba-pashaco almacenaron 26.922 TnC/ha, mientras que los de café-guaba, 16.305 TnC/ha en la biomasa aérea. Finalmente, se observó que los sistemas café-guaba-pashaco presentaron un porcentaje del 2.58% de carbono en el suelo, mientras que los de café-guaba, 2.51%.

Cabrera (2016), estudió el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en las provincias de Jaén y San Ignacio, en la región de Cajamarca, Perú. Evaluaron 32 sistemas agroforestales cafetaleros con sombra diversificada. El estudio evaluó la biomasa aérea viva de árboles y café, hojarasca y suelo. Los resultados presentados fueron que, el carbono almacenado por la biomasa de café fue de 6.38 TnC/ha, así mismo el almacenado por la biomasa de los árboles fue de 28.16 TnC/ha. La biomasa de hojarasca almacenó 0.93 TnC/ha y el componente suelo presentó 43.66 TnC/ha; haciendo un total de 76.49 TnC/ha almacenados en promedio en sistemas agroforestales con características similares.

### 1.1.3 Locales

Díaz *et al.* (2016), realizaron estudio cuyo objetivo fue cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea, hojarasca y en el suelo, en cinco sistemas de uso de la tierra: bosque Primario, bosque secundario, Pijuayo (*Bactris gasipaes Kunth*), Cacao (*Theobroma cacao L.*) y Café (*Coffea arabica L.*). Se instalaron tres parcelas de 100 m<sup>2</sup> (4 m x 25 m), en cada sistema. Se utilizó la metodología desarrollada por el ICRAF. El carbono total en el sistema de café presentó un valor 17.88 TnC/Ha. En el componente suelo el bosque secundario tuvo un total de carbono almacenado de 113.94 TnC/Ha, el bosque primario tuvo el 81%; y los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 43.4%, 48.7% y 49.81% respectivamente, con relación al bosque primario. Estos resultados indican que el cambio de bosques a plantaciones y de una sola especie, disminuyen la capacidad de capturar carbono y por ende de CO<sub>2</sub> uno de los gases causante del cambio climático.

Encina y Torres (2018), determinaron el potencial de captura de carbono en los cultivos de plátano (*Musa paradisiaca*) y café (*Coffea arabica*), teniendo como objetivos específicos estimar el potencial de carbono capturado en las biomásas aérea, raíz, hojarasca y herbácea, así como la fijación de CO<sub>2</sub> del plátano *M. paradisiaca* y café *C. arabica*. La población de estudio fue una hectárea y la muestra fue en dos parcelas distintas de 1000 m<sup>2</sup> de cada especie. Para el desarrollo de la investigación se emplearon modelos alométricos, por medio del cual se determinó el potencial de captura de carbono en biomasa total con un resultado de 9.28 TnC/Ha en los cultivos de plátano, y 9.61 TnC/Ha en los cultivos de café. Finalmente, estimaron la fijación de CO<sub>2</sub> en los sistemas de plantación, con un resultado de 34.06 Tn/Ha en el plátano *Musa paradisiaca* y 35.27 Tn/Ha en el café *Coffea arabica*.

Quiñe (2009), en su investigación “cuantificación de biomasa y reserva de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica L.*) en dos pisos altitudinales” cuyas edades fueron 7 y 8 años respectivamente, se concluye que; existe alta significancia entre el carbono almacenado en el suelo del fundo Sananguillo con 114.99 TnC/ha debido a la rápida descomposición de la hojarasca producto de las altas temperaturas y alto grado de humedad, comparativamente a lo obtenido en el fundo Juan Bernito que solo alcanzó 74.76 TnC/Ha. El carbono almacenado en la biomasa de mantillo u

hojarasca en el fundo Juan Bernito fue de 4.87 TnC/Ha y de 2.97 TnC/Ha para el fundo Sananguillo, esta diferencia está determinada por las condiciones topográficas del terreno, además de las densidades poblacionales de especies arbóreas de los sistemas agroforestales evaluados. El carbono almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea en el fundo Sananguillo fue de 2.35 TnC/Ha, y 1.89 TnC/Ha para el fundo Juan Bernito, esto se debe principalmente a las prácticas culturales como podas, deshierbos.

## 1.2. Bases teóricas

### 1.2.1 Cambio Climático

El cambio climático es definido por la convención marco de las naciones unidas como *“El cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables”*. Es importante entender que cambio y variabilidad climática son de diversa índole. El primero refiere una condición fuera de lo normal y exacerbada de lo antes soportado por el estado natural a causa de la actividad humana. Mientras que el segundo, indica una situación natural, de donde deriva mucha de la diversidad biológica que se distribuye a nivel global (Chávez, 2018).

El clima de nuestro planeta está sufriendo importantes alteraciones desde hace varias décadas. El 4º informe del grupo intergubernamental de cambio climático (IPCC) indica que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y que en su mayor parte se debe muy probablemente al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) provocado por actividades humanas como el uso extendido de combustibles fósiles, la descomposición de residuos urbanos o ganaderos y los cambios en el uso de la tierra. (ECODES, sf).

Según el último informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC), las consecuencias para el clima de un aumento de la temperatura de 2 °C son mucho mayores que en el caso de un incremento de 1,5 °C, y no estamos bien encaminados en ninguno de estos dos escenarios (Banco mundial, 2019). Este hecho implica que en 100 años estaríamos en un escenario de calentamiento similar al

que se ha dado desde la última glaciación. En un periodo de 20.000 mil años, la tierra se calentó aproximadamente 5°C, por lo que es evidente que las proyecciones estimadas de la temperatura global esperada para los próximos 100 años no son insignificantes (Chávez, 2018). En el caso de un aumento de la temperatura de 1,5°C, el número de personas expuestas a riesgos relacionados con el clima y susceptibles a caer en la pobreza se podría reducir en varios cientos de millones en comparación con un aumento de 2°C (Banco mundial, 2019).

El alcance de los efectos del cambio climático en las regiones variará con el tiempo, así como con la capacidad de mitigación y adaptación al cambio de los diferentes sistemas ambientales y sociales. Los incrementos en las temperaturas globales promedio menor que 1 a 3 grados centígrados por encima de los niveles de 1990 producirán impactos beneficiosos en algunas regiones y perjudiciales en otras. Los costos netos anuales aumentarán con el tiempo a medida que aumenten las temperaturas globales (IPCC, 2013).

En cuanto a agricultura, la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación señala al cambio climático como una de las causas de los efectos directos e indirectos que afectan la productividad agrícola; como son, los cambios en los patrones de lluvias, sequías, inundaciones y la redistribución geográfica de insectos, incluyendo las plagas, y de otros organismos que causan enfermedades y pérdidas de cultivos (FAO, 2017).

### **1.2.2 Protocolo de Kyoto**

El protocolo de Kyoto fue adoptado en Kyoto (Japón) el 11 de diciembre de 1997 y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Las normas detalladas para su aplicación, fueron adoptadas en la COP 7 en Marrakesh, Marruecos (2001), denominadas "Acuerdos de Marrakesh". Su primer período de compromiso comenzó en 2008 y terminó en 2012. Así, en diciembre de 2012 (COP 18), en Doha - Qatar; se adoptan nuevos compromisos por las partes, en el anexo I del protocolo, donde:

- Se asume el segundo período de compromiso desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020.

- Se aprueba una lista revisada de gases de efecto invernadero a ser comunicada por las partes en el segundo período de compromiso; y
- Enmiendas a varios artículos del protocolo, que hacían referencia específica a cuestiones relativas al primer período de compromiso y que se actualizaron para el segundo período de compromisos.

37 países industrializados y la comunidad europea, se comprometieron a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero de 5 por ciento a por lo menos 18 por ciento, en comparación con los niveles de 1990 en el primer y segundo período, respectivamente. Sin embargo, la composición de las partes en el segundo período de compromiso es diferente de la primera 20 (no ratificaron Japón, Rusia, Canadá, Nueva Zelanda, Estados Unidos; quedando el compromiso para Australia, Noruega, Croacia y los 28 países de la Unión Europea e Islandia) (Unión Europea, 2013).

Para ayudar a reducir el costo del cumplimiento de reducción se designaron tres “mecanismos de flexibilidad” basados en el mercado: comercio de emisiones (CE), aplicación conjunta (AC) y el mecanismo de desarrollo limpio (MDL). (CDM Watch, 2010).

A pesar de que estos tres mecanismos operan de manera diferente, se basan en el mismo principio: permitir a los países industrializados reducir sus emisiones en cualquier parte del mundo, donde estas sean más económicas, y luego incluir estas reducciones a sus metas nacionales. Aplicación conjunta y el mecanismo de desarrollo limpio son considerados mecanismos “basados en proyectos” ya que financian proyectos actuales. La aplicación conjunta generalmente financia proyectos en Europa del este y la ex Unión Soviética, mientras que el mecanismo de desarrollo limpio solo puede aplicarse en países en vía de desarrollo que no cuenten con una limitación de emisiones de gas de efecto invernadero bajo el protocolo de Kyoto. Por lo tanto, el mecanismo de desarrollo limpio es el único componente del protocolo de Kyoto que involucra a países en vías de desarrollo en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. Finalmente, el mecanismo de desarrollo limpio tiene un mandato explícito de promover el desarrollo sustentable, a diferencia de aplicación conjunta o del comercio de emisiones (CDM Watch, 2010).

### 1.2.3 Ciclo del carbono

El carbono es el cuarto elemento más abundante en la Tierra y es esencial para la vida. Es la base de los carbohidratos, las proteínas y los ácidos nucleicos que necesitan los seres vivos para vivir, crecer y reproducirse. También se encuentra en el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), cal, madera, plástico, diamantes y en el grafito (Rainforest alliance, 2014)

El ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y la transferencia entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono (Honorio y Baker, 2010)

Antes de describirlo con detalle, debemos decir que este ciclo se lleva a cabo en dos fases, la geológica, que tarda millones de años en completarse; y la biológica, que se desarrolla en tiempos mucho más reducidos, que pueden ser desde días hasta miles de años:

#### ✓ **Fase biológica**

El ciclo del carbono comienza cuando las plantas, a través de la fotosíntesis, hacen uso del CO<sub>2</sub> presentes en la atmósfera o disuelto en el agua. El carbono pasa a formar parte de los tejidos vegetales en forma de carbohidratos, grasas y proteínas, y el oxígeno es devuelto a la atmósfera o al agua mediante la respiración (Guerrero, Pamela. 2018)

Tanto en las plantas como en los ecosistemas puede permanecer durante mucho tiempo, ya sea en la madera que sostiene a los árboles o en la hojarasca que cubre y nutre el suelo (SEMARNAT, 2009). Los organismos heterótrofos, como los seres humanos, además de respirar oxígeno, también consumimos carbohidratos de plantas y otros seres vivos para obtener energía y al exhalar devolvemos a la atmósfera CO<sub>2</sub> como residuo; de esa manera se cierra esta fase del ciclo (Guerrero, 2018).

#### ✓ **Fase Geológica**

La segunda fase del ciclo del carbono es la llamada geológica y es mucho más lenta. El bióxido de carbono que está libre en la atmósfera puede disolverse en el océano. Ahí se transforma en bicarbonato y se puede combinar con el calcio para formar



grandes acumulaciones de roca caliza. De esta forma, el carbono se integra a la corteza terrestre y constituye la mayor reserva de carbono en todo el ciclo. Después de mucho tiempo, la actividad de los volcanes o la disolución de las rocas calizas (por ejemplo, por el agua de lluvia) regresan el carbono a la atmósfera en forma de gas, es decir, como bióxido de carbono. Y así, se cierra el ciclo geológico. El punto de unión más importante de ambas fases del ciclo es justamente la atmósfera, de donde la vegetación y los océanos absorben el carbono, ambos en forma de CO<sub>2</sub> (SEMARNAT, 2009).

#### **1.2.4 Agroforestería**

Según el ICRAF (*International Council for Research in Agroforestry*) “La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local” (Elliot, 2014).

Mosquera *et al.* (2015) define que los sistemas agroforestales son formas tradicionales de gestión del territorio, que en la actualidad llaman la atención por permitir la mejora de la producción por unidad de superficie, al mismo tiempo que fomentan la biodiversidad y la estabilidad de los sistemas frente al cambio climático. Estos sistemas integran prácticas en las que se combina un componente leñoso (árbol o arbusto) con uno agrícola.

Es una unidad diseñada por el hombre que reúne componentes bióticos (cultivos, árboles, animales) y abióticos (agua, suelo, minerales, aire) integrados y complementarios entre sí y que tienden a reproducir el equilibrio del bosque. Los sistemas agroforestales se orientan a permitir actividades productivas en condiciones de alta fragilidad, con recursos naturales degradados, mediante una gestión económica eficiente, alterando al mínimo la estabilidad ecológica, lo que contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y como consecuencia, mejorar el nivel de vida de la población rural (Elliot, 2014).

También se puede considerar como la combinación multidisciplinaria de diversas técnicas ecológicamente viables, que implican el manejo de árboles o arbustos, cultivos alimenticios y/o animales en forma simultánea o secuencial, garantizando a largo plazo una productividad aceptable y aplicando prácticas de manejo compatible con las habituales de la población local (Palomeque, 2009).

Estos sistemas representan una alternativa para los productores porque reducen la dependencia de un solo cultivo, permiten desarrollar actividades productivas económica y ambientalmente más sostenibles y representan una práctica con gran potencial para la captura de carbono (Somarriba, 1994). La importancia de la agroforestería radica en los beneficios ambientales y socioeconómicos para las comunidades rurales, lo que se traduce en una mejor conservación de los suelos, producción de maderas y productos agropecuarios en una misma superficie. La correcta aplicación de estos sistemas permite el uso sustentable del suelo, es decir, mantiene la fertilidad, y consecuentemente no se degrada (Toledo, 2017).

Si bien son varias las definiciones de agroforestería o de sistemas agroforestales, todas tienen características similares y orientan hacia un manejo integrado de los recursos productivos que existen en una unidad de terreno, así, aunque las definiciones de agroforestería no son perfectas en todos los aspectos, tienen una amplia aceptabilidad. Estas definiciones expresan la búsqueda de una definición aun no alcanzada sobre el manejo de los recursos naturales en forma sostenible. El desarrollo agrícola sostenible se refiere a la compatibilidad que se establece entre el mantenimiento o aumento en la producción, con la utilización y conservación a largo plazo del recurso, donde la población humana y el potencial productivo son factores limitantes (Farfán, 2014).

Los sistemas agroforestales favorecen la remoción de gases de efecto invernadero, al acumular vegetal o incorporarse al suelo, contribuyendo a mitigar el cambio climático. Dependiendo de un adecuado diseño y manejo, traen beneficios a la agricultura, aumentando la producción y generando servicios ambientales (Isaza y Cornejo, 2015)

### **Características de los sistemas agroforestales**

- ❖ Estructura: Combina árboles, cultivos y animales en forma conjunta. Aunque en el pasado no siempre se consideraba el uso de los árboles en el terreno del cultivo,

la visión de los sistemas agroforestales busca proporcionar mejores servicios a los agricultores (Farrel y Altieri, 1999) citado por SOCLA (2016).

- ❖ **Sustentabilidad:** Optimiza los beneficios de las interacciones y mantiene la productividad a largo plazo sin degradar la tierra. Al utilizar los ecosistemas naturales como modelos y al aplicar sus características ecológicas al sistema agrícola, se espera que la productividad a largo plazo pueda mantenerse sin degradar la tierra. Esto resulta particularmente importante si se considera la aplicación actual de la agroforestería en zonas de calidad marginal de la tierra y baja disponibilidad de los insumos (Farrel y Altieri, 1999) citado por SOCLA (2016).
- ❖ **Incremento en la productividad:** Al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del predio, con condiciones mejoradas de crecimiento y un uso eficaz de los recursos naturales (espacio, suelo, agua, luz), se espera que la producción sea mayor en los sistemas agroforestales que en los sistemas convencionales de uso de la tierra (Farrel y Altieri, 1999) citado por SOCLA (2016).
- ❖ **Adaptabilidad cultural/socioeconómica:** A pesar de que la agroforestería es apropiada para una amplia gama de predios de diversos tamaños y de condiciones socioeconómicas, su potencial ha sido particularmente reconocido para los pequeños agricultores en áreas marginales y pobres de las zonas tropicales y subtropicales. Si se considera que los campesinos generalmente no son capaces de adoptar tecnologías muy costosas y modernas, que han sido pasados por alto por la investigación agrícola y que no tienen poder social o político de discernimiento, la agroforestería se adapta particularmente a las realidades de los pequeños agricultores (Farrel y Altieri, 1999) citado por SOCLA (2016).

Farfán (2014) manifiesta que la presencia de árboles provee a los sistemas agroforestales algunas características que favorecen la productividad y la sostenibilidad; las principales características son:

- ❖ **Incremento de la producción:** Los sistemas agroforestales tienden a mantener o aumentar la producción y la productividad (del suelo o sitio) mediante los productos obtenidos del cultivo y de los árboles, mejoramiento de la producción

de los cultivos asociados, reducción en la aplicación de insumos, mano de obra eficiente y eficaz.

- ❖ **Aceptación:** El hecho que la agroforestería sea relativamente una nueva palabra para un viejo sistema de prácticas, en muchos casos, es aceptado por la comunidad agrícola; no obstante, implica el mejoramiento de las tecnologías agrosilvícolas y que la introducción de nuevas áreas a la agroforestería debe ajustarse a las prácticas agrícolas locales.
- ❖ **Continuidad:** La agroforestería puede alcanzar y mantener indefinidamente los objetivos de la conservación y de la fertilidad del suelo, conservando el potencial de producción como base del recurso, en función de los efectos benéficos de los árboles sobre el suelo.
- ❖ **Resiliencia:** Se define como la capacidad de un ecosistema para volver a su estado original después de una perturbación, manteniendo su característica esencial, composición florística, estructura, funciones de sus componentes y los diferentes procesos que en él se desarrollan. Puede definirse también como la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y retener sus funciones, la estructura básica y su identidad. El uso del suelo puede recuperarse de una condición de degradación a una de restauración o resiliencia.

### **Clasificación de los sistemas agroforestales**

Varios criterios se pueden utilizar para clasificar las prácticas y sistemas agroforestales. Se utilizan más corrientemente la estructura del sistema (composición y disposición de los componentes), función, escala socioeconómica, nivel de manejo y la distribución ecológica (Montagnini *et al.*, 2015).

Farfán (2014) manifiesta que, es necesario identificar y establecer modelos agroforestales que reúnan elementos comunes articulados y jerárquicos, de manera que se facilite el conocimiento de las funciones de los sistemas.

Algunos de los modelos comunes son:

- ❖ **Árboles asociados con cultivos perennes:** Son sistemas agroforestales simultáneos (con interacción directa), en los cuales los componentes agrícolas y

arbóreos se encuentran en el mismo terreno durante toda la duración del sistema; en contraste con los sistemas agroforestales secuenciales o con interacción cronológica. El objetivo principal de este modelo es la diversificación de la producción, aunque también pueden lograrse aumentos en la productividad a través de algunas interacciones con el componente arbóreo. A esta categoría también pertenecen todas las combinaciones de árboles y cultivos perennes donde el componente arbóreo crea un piso superior y cubre los cultivos. La cubierta del árbol puede ser muy abierta o casi cerrada, como los árboles de sombra de diversos cultivos (Farfán, 2014).

- ❖ Árboles en asociación con cultivos anuales (Cultivos en callejones): Consiste en la asociación de hileras de plantas entre los surcos de los árboles. En estas asociaciones, las interacciones de los cultivos anuales con el componente arbóreo son similares a las del caso anterior. Estos sistemas se establecen para especies anuales tolerantes a la sombra. Aunque se pierde algún espacio por la siembra de árboles, se espera que este sistema se equilibre con un aumento en el rendimiento del cultivo por unidad de área, obtenido por el efecto de la fertilización del material orgánico proveniente de los árboles (Farfán, 2014).
- ❖ Sistemas silvopastoriles: Los sistemas silvopastoriles y los silvoagrícolas tienen las mismas características estructurales: Los árboles cubren el piso inferior constituido por pastos, el piso inferior y algunas veces también el superior está dedicado a la producción animal. La producción de forraje bajo la cubierta arbolada puede dedicarse a los sistemas de corte. En estos sistemas pueden incluirse diferentes tipos de animales silvestres. Estos sistemas son practicados a diferentes niveles, desde las grandes plantaciones arbóreas comerciales con inclusión de ganado, hasta el pastoreo de animales como complemento a la agricultura de subsistencia (Farfán, 2014).
- ❖ Cortinas rompevientos y barreras vivas con árboles: Los objetivos de las barreras vivas con árboles son: Reducir la velocidad del viento en parcelas con fines agropecuarios; reducir el movimiento del suelo y protegerlo de los procesos erosivos; conservar la humedad del suelo, reducir la acción mecánica del viento sobre el cultivo, proteger la fauna silvestre, regular las condiciones del microclima, incrementar la belleza natural de un área y proteger cultivos y

animales, incluso donde la agricultura es intensiva. Además, producen madera, abono verde, leña y frutos, entre otros. Las barreras rompevientos están constituidas por una o varias hileras de árboles. (Farfán, 2014).

- ❖ Plantaciones de árboles en los linderos y cercas vivas: Se usan para delimitar parcelas o fincas y para separar áreas con diferentes cultivos; también son usados para incorporar árboles a los paisajes agrícolas. Los árboles pueden ser explotados con fines comerciales. La cerca viva es una plantación de árboles que sirven de postes para delimitar una propiedad, un lote, etc. El objetivo básico es la delimitación y protección de los terrenos; de los árboles también pueden obtenerse beneficios como producción de leña, forraje, postes y madera (Farfán, 2014).
- ❖ Agrobosques o fincas forestales: Esta categoría emplea tecnologías agroforestales derivadas o semejantes a los huertos caseros mixtos, y que dan origen a cultivos que se asemejan a los bosques, de aquí el nombre de agrobosque. Frecuentemente, son pequeñas parcelas con una estructura típica de los bosques, debida a la presencia de árboles grandes y multiestratos. A menudo existe gran diversidad de especies en un arreglo no zonal de grandes árboles coexistiendo con otros más pequeños y plantas arvenses que son, generalmente, tolerantes a la sombra (Farfán, 2014).

En el agrobosque los árboles y los cultivos se manejan individualmente con distintas prácticas. Otro aspecto importante de los huertos boscosos o agrobosques, es que su estructura, generalmente o algunas veces, cubre áreas muy grandes y por su tamaño y distancia de las fincas están generalmente orientados hacia la explotación como cultivos comerciales más que hacia cultivos de subsistencia (Farfán, 2014).

### **Interacciones ecológicas en agroforestería**

La agroforestería es parte fundamental del proceso integral de la conservación y mejoramiento del suelo. Es una estrategia que tiene como objetivo reforzar y establecer la sostenibilidad en las parcelas de los agricultores, mediante la promoción de la diversificación productiva y capacitación en el manejo de sistemas multiestratos (Farfán, 2014).

Estudios realizados por diversos autores indican que el potencial de las interacciones ecológicas en un sistema agroforestal es numeroso, siendo cada una de estas específicas para diferentes tecnologías agroforestales. El tipo de interacción resultante en las relaciones entre componentes puede manifestarse de manera positiva cuando exista complementariedad entre ellos, negativa al existir competencia y neutral en caso que no se afecten o interactúen (Farfán, 2014).

Las interacciones son:

- ❖ Aspectos climáticos: Mejoramiento de las condiciones microclimáticas, especialmente por la reducción de los eventos extremos de la temperatura del aire y del suelo. Reducción de la velocidad del viento. Mantenimiento de la humedad relativa y aumento de la regulación hídrica en el suelo. Como consecuencia, los cafetales arborizados están mejor protegidos contra las heladas y se crea un ambiente más adecuado para el mantenimiento de su intercambio gaseoso (Farfán, 2014).
- ❖ Aspectos edáficos: Mejoramiento o mantenimiento de la fertilidad debido al aumento en la capacidad de reciclaje de nutrientes y adición de residuos. La estabilidad de la temperatura del suelo converge con menores pérdidas por volatilización del nitrógeno. Además, la capacidad de absorción e infiltración del agua se incrementa, lo cual favorece la reducción de la erosión. Sin embargo, de modo general, la utilización y la respuesta a la aplicación de nutrientes en cafetales sombreados es menor que en aquellos que crecen a pleno sol (Farfán, 2014).
- ❖ Aspectos endógenos: Atenuación del ciclo bienal de la producción de café, disminuyendo el estímulo a la superproducción que, a su vez, reduce el agotamiento de la planta y el secamiento de las yemas apicales y, en última instancia, hace el cultivo más perdurable. Además, el tamaño de los frutos producidos es mayor, si bien el incremento en la calidad de la bebida es asunto de controversia. Así mismo, hay un alargamiento del periodo de maduración del fruto que permite mayor flexibilidad en la cosecha. (Damatta y Rodríguez, 2007).

- ❖ Aspectos económicos: Ganancias adicionales derivadas de la explotación de la especie usada para la arborización (madera, frutos, látex, entre otros) (Damatta y Rodríguez, 2007).

### **Beneficios de los sistemas agroforestales que contribuyen a la adaptación al cambio climático**

Montagnini *et al.* (2011) indica que los beneficios de los sistemas agroforestales que directa o indirectamente contribuyen para hacer frente a los cambios climáticos pueden incluir muchas de las ventajas por las que generalmente se fomentan este tipo de sistemas:

- Cambios en las condiciones micro climáticas, lo cual incluye protección contra los extremos de temperatura, así como una mayor eficiencia del uso del agua de lluvia, protección contra las precipitaciones fuertes, y conservación del suelo y del agua.
- Aumentos en la fertilidad del suelo (reciclaje de nutrientes; ejemplos de sistemas de árboles con cultivos y barbechos mejorados).
- Aumentos de la producción y sostenibilidad a largo plazo.
- Reducción de la incidencia de algunas plagas y malezas.
- Diversificación de los sistemas agrícolas y de los ingresos.
- Contribución a la seguridad alimentaria.
- Contribución a la conservación de la biodiversidad y otros servicios ambientales.

Por otro lado, como en todas las alternativas de usos de la tierra deben considerarse posibles desventajas del uso de sistemas agroforestales, las cuales pueden consistir en competencia por el agua y los nutrientes entre los diferentes componentes del sistema (especialmente durante las sequías y en suelos pobres); mayor incidencia de ciertas plagas, por ejemplo enfermedades fungosas en café, cacao; necesidad de mano de obra (para la poda y otras tareas); y la posibilidad de que los sistemas agroforestales sean adoptados plenamente por los agricultores (influida por las variables ya mencionadas, además de las tradiciones de los agricultores, su aversión al riesgo y otros factores) (Montagnini *et al.*, 2015).



Para lograr un balance adecuado entre estas ventajas y desventajas es posible realizar un análisis de la eficiencia económica de los sistemas agroforestales como estrategia de adaptabilidad al cambio climático, examinando los beneficios de los sistemas agroforestales, para ver si los agricultores están o no en mejor situación con los sistemas agroforestales. Los detalles de la implementación y manejo de los sistemas agroforestales dependerán de las condiciones locales, que varían para cada agricultor. (Montagnini *et al.*, 2015).

Deben compararse los beneficios a lo largo de gradientes regionales de temperaturas y humedad, para poder determinar en qué punto los beneficios de los agricultores se aprovechan al máximo, y lograr un punto de vista acertado sobre las regiones donde los sistemas agroforestales son una opción eficiente para la adaptación al cambio climático (Montagnini *et al.*, 2015).

### **Sistemas agroforestales como sumideros de carbono**

Las evidencias de los efectos negativos que causan en el clima local y mundial la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, constituyen temas relevantes. Las acciones orientadas al control de emisiones y flujos de carbono, así como, las estimaciones del potencial de fijación de los sistemas agroforestales en los sistemas contables de los ciclos de carbono son importantes (Farfán, 2014).

Los bosques naturales son principalmente secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, incluyendo sistemas agrosilvopastoriles (Alegre *et al.*, 2002). Los árboles, base de los sistemas agroforestales, juegan un papel esencial en el ciclo global del carbono (Corral *et al.*, 2006).

El agroecosistema cafetero tiene un potencial apreciable para retener el carbono atmosférico, tanto en las partes aéreas de las plantas, como en el sistema radicular y en la materia orgánica del suelo. Si los cafetales se comparan con ecosistemas forestales, tanto perennifolios como estacionales, la cantidad retenida de carbono en los primeros es menor, sin embargo, su productividad es mayor que la de los bosques. (Farfán, 2014).

Los agroecosistemas cafeteros debidamente operados con adecuadas medidas de conservación de suelos y con un uso moderado de productos químicos, pueden contribuir en el mantenimiento de la diversidad biológica y a la producción de otros bienes y servicios, tales como recursos hídricos, leña, carbón, madera, frutas y recreación (Fournier, 1995) citado por Farfán (2014).

La cantidad de carbono almacenado varía en función de la edad, diámetro y altura de los árboles, la densidad de la plantación de cada estrato y la asociación vegetal (Timoteo *et al.*, 2016).

Los sistemas agroforestales pueden almacenar cantidades importantes de carbono en la biomasa aérea, en la biomasa subterránea y una apreciable cantidad también es almacenada directamente en el suelo en forma de carbono orgánico, a través de la incorporación de la materia orgánica, que posteriormente es objeto de procesos de descomposición o degradación por parte de los microorganismos (Odar, 2018).

Los cafetales tienen un enorme potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático, ya que las buenas prácticas en su manejo pueden evitar que aumente la pérdida de bosques y es posible gestionar de forma responsable las emisiones de gases de efecto invernadero producidas durante su ciclo de cultivo y post cosecha salvaguardando el capital natural de la Amazonía peruana (MINAGRI, 2018)

En los últimos años, los productores de café en el Perú vienen experimentando el impacto negativo que el cambio climático genera sobre su capacidad productiva y capital natural. Ante ello es necesario tomar en cuenta medidas de adaptación y mitigación. Mediante este enfoque, se pondrá un énfasis especial en la identificación de propuestas, generación de tecnologías o acciones orientadas a mitigar el daño sobre los ecosistemas buscando reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar las fuentes de captura de carbono; y coordinar medidas de adaptación creando sinergias entre el sector público y privado que potencien la capacidad de respuesta frente a los impactos del cambio climático (MINAGRI, 2018)

### 1.2.5 Biomasa

La IPCC (2013) lo define como la masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados. El material vegetal muerto se puede incluir como biomasa muerta.

La biomasa de la vegetación arbórea representa un componente fundamental para evaluar el estado de los recursos forestales. La biomasa se almacena en troncos, ramas, hojas y demás partes vegetales. Siendo un almacén natural de carbono. A partir de la biomasa es posible estimar el CO<sub>2</sub> fijado, por lo que las unidades forestales constituyen herramientas de mitigación y adaptación de los efectos negativos del cambio climático (FAO, 2010).

**Tabla 1**

*Factores que afectan a la biomasa*

Factor	Clase
Precipitación, temperatura y humedad.	Clima
Precipitación, temperatura y El Niño	Clima
Agua subterránea y precipitación.	Biotopo
Vigor de la copa (longitud, volumen, área y estrés específico), Intercepción lumínica	Biotopo - Ecológico
Interacción entre comunidades (Epifitismo, parasitismo, mutualismo, otros.).	Ecológico
Presencia de plagas.	Ecológico
Pastoreo	Antrópico
Incendios forestales	Antrópico
Agricultura	Antrópico

Fuente: Chávez (2018).

### 1.2.6 Café

El café tiene una gran importancia económica a nivel mundial, ya que sus semillas, tostadas, molidas y en infusión, constituyen la bebida no alcohólica más consumida actualmente. Su cultivo supone una actividad económica clave en muchos países en desarrollo, y se estima que su procesamiento y comercialización movilizan más de

70.000 millones de dólares al año y dan trabajo a más de 125 millones de personas. Los suministros comerciales de café provienen de más de una especie, pero es *Coffea arabica* (cafeto de Arabia) la que suministra la mayor cantidad y mejor calidad de semillas (Rojo, 2014)

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea*

Especie: *Arabica*

El centro de origen del café (*Coffea Arabica* L.) se encuentra en Etiopía (Abisinia), en mesetas que se ubican entre 1.300 a 2.000 msnm. Por otro lado, la especie *C. Canephora* se encuentra dispersada en la zona tropical de África por debajo de 1.000 msnm. (Elliot, 2014).

Las variedades de esta especie que han sido introducidas en el Perú, todas de la especie *Coffea Arabica*, son: Typica, Caturra, Catimor, Pache y Bourbon, siendo la variedad Typica la más difundida debido a su gran rendimiento, excelente calidad de grano y gran adaptabilidad a las condiciones climáticas del país (Elliot, 2014).

### 1.2.7 Eucalipto

F. Muell, clasifica a la especie *Eucalyptus saligna*, de la siguiente manera (O'Connell y Menagé, 2010):

Familia: Myrtaceae

Género: *Eucalyptus*

Especie: *Eucalyptus saligna*

Lugar de Origen Australia (norte de Queensland), actualmente se encuentran distribuidos por gran parte del mundo y debido a su rápido crecimiento frecuentemente se emplean en plantaciones forestales para la industria papelera, maderera o para la obtención de productos químicos, además de su valor ornamental. Es un árbol muy útil para la plantación a lo largo de carreteras, en los sistemas de avenamiento de las tierras pantanosas, en los bosques de fincas agrícolas. Resiste bien los vientos, por lo que se le emplea en la formación de cortinas rompevientos, asociados con otras especies de porte bajo, para control de erosión (O'Connell y Menagé, 2010).

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Materiales**

##### **2.1.1 Equipos**

Se empleó un GPS marca Garmin para georreferenciar el sistema agroforestal; una báscula para medir la masa de las muestras recolectadas, una cámara digital panasonic 14 megapixels para el registro fotográfico, una calculadora y una laptop lenovo vision para el procesamiento de datos y elaboración del informe.

##### **2.1.2 Herramientas**

Para la delimitación de las parcelas a evaluar se emplearon rafia, cintas métricas, wincha de 50m y jalones. Se hizo uso de bolsas para la recolección de muestras de suelo, hojarasca y herbáceas además de una báscula, machete y pala. Para el registro de los datos como el DAP de las plantas se hizo uso de una libreta de campo y bolígrafos.

##### **2.1.3 Servicios**

Se necesitaron los servicios de un laboratorio para el análisis químico de presencia de carbono en muestras de suelo, determinación de peso seco de muestras arbustivas y herbáceas, determinación de peso seco de muestras de hojarasca y transporte.

#### **2.2. Métodos**

La población de estudio corresponde a una (01) hectárea de un sistema agroforestal de 4 años de edad comprendido por las especies de eucalipto y café cuya densidad de siembra es de 4200 plantas de café y 600 plantas de eucalipto, ubicado en la jurisdicción del centro poblado Naranjillo, provincia de Rioja, región San Martín. En el área se evaluaron tres parcelas distribuidas al azar de 4 metros por 25 metros, en cada uno de ellos se determinó la biomasa y captura de carbono de acuerdo a los objetivos de la investigación, empleando la metodología desarrollada por el consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería – ICRAF, y siguiendo los procedimientos del manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra citado por Arévalo *et al.* (2003).

### 2.2.1 Biomasa Vegetal Total

Para determinar la biomasa vegetal total del sistema agroforestal es necesario sumar todos los valores obtenidos respecto a la biomasa total de árboles, biomasa total de árboles muertos en pie, biomasa total de árboles caídos muertos, biomasa arbustiva y herbácea y biomasa de la hojarasca.

$$\mathbf{BVT (Tn/Ha) = (BAVT+BTAMP+BTACM+BAH+Bh)}$$

Donde:

BVT	= Biomasa vegetal total
BAVT	= Biomasa total árboles vivos
BTAMP	= Biomasa total árboles muertos en pie
BTACM	= Biomasa total árboles caídos
BAH	= Biomasa arbustiva y herbácea
Bh	= Biomasa de la hojarasca

### 2.2.2 Biomasa arbórea viva (Tn/Ha)

Se trazaron parcelas de 4 metros por 25 metros, en los cuales se realizó un inventario de todos los árboles presentes. Para la especie forestal (eucalipto) se midió los diámetros a la altura del pecho, a 1.3 metros del suelo. Para la medición del diámetro de café se registró la medida a una altura de 30 centímetros del suelo.

Para determinar biomasa aérea en eucalipto (Kg/árbol) se aplicó la siguiente ecuación alométrica según Arévalo *et al.*, (2003):

$$\mathbf{Y = 0.1184 * DAP^{2.53}}$$

Donde:

Y	= Biomasa, en (Kg/árbol)
0.1184	= constante
DAP	= diámetro a la altura del pecho (cm)
2.53	= constante exponencial

La biomasa del café (Kg/árbol) se calculó con el siguiente modelo alométrico desarrollado por Hairiah et al., (2001):

$$Y = 0.2811 * DAP^{2.0635}$$

Donde:

- Y = Biomasa, en (Kg/árbol)  
 0.2811 = constante  
 DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)  
 2.0635 = constante exponencial

Para calcular la cantidad de biomasa por hectárea, se sumó la biomasa de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en las parcelas de 4 metros por 25 metros, es decir:

$$BAVT (Tn/Ha) = BTAV * 0,1$$

Donde:

- BAVT = Biomasa árboles vivos en Tn/Ha  
 BTAV = Biomasa total en las parcelas de 4m por 25m  
 0,1 = Factor de conversión

### 2.2.3 Biomasa Arbustiva y Herbácea

Se eligió al azar dos cuadrantes de 1 metro cuadrado en cada una de las parcelas de 4 metros por 25 metros. En estas se cortó toda biomasa epigea y la biomasa herbácea luego se registró el peso fresco total por metro cuadrado, de esta se colectó una submuestra de 250 gramos, el cual se llevó al laboratorio de suelos del proyecto especial Alto Mayo para determinar el peso seco.

Para el cálculo de la biomasa arbustiva y herbácea (Tn/Ha) se utilizó la siguiente ecuación:

$$BAH (Tn/Ha) = ((PSM/PFM) * PFT) * 10$$

Donde:

- BAH = biomasa arbustiva y herbácea, materia seca.  
 PSM = Peso seco de la muestra colectada (gramos)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (gramos)

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (Kg)

10 = factor de conversión para herbácea

#### 2.2.4 Biomasa de la hojarasca (Bh)

En los cuadrantes de 1 metro cuadrado se ubicaron cuadrantes de 0.5metros x 0.5metros para cuantificar la hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas). Se colocó toda la hojarasca en bolsas y se registró el peso fresco total por 0.25 m<sup>2</sup>, de ésta se sacó una submuestra y se registró su peso, luego se colocó en bolsas y se llevó al laboratorio de suelos del proyecto especial Alto Mayo para obtener peso seco constante. Luego se procedió a aplicar la siguiente fórmula para determinar la biomasa.

$$Bh (Tn/Ha) = ((PSM/PFM) * PFT) * 40$$

Donde:

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada (gr.)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (gr)

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (Kg.)

40 = Factor de conversión

#### 2.2.5 Carbono en la materia orgánica del suelo (MOS)

En las parcelas de estudio se tomaron muestras de suelo de 0 a 30 centímetros de profundidad. Posteriormente se procedió a llevar las muestras al laboratorio para su respectivo análisis. Una vez obtenido la densidad aparente y el porcentaje de carbono del suelo mediante pruebas en el laboratorio, se procedió a utilizar la siguiente ecuación citado por Larrea (2007).

$$CS = CC \times DA \times P$$

Donde:

CS = Carbono en el Suelo (TnC/Ha)

CC = Contenido de Carbono (%)

DA = Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>)

P = Profundidad de muestreo (0-30 cm)



### 2.2.6 Cálculo de carbono en la biomasa vegetal total

Para estimar el carbono total existente en la biomasa vegetal total se usó la siguiente ecuación:

$$CBT = BVT * 0.45$$

Donde:

CBT = Carbono en la biomasa total (TnC/Ha)

BVT = Biomasa vegetal total

0.45 = Constante

### 2.2.7 Cálculo de carbono total

Para estimar el carbono total presente en una hectárea de sistema agroforestal se usó la siguiente ecuación:

$$CT = CBV + CS$$

Donde:

CT = Carbono Total (TnC/Ha)

CBV = Carbono en la biomasa vegetal total

CS = Carbono en el suelo

**Tabla 2**

*Análisis físico-químico de suelo por parcelas*

Muestras	pH	M.O %	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	Densidad Aparente
Parcela I	4,70	2,66	0,12	8,4	72,31	52,44	35,16	12,40	Fr.Aren	1,50
Parcela II	4,59	3,72	0,167	25,8	34,58	45,40	36,20	18,40	Franco	1,43
Parcela III	4,50	3,78	0,170	20	29,87	50,48	37,12	12,40	Franco	1,50

Fuente: Laboratorio de suelos del proyecto especial Alto Mayo (2019)

### 2.3. Análisis estadístico

La información recolectada de los resultados de biomasa y captura de carbono del sistema agroforestal se obtuvieron de la aplicación de las ecuaciones alométricas

descritas anteriormente y de la aplicación estadística descriptiva cuantitativa haciendo uso del software Excel donde se establecieron medidas de tendencia central tales como promedio de las cantidades de biomasa y captura de carbono por cada componente evaluado, también se establecieron valores máximos y mínimos de carbono almacenado por planta. Los resultados se presentan en tablas y figuras para su mejor comprensión.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1 Carbono almacenado en biomasa aérea del sistema agroforestal

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

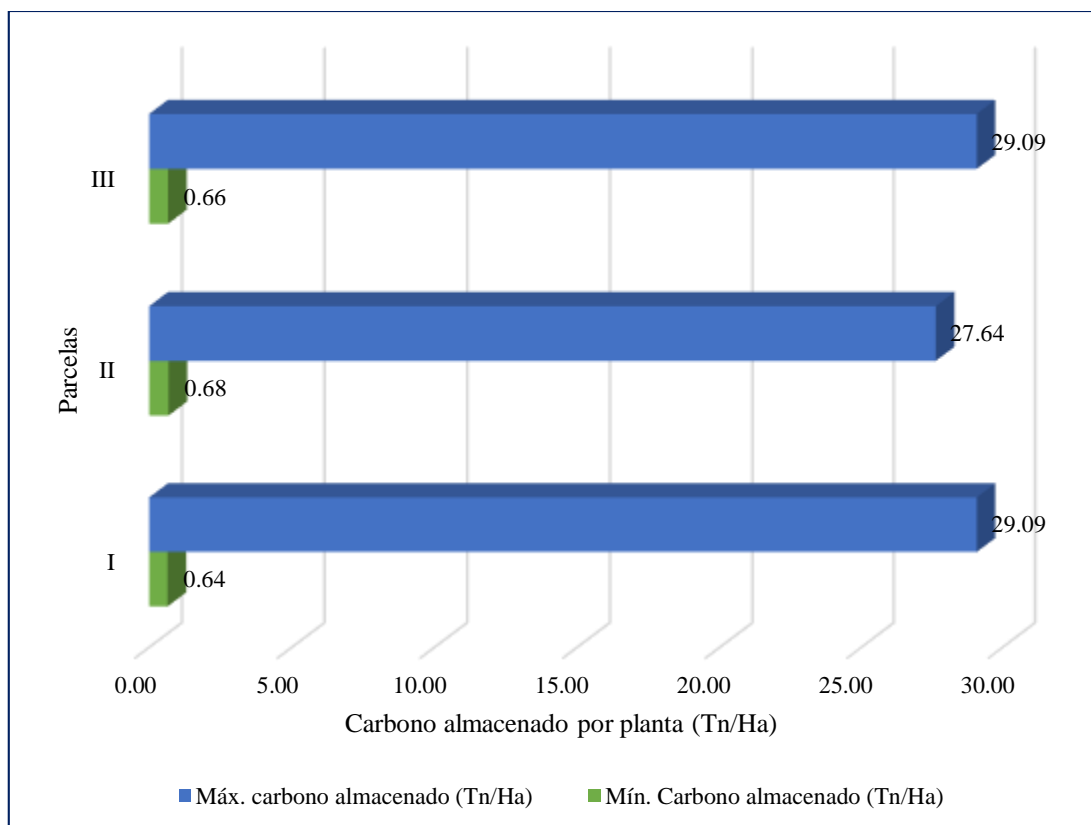
**Tabla 3**

*Análisis de datos descriptivos del carbono almacenado en biomasa aérea*

	Parcela I	Parcela II	Parcela III
Promedio (Tn/Ha)	3.98	3.98	3.99
Mediana (Tn/Ha)	0.84	0.88	0.82
Moda	0.72	0.88	0.81
Desviación estándar	8.43	8.39	8.44
Varianza de la muestra	70.99	70.40	71.23
Rango (Tn/Ha)	28.45	26.96	28.43
Mínimo (Tn/Ha)	0.64	0.68	0.66
Máximo (Tn/Ha)	29.09	27.64	29.09
Carbono total (Tn/Ha)	191.25	190.95	191.48
Número de plantas	48.00	48.00	48.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se presenta un resumen de los análisis de datos descriptivos obtenidos en las parcelas I, II y III (anexo B); se puede observar que los valores de tendencia lineal como promedio, mediana y moda en las tres parcelas del sistema agroforestal evaluado son similares, sin embargo las varianzas que presentan cada una de las parcelas son muy altas, esta dispersión está determinada por la diferencia significativa de DAP que existe entre las especies de café y eucalipto, el cual es directamente proporcional al carbono almacenado por planta. El 87.5% del total de plantas evaluadas por parcela presentan DAP menores a 10 cm, todas correspondientes a la especie café, mientras que el 12.5% de plantas restantes corresponden a la especie eucalipto los cuales presentaron DAP con valores próximos a los 30 cm. Los rangos entre los valores mínimos y valores máximos de carbono almacenado por planta son 28.45 TnC/Ha, 26.96 TnC/Ha y 28.43 TnC/Ha para la parcela I, parcela II y parcela III respectivamente.



**Figura 1.** Valores máximos y mínimos de carbono almacenado por parcela

La Figura 1, presenta los valores máximos y mínimos de carbono almacenado por cada parcela en el sistema agroforestal. La mínima cantidad de carbono almacenado en la parcela I es equivalente a 0.64 TnC/Ha y corresponde a la planta N° 2 y el máximo valor de carbono almacenado es el de la planta N° 46 con 29.09 TnC/Ha.

En la parcela II el valor mínimo de carbono almacenado es 0.68 TnC/Ha y lo presentan las plantas N° 5 y N° 23 y el máximo valor de carbono almacenado es el de la planta N° 44 con 27.64 TnC/Ha. Para la parcela III el valor mínimo de carbono almacenado lo presenta la planta N° 4 con 0.66 TnC/Ha y el valor máximo la planta N° 48 con 29.09 TnC/Ha.

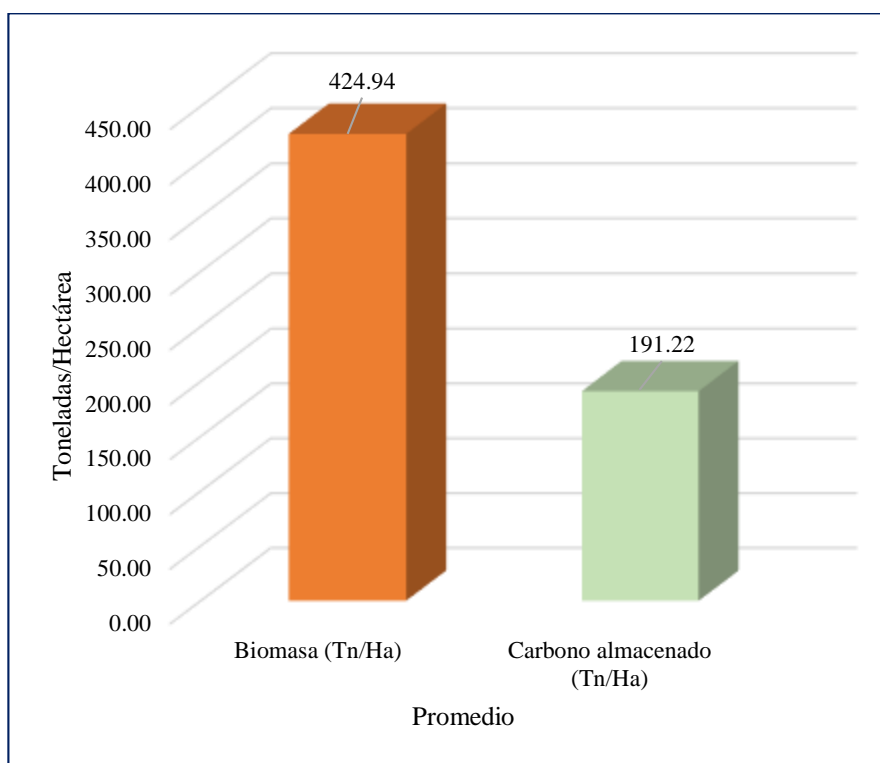
Los valores mínimos registrados corresponden a la especie café y los valores máximos a la especie eucalipto, esto debido a las características fenotípicas de las especies en estudio.

**Tabla 4***Carbono almacenado en biomasa aérea*

Parcelas	Biomasa aérea (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
I	425.00	191.25
II	424.33	190.95
III	425.50	191.48
Promedio	424.94	191.22

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se observa la cantidad de biomasa aérea y carbono almacenado por parcelas, siendo la parcela II el de menor reserva de biomasa aérea (424.33 Tn/Ha) y de carbono almacenado (190.95 Tn/Ha); mientras que la parcela III presenta mayor reserva de biomasa aérea (425.50 Tn/Ha) y de carbono almacenado (191.48 Tn/Ha).



**Figura 2.** Biomasa aérea y carbono almacenado.

En la figura 2 se observa el promedio de biomasa aérea y carbono almacenado entre las parcelas, cuyo promedio de reserva de biomasa es de 424.94 Tn/Ha y de carbono almacenado es 191.22 Tn/Ha.

### 3.1.2 Carbono almacenado en biomasa arbustiva y herbácea

Para determinar la biomasa arbustiva y herbácea se evaluaron cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> ubicadas dentro de las parcelas de 100 m<sup>2</sup>.

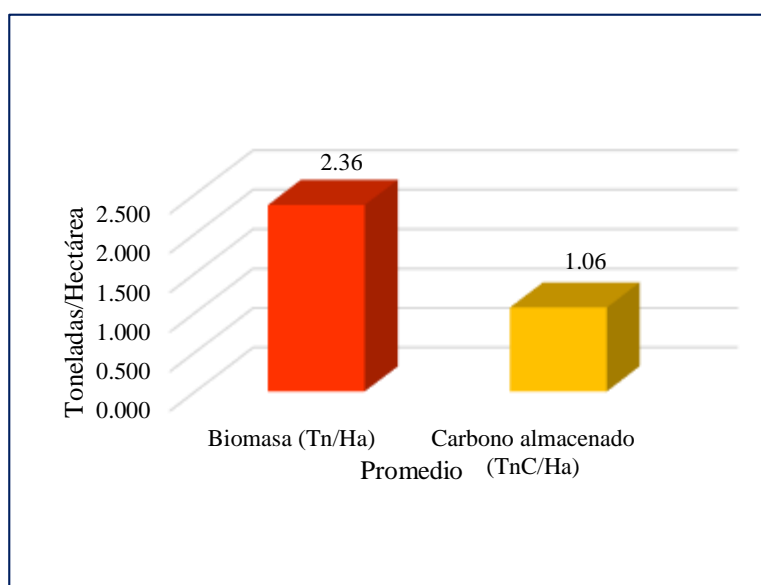
**Tabla 5**

*Carbono almacenado en biomasa arbustiva y herbácea*

Parcela	Nº cuadrante de 1m <sup>2</sup>	Peso Fresco Total (Kg)	Peso Fresco Muestra (g)	Peso Seco Muestra (g)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado TnC/Ha
I	1	0.823	250.00	67.50	2.22	1.00
	2	0.761	250.00	80.00	2.44	1.10
II	1	0.749	250.00	70.00	2.10	0.94
	2	0.788	250.00	62.50	1.97	0.89
III	1	0.817	250.00	75.00	2.45	1.10
	2	0.883	250.00	85.00	3.00	1.35
Promedio					2.36	1.06

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5, muestra los resultados de biomasa arbustiva y herbácea y los resultados del carbono almacenado en la biomasa por cada cuadrante en las parcelas evaluadas. La mayor cantidad de biomasa arbustiva y herbácea se observa en el cuadrante N° 2 de la parcela III con un valor de 3.00 Tn/Ha cuyo carbono almacenado es 1.35 Tn/Ha; mientras que la menor cantidad de biomasa arbustiva-herbácea se observa en el cuadrante N° 2 de la parcela II con un valor de 1.97 Tn/Ha cuyo carbono almacenado es 0.89 Tn/ha.



**Figura 3.** Biomasa arbustiva-herbácea y carbono almacenado

En la figura 3, se observa el promedio de biomasa arbustiva y herbácea y carbono almacenado entre las parcelas; cuyo promedio de reserva de biomasa es de 2.363 Tn/Ha y de carbono almacenado es 1.063 Tn/Ha.

### 3.1.3 Carbono almacenado en biomasa de hojarasca

Para determinar el componente biomasa de hojarasca se evaluaron cuadrantes de 0.25 m<sup>2</sup>.

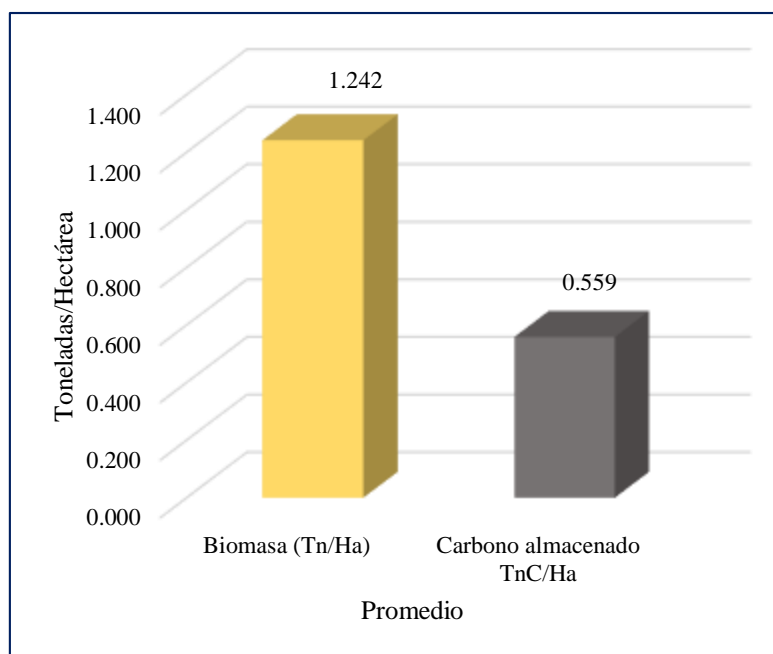
**Tabla 6**

*Carbono almacenado en biomasa de hojarasca*

Parcela	Nº cuadrante de 0.25m <sup>2</sup>	Peso Fresco Total (Kg)	Peso Fresco Muestra (g)	Peso Seco Muestra (g)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado TnC/Ha
I	1	0.462	250.00	67.50	1.247	0.561
	2	0.523	250.00	72.50	1.517	0.683
II	1	0.489	250.00	60.00	1.174	0.528
	2	0.367	250.00	62.50	0.918	0.413
III	1	0.457	250.00	82.50	1.508	0.679
	2	0.388	250.00	70.00	1.086	0.489
Promedio					1.242	0.559

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se observan los resultados de biomasa de hojarasca y carbono almacenado por cuadrante en cada parcela evaluada. La mayor cantidad de biomasa de hojarasca se observa en el cuadrante N° 2 de la parcela I con un valor de 1.517 Tn/Ha cuyo carbono almacenado es 0.683 Tn/Ha; mientras que la menor cantidad de biomasa de hojarasca se observa en el cuadrante N° 2 de la parcela II con un valor de 0.918 Tn/Ha cuyo carbono almacenado es 0.413 Tn/Ha.



**Figura 4.** Biomasa de hojarasca y carbono almacenado

En la figura 4, se observa el promedio de la biomasa de hojarasca y del carbono almacenado de las parcelas evaluadas; cuyo valor para la reserva de biomasa es de 1.242 Tn/Ha y para carbono almacenado es 0.559 Tn/Ha.

### 3.1.4 Biomasa Vegetal Total

La biomasa vegetal total se obtuvo de la sumatoria de los valores de biomasa por parcela evaluada.

**Tabla 7**

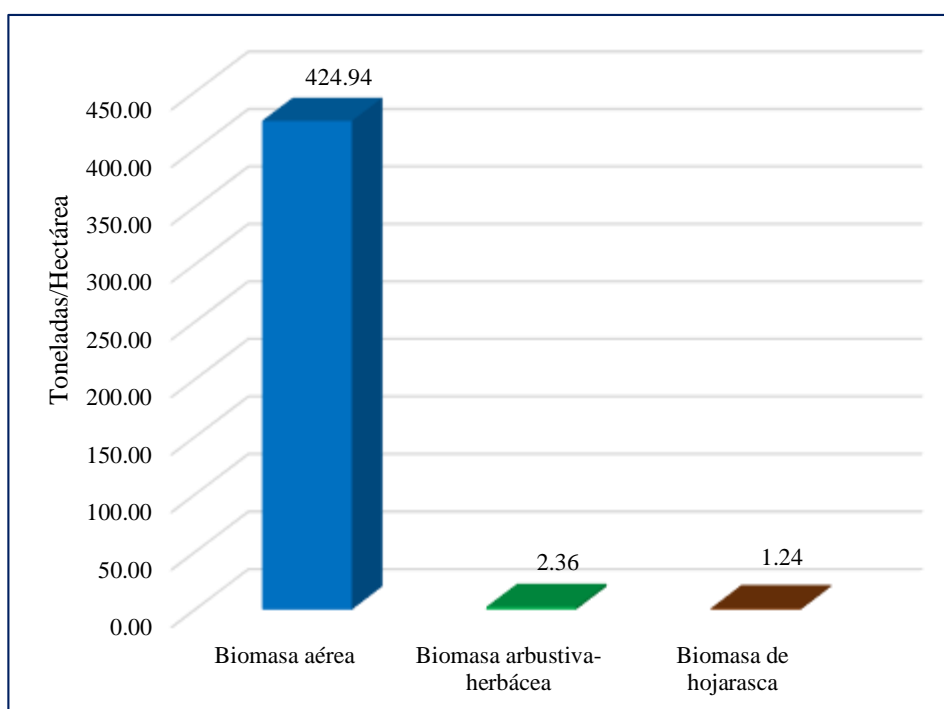
*Biomasa vegetal total*

Parcela	Biomasa aérea	Biomasa arbustiva y herbácea	Biomasa de hojarasca	Total
I	425.00	2.33	1.38	428.71
II	424.33	2.03	1.05	427.42
III	425.50	2.73	1.30	429.53
Promedio	424.94	2.36	1.24	<b>428.55</b>

Fuente: Elaboración propia

La tabla 7, presenta la biomasa vegetal total en el sistema agroforestal evaluado cuyo valor es equivalente a 428.55 Tn/Ha.





**Figura 5.** Biomasa almacenada por componente evaluado

La figura 5, muestra que la mayor cantidad de reserva de biomasa es la aérea con 424.94 Tn/Ha y la que presenta menor cantidad de reserva de biomasa es la de hojarasca con 0.56 Tn/Ha.

### 3.1.5 Carbono almacenado en el suelo

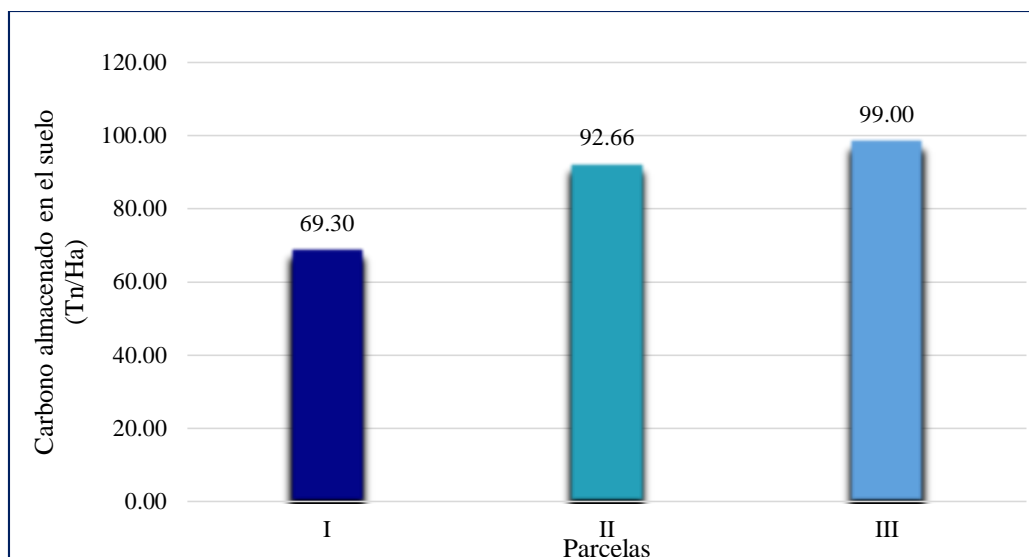
**Tabla 8**

*Carbono almacenado en el suelo*

Transecto	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad (cm)	Porcentaje de carbono (%)	Carbono almacenado TnC/Ha
I	1.50	30.00	1.54	69.30
II	1.43	30.00	2.16	92.66
III	1.50	30.00	2.20	99.00
Promedio			1.97	86.99

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se observa el carbono almacenado en el suelo en cada una de las tres parcelas evaluadas donde el promedio de carbono almacenado entre ellas es equivalente a 86.99 Tn/Ha.



**Figura 6.** Carbono almacenado en el suelo

La figura 6, muestra que la mayor cantidad de carbono almacenado en el suelo se encuentra en la parcela III con 99.00 Tn/Ha, mientras que la menor cantidad en la parcela I con 69.30 Tn/Ha, esto debido a que en la parcela I existe una leve pendiente que facilita que la precipitación y las aguas de escorrentía erosionen el suelo y a su vez limiten la acumulación y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo; el área restante del sistema agroforestal es de superficie plana por ello se observan valores de carbono similares en las parcelas II y III.

### 3.1.6 Carbono total almacenado en el sistema agroforestal

El carbono total almacenado se obtuvo de la sumatoria de los promedios de carbono de los componentes evaluados por parcela.

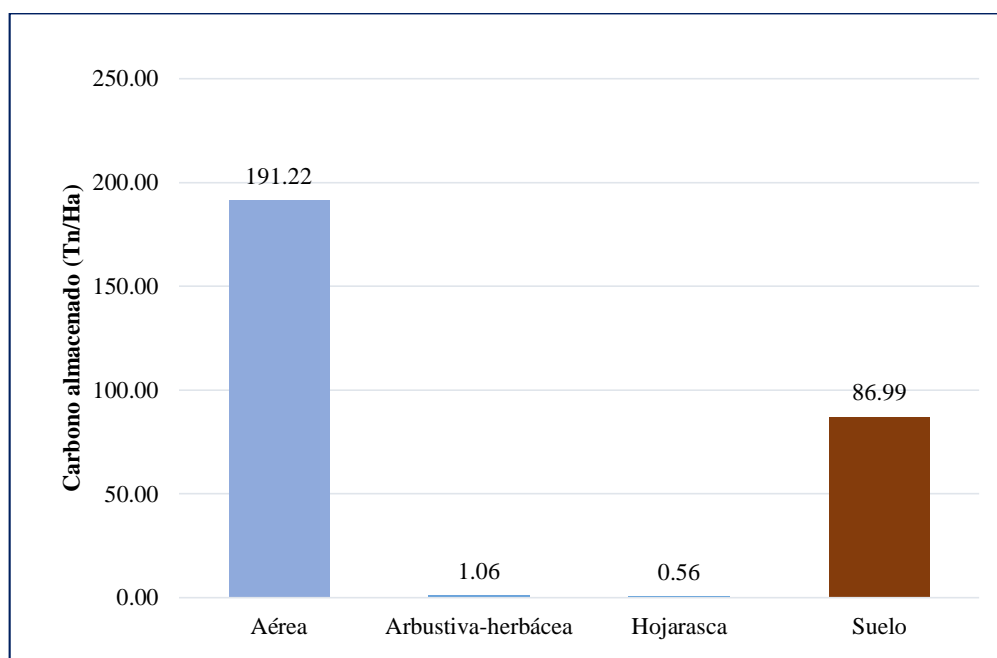
**Tabla 9**

*Carbono total almacenado*

Parcela	Aérea (Tn/Ha)	Arbustiva y herbácea (Tn/Ha)	Hojarasca (Tn/Ha)	Suelo (Tn/Ha)	Total (Tn/Ha)
I	191.25	1.05	0.62	69.30	262.22
II	190.95	0.92	0.47	92.66	285.00
III	191.48	1.23	0.58	99.00	292.29
Promedio	191.22	1.06	0.56	86.99	279.83

Fuente: Elaboración propia

La tabla 9, muestra el total promedio de carbono almacenado en el sistema agroforestal con un valor de 279.83 TnC/Ha.



**Figura 7.** Carbono almacenado por componente evaluado

La figura 7, muestra los promedios de carbono almacenado por componente evaluado, siendo el componente aéreo el de mayor carbono almacenado con 191.22 Tn/Ha y el componente de menor carbono almacenado es el de hojarasca cuyo valor es 0.56 Tn/Ha.

### 3.2. Discusión

El estudio sobre carbono almacenado determinó que la biomasa aérea está relacionada directamente con la especie forestal de sombra empleada y la densidad de plantación. En el caso de las plantas de café, la densidad promedio fue de 4200 plantas por hectárea, con rangos de DAP que oscilan entre 6.7cm y 9.0 cm, mientras que las plantas de eucalipto fueron 600 por hectárea con rangos de DAP que oscilan entre 27.6 cm y 30.0 cm.

En el estudio el DAP es el principal indicador de la cantidad de biomasa aportada por las plantas de café y eucalipto, coincidiendo así con numerosos estudios realizados en zonas tropicales y templadas que indican que el diámetro es la variable independiente de mejor ajuste; puesto que la altura de la planta muchas veces se encuentra

condicionada por la edad y el ambiente competitivo en el que se desarrolla (Wirth & Schumecher, 2004).

Los resultados de carbono almacenado en biomasa aérea en el presente estudio fue 191.22 TnC/Ha, valor que difiere de lo reportado por Silva (2019) en la evaluación de un sistema agroforestal de café asociado con guaba de 15 años de edad cuyo almacén de carbono fue 22.80 TnC/Ha; esto se debe al modelo de siembra del sistema agroforestal y a que la especie eucalipto es de rápido crecimiento vertical en comparación con las plantas de guaba, además las labores culturales como las podas fueron mínimas.

Los resultados de carbono almacenado en biomasa arbustiva-herbácea y biomasa de hojarasca presentaron valores mínimos que oscilan entre 1.06 TnC/Ha y 0.56 TnC/Ha respectivamente. Quiñe (2006) obtuvo resultado relativamente similar para biomasa arbustiva-herbácea con 1.89 TnC/Ha, y Cabrera (2016) por su parte obtuvo 0.93 TnC/Ha para biomasa de hojarasca. La similitud de los datos está determinada por la diversificación del sistema agroforestal, la densidad y variedad de sombra, el desarrollo de labores culturales por parte del agricultor como deshierbos, amontonamiento de hojarasca y ramas para luego realizar la quema de estos evitando así la disposición de carbono en estos componentes.

La investigación realizada por Balaba & Byakagaba (2015), sugiere que, las fincas que no tienen árboles capturan carbono orgánico del suelo relativamente bajo en comparación con aquellas con algunos árboles independientemente del tipo de café cultivado.

Los resultados del estudio demuestran que en la parcela I la capacidad del suelo para almacenar carbono fue menor respecto a las parcelas II y III, esto debido a la textura que presentó cuya composición de arena fue 52,44 %, ya que la arena tiene mucha menor capacidad de almacenar carbono respecto a suelos con textura arcillosa, reduciendo además la capacidad de mejorar las propiedades físicas del suelo, aumentar la capacidad de intercambio catiónico (FAO, 2019), también se infiere que la cantidad de carbono almacenado en la parcela I se debe a que presentó una leve pendiente, el cual facilita la erosión de los suelos por aguas de escorrentía y precipitaciones.

El almacén de carbono promedio presentado en el componente suelo en el sistema agroforestal es 86.99 TnC/Ha.

Encina y Torres (2018), determinaron el potencial de captura de carbono de la biomasa total en cultivo de café (*Coffea arabica*) en un sistema tradicional con mínima sombra cuyo resultado fue 9.61 TnC/Ha, la densidad de siembra que presentó fue de 3350 plantas de café. Por su parte Ordóñez *et al.*, (2011), en un estudio técnico de secuestro de carbono en sistemas agroforestales de café de 5 años de edad, en el que evaluaron los componentes biomasa aérea, biomasa arbustiva y herbácea, biomasa de hojarasca y suelo, cuya densidad de siembra fue de 3565 árboles de café/Ha y 64 árboles de especies maderables/Ha concluyen que el sistema agroforestal logró almacenar 55 TnC/Ha.

A diferencia de los autores mencionados los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que el almacén de carbono por parte del sistema agroforestal de dos especies asociadas como son el café y el eucalipto es de 279.83 TnC/Ha (Tabla 9), cuya densidad fue de 4200 plantas de café y 600 plantas de eucalipto, valor mucho mayor que el almacenado en un sistema de plantación de café de tipo tradicional con escasa sombra y el obtenido en un sistema agroforestal de tipo cerco vivo evaluado por Ordóñez *et al.* (2011); esta diferencia está determinada principalmente por la densidad de siembra existente en los diferentes sistemas agroforestales.

A partir de los resultados encontrados se puede afirmar que los sistemas agroforestales con café son capaces de almacenar cantidades significativas de carbono tal como lo afirma Farfán (2014).

En general, la tasa de absorción de carbono en sistemas agroforestales puede ser alta ya que la captura de carbono se efectúa tanto por los árboles como por los cultivos, dependiendo de la edad de la plantación (Sanchez et al., 1997)

## CONCLUSIONES

El carbono almacenado en el sistema agroforestal de *Coffea arabica L.* y *Eucalyptus saligna* es directamente proporcional a la biomasa almacenada, es decir que a mayor reserva de biomasa le corresponde mayor carbono almacenado y viceversa. Se determinó que el componente con mayor carbono almacenado es el de biomasa aérea (191.23 TnC/Ha) y el estrato con menor almacén de carbono es el de biomasa de hojarasca (0.56 TnC/Ha) presentando una diferencia muy significativa equivalente a 190.67 TnC/Ha.

La reserva del componente biomasa aérea del sistema agroforestal de *Coffea arabica L.* y *Eucalyptus saligna* es igual a 424.94 Tn/Ha cuyo carbono almacenado es equivalente a 191.23 TnC/Ha., habiendo una diferencia muy marcada respecto al carbono almacenado en biomasa arbustiva-herbácea y hojarasca.

El carbono almacenado en la biomasa arbustiva-herbácea es 1.06 TnC/Ha, mientras que en la biomasa de hojarasca el carbono almacenado es 0.56 TnC/Ha. Ambos presentan valores significativamente menores al resto de estratos evaluados en el sistema agroforestal de *Coffea arabica L.* y *Eucalyptus saligna*. En el suelo el valor de carbono almacenado es 86.99 TnC/Ha, representa el segundo mayor valor de almacén de carbono después del registrado en la biomasa aérea.

El carbono total almacenado en el sistema agroforestal de *Coffea arabica L.* y *Eucalyptus saligna* es 279.83 TnC/Ha.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a la comunidad científica realizar trabajos complementarios a este trabajo de investigación relacionados a los sistemas agroforestales de café y eucalipto y su valoración económica por el servicio ecosistémico brindado y su capacidad para actuar como sumideros de dióxido de carbono.

A la Universidad Nacional de San Martín se recomienda promover el desarrollo de metodologías que permitan identificar el potencial de fijación de carbono en los diferentes sistemas agroforestales de la región San Martín e incentivar la investigación en este campo de estudio, estableciendo nuevos modelos alométricos para la estimación del carbono.

A los agricultores que se dedican al cultivo de café se les recomienda incluir en sus parcelas la implementación de sistemas agroforestales para sacar el máximo provecho del territorio y mitigar el impacto ambiental generado por la deforestación y cambios de usos de suelo, como una manera de realizar buenas prácticas ambientales.

Se recomienda a la Junta Nacional del Café promover un programa que incluya la revaloración del sistema productivo de café bajo sombra y sensibilizar a los productores cafetaleros del país sobre la necesidad de implementar y conservar estos sistemas productivos, contemplado un ingreso económico al agricultor por los servicios ambientales brindados.

A la comunidad científica se recomienda replicar este tipo de investigaciones para realizar estimaciones de biomasa aérea de las especies *Coffea arabica* L. y *Eucalytus saligna* en zonas diferentes al área de estudio, y así obtener resultados más precisos, ya que no existe mucha información respecto a estas dos especies en sistemas agroforestales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRE, Julio, ARÉVALO, Luis, RICSE, Auberto. *Reservas de Carbono con Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en dos Sitios de la Amazonía Peruana*. Perú, 2002.
- ARÉVALO, Luis, ALEGRE, Julio y PALMA, César. *Manual: Determinación de Reservas Totales de Carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Perú, 2003.
- BALABA, Susan y BYAKAGABA, Patrick. *Soil organic carbon stocks under coffee agroforestry systems and coffee monoculture in Uganda*. En: *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2015.
- BANCO MUNDIAL. *Cambio climático: Panorama general*. Washington, USA, 2019. [Fecha de consulta: 28 de diciembre del 2019] Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/climatechange/overview#1>
- CABRERA, María. *Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca*. *Rev. Pakamuros*, 43-54. 2016.
- CDM WATCH. *Manual del Mecanismo de Desarrollo Limpio*. 2010. [Fecha de consulta: 28 de diciembre del 2019]. Disponible en: <http://www.cdm-watch.org>
- CHÁVEZ, Jhoan. *Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú, 2018.
- CONOLLY, Ronda y COREA, Carlos. *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua, 2007.
- CORRAL, Rubén; DUICELA, Luis y MAZA, Héctor. *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano*. Ecuador, 2006. [Consultado: 28 diciembre 2019]. Disponible en: <http://www.cofenac.org/documentos/Resumenes-Carbono-en-SAF.pdf>



- CUELLAR, José y SALAZAR, Evelin. *Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú*. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. Lima, Perú. 2016.
- DAMATTA, Fabio y RODRÍGUEZ, Nelson. *Sustainable production of coffee in agroforestry systems in the Neotropics: An agronomic and ecophysiological approach*. Agronomía Colombiana. Colombia, 2007.
- DÍAZ, Percy; et al. *Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra en la región San Martín*. En: RINDERESU, vol 1 (2) p 57-67. Perú. 2016.
- ELLIOT, Jorge. *Rentabilidad, mercado y tecnología para la producción de café amigable con el clima*. En: Soluciones Prácticas. Lima, Perú, 2014.
- ECODES. Cambio climático. [Fecha de consulta: 10 de enero del 2019]. Disponible en: <https://ecodes.org/cambio-climatico-y-ecodes/>.
- ENCINA, Thalía y TORRES, Mónica. *Determinación del potencial de captura de carbono en los cultivos de plátano *Musa paradisiaca* y café *Coffea arabica*, Moyobamba, 2018*. Trabajo de titulación (Tesis para título profesional). Moyobamba, Universidad César Vallejo, 2018.
- ESPINOZA, William., KRISHNAMURTHY, L., VÁSQUEZ, Antonio y TORRES, Antonio. *Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café*. En: Revista Chapingo, ciencias forestales y del ambiente. México, Universidad Autónoma Chapingo, 2012.
- FAO. *Propiedades del suelo: Propiedades químicas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Roma, Italia, 2019. [Fecha de consulta: 10 de enero del 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/>.
- FAO. *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia, 2017. [Fecha de consulta: 08 de abril del 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/cos/>

- FAO. *Inventario Forestal Nacional de Nicaragua*. Roma. 2010. Consultado el 16 de setiembre del 2018. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books#v=onepage&q=biomasa%20t.m.s.%20ha-1&f=false>
- FARFÁN, Fernando. *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*, FNC- Cenicafé, Manizales, Caldas, Colombia, 2014.
- FARRELL, John y ALTIERI, Miguel. *Sistema agroforestal. Agroecología, Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan-Comunidad. Montevideo, Uruguay. 1999. ISBN (Nordan): 9974-42-052-0
- FOURNIER, Luis. *Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetero*. San Salvador. 1995. [Fecha de consulta: 08 de abril del 2019]. Disponible en: <http://opac.biblioteca.iica.int/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=87023>
- GUERRERO, Pamela. *Ciclo del carbono*. 2018 [Fecha de consulta: 08 de diciembre del 2019]. Disponible en: <https://blog.unitips.mx/ciclo-del-carbono>.
- HAIRIAH, Kurniatun; SITOMPUL, SM; VAN NOORDWIJK, Meine & PALM, Cheryl. *Carbon stocks of tropical land use systems as part of the global carbon balance: effects of forest conversion and options for clean development activities. Alternatives to slash-and-burn*. Bogor, Indonesia. ICRAF. 2001.
- HONORIO, Eurídice y BAKER, Timothy. *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. Instituto de investigaciones de la amazonía peruana/ Universidad de Leeds. Lima, 54p. 2010.
- IPCC: *Glosario: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América. 2013.
- ISAZA, Carlos y CORNEJO, Juan. *El café y el ciclo del carbono: Cambio climático y carbono en café*. Solidaridad y Norad. Perú, 2015. ISBN: 9789070526337

- LARREA, Cecilia. *Determinación de las reservas de carbono en la Biomasa aérea de combinaciones agroforestales de Theobroma cacao L.* Trabajo de titulación (Tesis para título profesional) .Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 2007.
- MESTANZA, Melvin. *En 166 años San Martín perdería la totalidad de sus bosques.* Moyobamba. 2019. 2018 [Fecha de consulta: 08 de enero del 2020]. Disponible en: <https://nuestrosderechos.pe/en-166-anos-san-martin-perderia-la-totalidad-de-sus-bosques/>
- MINAGRI. Ministerio de Agricultura y Riego. *Plan nacional de acción del café peruano 2018-2030.* Lima, Perú. 2018.
- MINAM. Ministerio del Ambiente. *El Perú y el Cambio Climático: Tercera Comunicación Nacional del Perú.* Lima, Perú, 2016.
- MINAM. Ministerio del Ambiente. *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático. (Borrador).* Lima, Perú. 2014.
- MONTAGNINI, Florencia, *et al.* *Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos.* Organización para Estudios Tropicales. Costa Rica. 1992.
- MONTAGNINI, Florencia; FRANCESCONI, William; ROSSI, E. *Agroforestry as a tool for landscape restoration.* Nova Science Publishers. 201 p. New York, USA, 2011.
- MONTAGNINI, Florencia; SOMARRIBA, Eduardo; MURGUEITIO, Enrique; FASSOLA, Hugo y EIBL, Beatriz. *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales.* 1° edición. Cali, Colombia. CATIE, 2015. (Serie técnica. Informe técnico/CATIE). ISBN 978-958-9386-74-3
- MOSQUERA, María; *et al.* *Sistemas agroforestales y PAC.* Universidad de Compostela/ Universidad de Extremadura. Revista Ambiental. España, 2015.
- NACIONES UNIDAS. *Cambio Climático.* [Fecha de consulta: 20 de diciembre del 2019]. Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

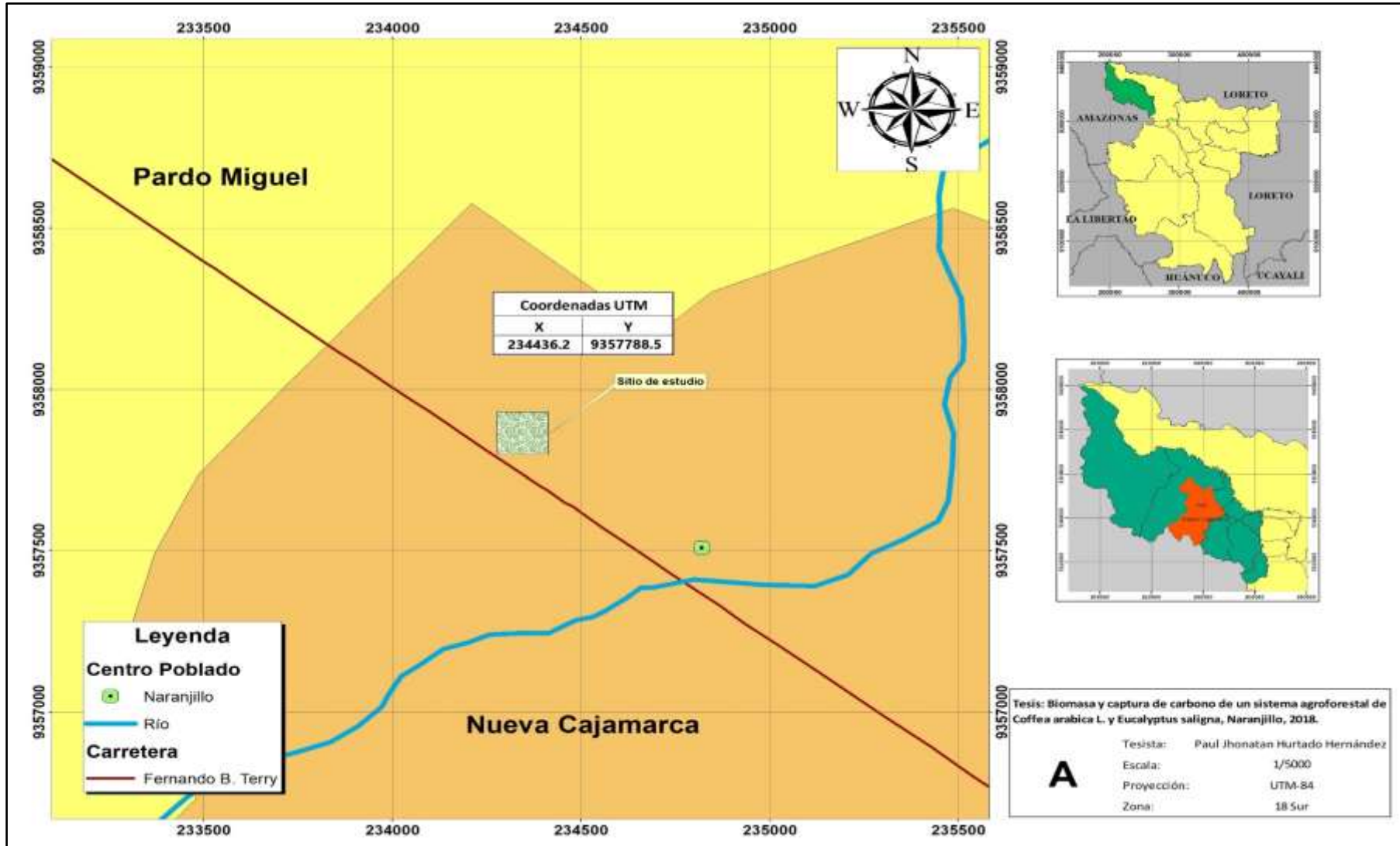
- O'CONNELL, M. y MENAGÉ, A. *Litterfall and nutrient cycling in karri (Eucalyptus diversicolor F. Muell.) forest in relation to stand age*. En: Australian Journal of Ecology. 2010. [Fecha de consulta: 12 de marzo del 2019]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1442-9993.1982.tb01299.x>
- ODAR, Bertin. *Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea spp.) en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018*. Tesis para optar título profesional. Chachapoyas, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, 2018. [Fecha de consulta: 20 diciembre de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1384?show=full>.
- ORDÓÑEZ, Luis; GAVILANEZ, Carla y SALAZAR, Aracely. *Secuestro de carbono en biomasa aérea en sistemas agroforestales de cacao y café ubicados en la Reserva de Biosfera Sumaco*. GIZ. Quito, Ecuador, 2011.
- PALOMEQUE, Emilio. *Sistemas agroforestales. Huehuetán, Chiapas, México*. 2009. [Fecha de consulta: 20 diciembre de 2019]. Disponible en: [https://www.academia.edu/7424278/Sistemas\\_Agroforestales](https://www.academia.edu/7424278/Sistemas_Agroforestales)
- QUÍÑE, P. *Cuantificación de biomasa y reserva de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales*. Trabajo de titulación (Tesis para título profesional). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú, 2009.
- RAINFOREST ALLIANCE. *El ciclo del carbono*. New York, 2014. [Fecha de consulta: 20 diciembre de 2019]. Disponible en: [https://www.rainforest-alliance.org/lang/sites/default/files/lesson/pdf/CEG\\_SP-2.pdf](https://www.rainforest-alliance.org/lang/sites/default/files/lesson/pdf/CEG_SP-2.pdf)
- ROJO, Elena. *Café I: Género Coffea*. Reduca (Biología). Serie Botánica. 7 (2): 113-132, 2014. Madrid, España. . 2014. ISSN: 1989-3620
- SANCHEZ, P.; BURESH, R. y LEAKEY, R. *Trees, soils and food security*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. England, 1997.
- SOCLA. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología. *Agroecología*. Colombia, 2016. [Fecha de consulta: 20 diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.socla.co/wp-content/uploads/2016/Agroecologiabasescientificas.pdf>

- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones*. México, 2009.
- SILVA, José y OLAYA, Lilibeth. *Cuantificación de carbono almacenado en un sistema agroforestal de café (Coffea arabica L.), asociado con guaba (Inga edulis sp.), distrito Jaén – Cajamarca*. Trabajo de titulación (Tesis para título profesional) Universidad Nacional de Jaén, 2019.
- SOMARRIBA, Eduardo. *Sistemas agroforestales con cacao, plátano, laurel*. Agroforestería en las Américas, pp. 22-24. Costa Rica, 1994.
- TIMOTEO, K., REMUZGO, J., VALDIVIA, L., SALES, F., GARCÍA, D. y ABANTO, C. *Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Perú. 2016.
- TOLEDO, Rafael. *La Agroforestería*. Cambio climático-blog. 2017. [Fecha de consulta: 20 diciembre de 2019]. Disponible en: <https://accreviri.com/la-agroforesteria/>
- UNIÓN EUROPEA (UE). *Kioto: Segundo período de compromisos (2013 – 2020)*, 2013. [Fecha de consulta: 20 diciembre de 2019]. Disponible en: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto\\_2\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_2_es)
- WATSON, Robert, NOBLE, Ian, BOLIN, Bert, RAVINDRANATH, H., VERARDO, David y DOKKEN, David. *Land use, land-use change and forestry*. Cambridge University Press, Cambridge. 355pp. England. 2010.
- WIRTH, Christian; SCHULZE, Ernst y SCHUMECHER, Jens. *Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation*. Tree Physiology. 24, 121-139. Noruega, 2004.

## **ANEXOS**

Anexo A

Mapa de ubicación del área de estudio



## Anexo B

### Biomasa y carbono almacenado en parcelas

#### 1. Cálculos de biomasa y carbono almacenado en parcela I

Nº de planta	Especie	DAP (cm)	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
1	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
2	Café	6.7	14.24	1.42	0.64
3	Café	8.1	21.06	2.11	0.95
4	Café	8.0	20.53	2.05	0.92
5	Café	7.3	17.00	1.70	0.76
6	Café	8.1	21.06	2.11	0.95
7	Café	7.7	18.97	1.90	0.85
8	Café	8.0	20.53	2.05	0.92
9	Café	8.4	22.70	2.27	1.02
10	Café	6.8	14.68	1.47	0.66
11	Café	6.9	15.13	1.51	0.68
12	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
13	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
14	Café	8.5	23.27	2.33	1.05
15	Café	8.1	21.06	2.11	0.95
16	Café	9.0	26.18	2.62	1.18
17	Café	8.9	25.58	2.56	1.15
18	Café	7.3	17.00	1.70	0.76
19	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
20	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
21	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
22	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
23	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
24	Café	8.7	24.41	2.44	1.10
25	Café	7.3	17.00	1.70	0.76
26	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
27	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
28	Café	8.2	21.60	2.16	0.97
29	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
30	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
31	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
32	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
33	Café	7.7	18.97	1.90	0.85
34	Café	7.0	15.59	1.56	0.70
35	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
36	Café	6.9	15.13	1.51	0.68
37	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
38	Café	7.0	15.59	1.56	0.70



39	Café	7.2	16.52	1.65	0.74
40	Café	8.0	20.53	2.05	0.92
41	Café	8.2	21.60	2.16	0.97
42	Café	8.4	22.70	2.27	1.02
43	Eucalipto	28.5	567.69	56.77	25.55
44	Eucalipto	28.3	557.66	55.77	25.09
45	Eucalipto	27.6	523.42	52.34	23.55
46	Eucalipto	30.0	646.35	64.64	29.09
47	Eucalipto	29.5	619.44	61.94	27.87
48	Eucalipto	28.1	547.75	54.77	24.65

Fuente: elaboración propia

## 2. Cálculos de biomasa y carbono almacenado en parcela II

N° de planta	Planta	DAP	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
1	Café	8.5	23.27	2.33	1.05
2	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
3	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
4	Café	7.3	17.00	1.70	0.76
5	Café	6.9	15.13	1.51	0.68
6	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
7	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
8	Café	7.0	15.59	1.56	0.70
9	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
10	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
11	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
12	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
13	Café	7.2	16.52	1.65	0.74
14	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
15	Café	8.2	21.60	2.16	0.97
16	Café	8.0	20.53	2.05	0.92
17	Café	7.9	20.00	2.00	0.90
18	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
19	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
20	Café	7.9	20.00	2.00	0.90
21	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
22	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
23	Café	6.9	15.13	1.51	0.68
24	Café	7.0	15.59	1.56	0.70
25	Café	8.2	21.60	2.16	0.97
26	Café	7.9	20.00	2.00	0.90
27	Café	7.3	17.00	1.70	0.76
28	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
29	Café	8.0	20.53	2.05	0.92

30	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
31	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
32	Café	7.9	20.00	2.00	0.90
33	Café	8.1	21.06	2.11	0.95
34	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
35	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
36	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
37	Café	8.0	20.53	2.05	0.92
38	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
39	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
40	Café	8.2	21.60	2.16	0.97
41	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
42	Café	8.4	22.70	2.27	1.02
43	Eucalipto	28.0	542.83	54.28	24.43
44	Eucalipto	29.4	614.14	61.41	27.64
45	Eucalipto	28.8	582.93	58.29	26.23
46	Eucalipto	27.9	537.94	53.79	24.21
47	Eucalipto	28.5	567.69	56.77	25.55
48	Eucalipto	29.3	608.87	60.89	27.40

Fuente: elaboración propia

### 3. Cálculos de biomasa y carbono almacenado en parcela III

N° de planta	Planta	DAP	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (Tn/Ha)	Carbono almacenado (Tn/Ha)
1	Café	7.7	18.97	1.90	0.85
2	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
3	Café	7.8	19.48	1.95	0.88
4	Café	6.8	14.68	1.47	0.66
5	Café	8.5	23.27	2.33	1.05
6	Café	8.0	20.53	2.05	0.92
7	Café	7.0	15.59	1.56	0.70
8	Café	8.5	23.27	2.33	1.05
9	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
10	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
11	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
12	Café	8.3	22.15	2.22	1.00
13	Café	9.0	26.18	2.62	1.18
14	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
15	Café	8.3	22.15	2.22	1.00
16	Café	8.6	23.83	2.38	1.07
17	Café	8.5	23.27	2.33	1.05
18	Café	8.7	24.41	2.44	1.10
19	Café	8.8	24.99	2.50	1.12

20	Café	8.2	21.60	2.16	0.97
21	Café	8.0	20.53	2.05	0.92
22	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
23	Café	6.9	15.13	1.51	0.68
24	Café	6.8	14.68	1.47	0.66
25	Café	7.0	15.59	1.56	0.70
26	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
27	Café	7.2	16.52	1.65	0.74
28	Café	7.7	18.97	1.90	0.85
29	Café	7.0	15.59	1.56	0.70
30	Café	7.3	17.00	1.70	0.76
31	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
32	Café	7.1	16.05	1.60	0.72
33	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
34	Café	7.7	18.97	1.90	0.85
35	Café	7.0	15.59	1.56	0.70
36	Café	7.2	16.52	1.65	0.74
37	Café	7.3	17.00	1.70	0.76
38	Café	6.9	15.13	1.51	0.68
39	Café	7.6	18.47	1.85	0.83
40	Café	7.2	16.52	1.65	0.74
41	Café	7.5	17.97	1.80	0.81
42	Café	7.4	17.48	1.75	0.79
43	Eucalipto	29.5	619.44	61.94	27.87
44	Eucalipto	28.8	582.93	58.29	26.23
45	Eucalipto	28.0	542.83	54.28	24.43
46	Eucalipto	27.6	523.42	52.34	23.55
47	Eucalipto	28.2	552.69	55.27	24.87
48	Eucalipto	30.0	646.35	64.64	29.09

---

Fuente: elaboración propia

**Anexo C**  
**Panel fotográfico**



*Fotografía 01.* Sistema agroforestal evaluado



*Fotografía 02.* Delimitación de parcelas de 4m x 25m.



*Fotografía 03.* Medición del DAP en eucalipto.



*Fotografía 04.* Medición del DAP en café



*Fotografía 05.* Recolección de muestras de biomasa arbustiva-herbácea



*Fotografía 06.* Recolección de muestras de suelo

Anexo C

Resultados de análisis fisicoquímico de suelos en laboratorio

1. Resultados de análisis de suelo de la parcela I



**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS - ESTACION EXPERIMENTAL DE NUEVA CAJAMARCA**  
 Av. Cajamarca Norte N° 1151, Los Olivos IV Etapa - Distrito de Nueva Cajamarca  
 Provincia de Rioja, San Martín. Teléfono 556443



RESULTADO DE ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION

NOMBRE : PAUL JHONATAN HURTADO HERNANDEZ  
 PROCEDENCIA : Tumbaro, Naranjillo, Nueva Cajamarca  
 FECHA DE INGRESO : 31-Ene-19  
 3 RESERVA DE BIOMASA Y CAPTURA DE CARBONO DE UN SISTEMA AGROFORESTAL DE CAFÉ Y EUCALIPTO

PROFUNDIDAD : 0 - 30 cm  
 FECHA DE REPORTE : 7-Feb-19  
 CULTIVO : Café  
 ATENCION : Boleta de Venta N° 0001-000991 de 04 de Febrero

Nro	CLAVE LABORATORIO	CLAVE CAMPO	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis Físico						Análisis Químico												
				Textura			Clase Textural	Densidad Apparente	pH	Conductividad Eléctrica dS/m	Carbonatos %	Materia Orgánica %	Elementos Disponibles			Capac. de Intercambio Catiónico	Elementos Cambiables					Saturación de Al %
				Arena %	Arcilla %	Limo %							N %	P ppm	K ppm		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	
1	ASC19 - 0022	Muestra 1 Tesis	Paul Jhonatan Hurtado Hernández	52.44	12.40	35.16	Franco Arenoso	1.50	4.70	0.00068	-	2.660	0.120	8.40	72.31	6.53	2.00	0.30	0.09	0.19	4.00	60.3%

METODOLOGIA EMPLEADA EN LOS ANALISIS:

- Textura : Hidrómetro de Bouyoucos
- Materia Orgánica Total : Carbono Orgánico Total x 1.724
- Sodio y Potasio : Fotometría de Llama
- pH : Potenciómetro en suspensión suelo: agua
- Nitrógeno : Micro Kjeldahl
- Calcio y Magnesio : Versenat E.O.T.A
- Conductividad Eléctrica : Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1
- Fósforo : Olsen Modificado
- Aluminio cambiante : Yuan, extracción con KCl 1N
- Carbono Orgánico Total : Por calcinación a 400° C x 3 horas
- Capacidad de Intercambio Catiónico : Suma de Bases cambiables
- Acidez Activa : Yuan, extracción con KCl 1N

VB\* Ing Carlos Egoavil De la Cruz  
 C.I.P. N° 32743

Gleider Ruiz Flores  
 Laboratorista de Suelos







**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS - ESTACION EXPERIMENTAL DE NUEVA CAJAMARCA**  
 Av. Cajamarca Norte N° 1151, Los Olivos IV Etapa - Distrito de Nueva Cajamarca  
 Provincia de Rioja, San Martín Teléfono 556443



**RESULTADO DE ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION**

NOMBRE : PAUL JHONATAN HURTADO HERNANDEZ PROFUNDIDAD : 0 - 30 cm  
 PROCEDENCIA : Tumbaco, Naranjillo, Nueva Cajamarca FECHA DE REPORTE : 7-Feb-19  
 FECHA DE INGRESO : 31-Ene-19 CULTIVO : Café  
 5 RESERVA DE BIOMASA Y CAPTURA DE CARBONO DE UN SISTEMA AGROFORESTAL DE CAFÉ Y EUCALIPTO ATENCION : Boleta de Venta N° 0001-003961 del 04 de Febrero

Nro	CLAVE LABORATORIO	CLAVE CAMPO	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis físico						Análisis Químico												
				Textura			Clase Textural	Densidad Aparente	pH	Conductividad Eléctrica	% Carbonatos	Materia Orgánica	Elementos Disponibles			Capac. de Intercambio Catiónico	Elementos Cambiables					
				Arena %	Arcilla %	Limo %							N %	P pom	K pom		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	Saturación de Al %
1	ASC19 - 0024	Muestra 3 Tesis	Paul Jhonatan Hurtado Hernández	50.48	12.40	37.12	Franco	1.50	4.50	0.00095	-	3.789	0.170	20.00	29.87	8.93	1.92	0.29	0.14	0.08	6.50	72.8%

**METODOLOGIA EMPLEADA EN LOS ANALISIS:**

- |  |   |  |
|--|---|--|
| Textura : Hidrómetro de Bouyoucos  | Materia Orgánica Total : Carbono Orgánico Total x 1.724       | Sodio y Potasio : Fotometría de Llama            |
| pH : Potenciómetro en suspensión suelo: agua                             | Nitrógeno : Micro Kjeldahl                                    | Calcio y Magnesio : Versenato E.D.T.A            |
| Conductividad Eléctrica : Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 | Fósforo : Olsen Modificado                                    | Aluminio cambiable : Yvan, extracción con KCl 1N |
| Carbono Orgánico Total : Por calcinación a 400° C x 3 horas              | Capacidad de Intercambio Catiónico : Suma de Bases cambiables | Acidez Activa : Yvan, extracción con KCl 1N      |

VºBº Ing. Carlos Egozabal de la Cruz  
 C.I.P. N° 32743

Gleoder Luis Flores  
 Laboratorio de Suelos

