



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**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**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Bertin Alexander Odar Rojas

ASESOR:

Ing. M. Sc. Wagner Guzmán Castillo

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**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**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Bertin Alexander Odar Rojas

ASESOR:

Ing. M. Sc. Wagner Guzmán Castillo

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas, a mi padre y mis hermanos por su cariño, cuidados y regaños. A toda la población de Vilaya por brindarme los conocimientos y la oportunidad de aprender mucho más con ellos. A mis amigos y ex compañeros de universidad por incitarme a seguir adelante con este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a:

Mi asesor, Ing. M. Sc. Wagner Guzmán Castillo, por su paciencia, sus valiosas enseñanzas y orientación durante la realización de este trabajo.

A los dueños de las parcelas agrícolas del Anexo de Vilaya que permitieron realizar el trabajo a pesar de las dificultades y pérdidas que éste suponía para ellos.

A todas las personas que me ayudaron con los trabajos en campo y que me guiaron por todas las zonas del Anexo.

A mi gran amigo, Alddrin Alexis Alvis Yarleque, por brindarme un GPS para la toma de puntos y referenciación de los terrenos agrícolas.

Al Laboratorio de Fitopatología y Entomología del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (INDES-CES), por brindarme el acceso para el uso de sus equipos y en especial al Ing. Pedro Mancilla, por orientarme en la fase de laboratorio de este trabajo.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

Vicerrectora de Investigación

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

En mi calidad de docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, yo Ing. M. Sc. Wagner Guzmán Castillo, que suscribo, hago constar que he asesorado la elaboración y ejecución de la tesis titulada “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” del tesista, Bertin Alexander Odar Rojas, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM-Amazonas.

Chachapoyas, 23 de mayo del 2018

Ing. M. Sc. Wagner Guzmán Castillo

Asesor

JURADO EVALUADOR

Dra. CÁSTULA ALVARADO CHUQUI

Presidente

Dra. MARTHA STEFFANY CALDERÓN RÍOS

Secretario

Dr. DANILO EDSON BUSTAMANTE MOSTAJO

Vocal

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Bertin Alexander Odar Rojas, identificado con DNI 72767878, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:

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.

La misma que presento para obtener el:

Título de Ingeniero Ambiental

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las cuentas consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada.

Chachapoyas, 23 de mayo del 2018

Bertin Alexander Odar Rojas

DNI N° 72767878

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR	vi
JURADO EVALUADOR	vii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	viii
TABLA DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
III. MARCO TEÓRICO	5
3.1. Antecedentes de la investigación	5
3.2. Bases teóricas	8
3.3. Definición de términos básicos	13
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	14
4.1. Área de estudio	14
4.2. Procedimiento	18
4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	20
V. RESULTADOS	22
5.1. Tipicación del productor y sistemas de producción agrícola	22
5.2. Regresión y modelos matemáticos	24
5.3. Biomasa y stock de carbono	26
5.4. Carbono vegetal total	30
VI. DISCUSIÓN	31
VII. CONCLUSIONES	35
VIII. RECOMENDACIONES	36
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
X. ANEXOS	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café.....	5
Tabla N° 02: Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café.....	6
Tabla N° 03: Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca.....	7
Tabla N° 04: Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín, Perú.....	7
Tabla N° 05: Stock de carbono en plantaciones de café agroforestales con diferentes árboles de sombra en Villa Rica, Perú	8
Tabla N° 06: Variables sexo, grado de instrucción, accesibilidad, Otros cultivos predominantes - presencia en los terrenos y Árboles asociados - presencia en los terrenos.....	23
Tabla N° 07: Estadística descriptiva para los factores cuantitativos sociales y económicos.....	24
Tabla N° 08: Estadística descriptiva de las variables consideradas en la medición de plantas de café catimor.....	24
Tabla N° 09: Modelos estadísticos probados para la estimación de biomasa total para café.....	25
Tabla N° 10: Cantidad de carbono y biomasa almacenada en el sustrato aéreo arbóreo.....	26
Tabla N° 11: Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea del café.....	26
Tabla N° 12: Inventariado del número de plantas de café por área medida.....	27
Tabla N° 13: Biomasa y almacenamiento de carbono en hojarasca.....	28
Tabla N° 14: Biomasa y almacenamiento de carbono en maleza.....	29
Tabla N° 15: Porcentaje de carbono y nutrientes en el suelo.....	29
Tabla N° 16: Carbono vegetal total en los sistemas.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Mapa de ubicación geográfica del proyecto.....	15
Figura N° 02: Mapa de ubicación de terrenos agrícolas.....	16
Figura N° 03: Relación y tendencias de regresión entre el DAP y la biomasa seca total.....	25
Figura N° 04: Carbono almacenado en hojarasca.....	27
Figura N° 05: Carbono almacenado en maleza.....	28
Figura N° 06: Gráfica de dispersión generada por el % C y % Nitrógeno.....	30

RESUMEN

Este estudio evalúa 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, incluyendo café (*Coffea spp.*), guaba (*Inga spp.*) y pashaco (*Schizolobium spp.*). Se consideró cuatro componentes de almacenamiento: biomasa aérea viva (árboles y café), suelo, hojarasca y maleza. Para estimar la cantidad de biomasa se usó el método directo a través de la fragmentación, peso seco y peso húmedo de cada uno de sus componentes. Para el café se estableció una ecuación alométrica: $B_{(kg)} = 14.928 - 5.319(DAP) + 0.598(DAP)^2 - 0.019(DAP)^3$, que relaciona a la biomasa aérea seca con el diámetro de la planta, considerando un coeficiente de determinación de 0.947. Los resultados muestran que los sistemas de café-guaba-pashaco almacenaron 26.922 tn C/ha, mientras que los de café-guaba, 16.305 tn C/ha en la biomasa aérea. Adicionalmente, se observó la existencia de correlación altamente significativa entre el porcentaje de carbono del suelo y el porcentaje de nitrógeno (índice de correlación de $r = 0.989$). 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%.

Palabras clave: Almacenamiento de carbono, carbono, ecuación alométrica, sistemas agroforestales de café.

ABSTRACT

This study evaluates the storage of air carbon and percentage of soil carbon in coffee polycultures with different shade trees in land located in the Vilaya Annex, including coffee (*Coffea spp.*), guaba (*Inga spp.*) and pashaco (*Schizolobium spp.*). Four storage components were considered: living aerial biomass (trees and coffee), soil, leaf litter and weeds. To estimate the amount of biomass, the direct method was used through the fragmentation, dry weight and wet weight of each of its components. For coffee an allometric equation was established: $B_{(kg)} = 14.928 - 5.319(DAP) + 0.598(DAP)^2 - 0.019(DAP)^3$, which relates to the dry aerial biomass with the diameter of the plant, considering a coefficient of determination of 0.947. The results show that the coffee-guaba-pashaco systems stored 26.922 tn C/ha, while the coffee-guaba systems, 16.305 tn C/ha in the aerial biomass. Additionally, the existence of a highly significant correlation between the percentage of soil carbon and the nitrogen percentage was observed (correlation index of $r = 0.989$). Finally, the coffee-guaba-pashaco systems presented a percentage of 2.58% of carbon in the soil, while those of café-guaba, 2.51%.

Key words: Carbon storage, carbon, allometric equation, coffee agroforestry systems.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los principales problemas producido por el sobrecalentamiento del planeta (Osorio & Segura, 2014). Se ha acentuado en los últimos 50 años y la repercusión se traduce, fundamentalmente, en cambios en la temperatura, humedad (González *et al.*, 2013) y en los procesos de radiación solar (Porto, 2009). Dichos fenómenos han contribuido al aumento del nivel del mar, derretimiento del hielo de los glaciares y las evaporaciones asociadas. En la actualidad, el incremento de la temperatura media global debido al cambio climático se prevé en 0.13°C cada década (IPCC, 2007) y si continua a este ritmo se estima que en el 2030 el incremento de la temperatura será de alrededor de 3°C, y de alrededor de 3.5°C hacia fines del siglo (Coria, 2016). Esta elevada tasa de calentamiento excederá la tasa crítica de adaptación que puedan soportar ciertos tipos de ecosistemas (FAO, 2016).

El cambio climático ha sido causado fundamentalmente por el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Maqueda *et al.*, 2005). La emisión de gases de efecto invernadero ha aumentado exponencialmente en los últimos años y está afectando al medio ambiente global (Echevarri, 2006). La principal causa de esta afección son los vastos volúmenes de gases provenientes de las actividades humanas (Meléndez *et al.*, 2013). Las actividades relacionadas con el incremento en las emisiones son el sector energético, que representa el 26% del total, seguido del sector industrial (19%), forestal (17%), agrícola (14%), residencial y comercial (8%) y el manejo de desechos (3%), dichas actividades emiten a nivel mundial principalmente dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (IPCC, 2013). El incremento de la emisión de éstos y otros gases son los que están alterando el grado de concentración en la atmósfera y generando efectos negativos en el planeta (Díaz, 2012).

Por su efecto nocivo, el CO₂ es el gas de efecto invernadero de mayor importancia en lo que respecta al calentamiento global (Lok *et al.*, 2013), debido principalmente a su gran contribución en la emisión mundial y al efecto que tiene en el medio ambiente. En el periodo comprendido entre 1970 y 2004, las emisiones de éste gas aumentaron en un 80%, incrementándose de 21 a 38 gigatoneladas en la atmósfera terrestre (Garzón & Cárdenas, 2013), sin embargo, en la actualidad, se producen alrededor de 6.5 gigatoneladas de CO₂ por año, con un crecimiento del 3% anual (Medina, 2010), siendo las actividades relacionadas con el uso de combustibles fósiles para la producción de energía, los principales causantes

de dichas emisiones, seguidas por el cambio de uso de suelo, la deforestación y la silvicultura (Ramírez *et al.*, 2012).

La agricultura, es la cuarta actividad responsable de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo (Santillán *et al.*, 2016). Esta actividad utiliza todos los medios necesarios para maximizar los rendimientos, en consecuencia, también los beneficios. No obstante, las repercusiones son importantes al medio ambiente debido a que se sobreexplota los recursos naturales (Figuroa *et al.*, 2011). El efecto invernadero siempre ha mantenido las temperaturas semiconstantes en la tierra. Sin embargo, la intervención del hombre ha incrementado las concentraciones de los gases con el paso del tiempo (IPCC, 2007). Las actividades agrícolas y las emisiones de gases de efecto invernadero que producen, pueden ser muy significativos, al reducir la productividad y fertilidad de los suelos cultivados (Paustian *et al.*, 2000), tanto las actividades de agricultura intensiva como de expansión producen degradación y emisiones de gases de efecto invernadero (FAO, 2014).

A pesar que la actividad agrícola es la responsable del 14% de emisiones de gases de efecto invernadero, alberga también sumideros de carbono (Garzón & Cárdenas, 2013), principalmente en forma de sistemas agroforestales (Fernández *et al.*, 2016). Los sistemas agroforestales surgen de la integración de árboles y/o animales dentro de los terrenos de cultivo (Balaba & Byakagaba, 2015) y en la actualidad son considerados como una gran alternativa para atenuar los graves efectos del cambio climático (Pocomucha *et al.*, 2016), ya que reúnen las condiciones adecuadas con respecto a la agricultura intensiva, pues están menos alterados que los cultivos anuales (Fernández *et al.*, 2016). Además, sus beneficios también se basan en el uso eficiente de los recursos, la productividad, la seguridad alimentaria de las comunidades rurales y por presentar la mejora de las condiciones de los suelos en aquellas zonas donde la degradación ha aumentado producto de la expansión de la frontera agrícola (Mazo *et al.*, 2016).

Los sistemas agroforestales constituyen una estrategia climática importante, debido a su contribución en la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, especialmente el CO₂ (Alvarado *et al.*, 2013). Estos sistemas almacenan el CO₂ en el suelo, en forma de carbono orgánico, y en la biomasa aérea, fundamentalmente en las hojas (Andrade & Ibrahim, 2003). Sin embargo, también son capaces de utilizar sus estructuras leñosas para guardar los gases en forma de carbono por periodos prolongados (Concha *et al.*, 2007), amortiguando de este modo la presión sobre los ecosistemas

vulnerables (Casanova *et al.*, 2011) y ofreciendo servicios ambientales como una opción de mitigación frente al cambio climático (Bautista & Villagaray, 2011).

Los sistemas agroforestales de café, por su parte, tienen un gran potencial para capturar carbono en relación a los monocultivos. La cantidad secuestrada depende, fundamentalmente, de los tipos de especies de árboles usados para el sombreado (Balaba & Byakagaba, 2015). Estos sistemas constituyen una estrategia importante de fijación para aquellos paisajes de naturaleza agrícola que han perdido su cobertura forestal original (Ehrenbergerová *et al.*, 2015). Además, los sistemas agroforestales de café de baja intensidad de gestión, también colaboran en el almacenamiento de carbono debido a la presencia de plantas leñosas (Beenhouwer *et al.*, 2016), las cuales pueden ser usadas en el pago por servicios ecosistémicos y así disminuir los impactos ambientales generados actualmente (Mena *et al.*, 2011).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea spp.*) en el Anexo de Vilaya, provincia de Luya, región Amazonas, Perú.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la capacidad de acumulación de carbono en la biomasa de las plantas (hojas, ramas y fuste) y necromasa (hojarasca y malezas) en los sistemas de policultivo de café.
- ✓ Determinar la acumulación de carbono orgánico en el suelo de los sistemas de policultivo de café.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

- ✓ Andrade *et al.*, (2014) evaluaron la fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café, en el Libano, Tolima, Colombia. El almacenamiento fue estudiado en sistemas de monocultivo, sistemas agroforestales con plátano, sistemas agroforestales con nogal cafetero y sistemas agroforestales con caucho. La forma de determinación fue de manera indirecta, usando ecuaciones alométricas. Para ello establecieron parcelas de muestreo para medir los diámetros del tallo en cafetos y árboles y la altura del árbol en los cafetos. La biomasa aérea fue determinada mediante modelos disponibles para dichas especies. La tasa media de fijación de carbono para sistemas agroforestales con nogal fue el más alto, alcanzando los 4.37 tn C/ha.año. En el estudio se identificó también que los árboles con dosel de sombra representaron el componente de almacenamiento de carbono más importante con 3.57 y 1.20 tn C/ha.año para el nogal y caucho respectivamente, dándose una fijación mayor para los sistemas agroforestales que proyectaban un nivel de sombra del 33%. Los resultados por cada sistema se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 01: Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café.

Sistemas	Edad de la plantación (años)	Carbono en la biomasa aérea (tn C.ha ⁻¹)
Café – Nogal	8.4	36.7
Café – Caucho	14.6	22.9
Café - Plátano	2.1	1.3
Café en monocultivo	3.5	2.2

Fuente: Andrade *et al.*, (2014)

- ✓ Espinoza *et al.*, (2012) estimaron el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con base en café (*Coffea arabica*) en la región de Huatusco, estado de Veracruz, México. Para ello evaluó los sistemas de café-plátano, café-macadamia, café-cedro rosado, café-ganado ovino y café-chalahuite, además también incluyó un potrero con pradera natural y un bosque primario, como

referencias de condiciones no forestales. En cada uno de los sistemas agroforestales estimó los reservorios de carbono en biomasa vegetal y el carbono orgánico edáfico. El muestreo de suelo fue realizado a una profundidad de 0 a 30 cm. En el caso de la biomasa de la vegetación herbácea y mantillo, las muestras fueron colectadas y evaluadas en parcelas de 4x25 m². Para la determinación del carbono aéreo usó modelos alométricos, y según los resultados obtenidos, los sistemas que presentaron mayor almacenamiento fueron el bosque primario y café-cedro rosado. En conclusión, los sistemas agroforestales almacenaron, en promedio, 110 tn C.ha⁻¹. Los datos numéricos del estudio se muestran en la tabla N° 02.

Tabla N° 02: Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café.

Sistema	Carbono en la biomasa aérea (tn C.ha⁻¹)	Carbono orgánico en el suelo (tn C.ha⁻¹)	Carbono total (tn C.ha⁻¹)
Café-plátano	28	73	101
café-macadamia	35	50	85
café-cedro rosado	114	58	172
café-ganado ovino	3	62	65
café-chalahuite	31	54	85
Potrero	2	50	52
Bosque primario	269	86	355

Fuente: Espinoza et al., (2012)

A nivel nacional

- ✓ Cabrera *et al.*, (2016) estudiaron el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en las provincias de Jaén y San Ignacio, en la región de Cajamarca, Perú. Se trabajó con 32 sistemas agroforestales cafetaleros con sombra diversificada, trabajando con parcelas de muestreo de 20 m x 30 m. El estudio evaluó la biomasa aérea viva de árboles y café, hojarasca y suelo. Para estimar la biomasa aérea viva del café usó el método directo, mediante la extracción y fragmentación de cada uno de sus componentes. Para los árboles usó el método indirecto, a partir de ecuaciones alométricas establecidas, sin embargo para el caso del café tomó una ecuación alométrica referencial. Para la evaluación de la hojarasca estableció áreas de 1 m² dentro de cada parcela. Los muestreos de suelos los llevó a cabo a partir de calicatas de 0.30 m de profundidad.

Tabla N° 03: Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca

Carbono promedio almacenado (tn C.ha ⁻¹)				Componente agroforestal total (tn C.ha ⁻¹)
Café	Árboles	Hojarasca	Carbono orgánico de suelos	76.49
6.38	28.16	0.93	43.66	

Fuente: Cabrera *et al.*, (2016)

- ✓ Díaz *et al.*, (2016) cuantificó el carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, en cinco sistemas de uso de la tierra: Bosque primario, bosque secundario, pijuayo (*Bactris gasipaes*), cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea arabica*) en la región San Martín, Perú. Para ello instaló tres transectos de 100 m² (4 m x 25 m), en cada sistema. Evaluó la biomasa aérea viva, la hojarasca y el suelo (0 - 30 cm). Tanto el bosque primario como el bosque secundario superaron por 20 veces más a los demás sistemas estudiados. En el componente suelo, el bosque secundario tuvo un total de carbono almacenado de 113.94 tn C ha⁻¹, 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 (Tabla N° 04). En general determinaron que los monocultivos de café almacenan 74.54 tn C.ha⁻¹. Sus resultados indicaron, además, que el cambio de bosques a plantaciones y de una sola especie, disminuyen la capacidad de capturar carbono.

Tabla N° 04: Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín, Perú.

Componentes del estudio	Sistemas				
	Bosque primario	Bosque secundario	Pijuayo	Cacao	Café
Carbono en biomasa aérea (tn C.ha ⁻¹)	300.27	275.73	13.90	11.92	2.35
Carbono en hojarasca (tn C.ha ⁻¹)	5.39	7.11	8.78	5.54	15.53
Total de carbono en la biomasa aérea (tn C.ha ⁻¹)	305.66	282.84	22.68	17.46	17.88
Carbono orgánico en el suelo (tn C.ha ⁻¹)	93.12	113.94	49.54	55.45	56.76
Carbono total (tn C.ha ⁻¹)	398.78	396.78	72.22	72.91	74.54

Fuente: Díaz *et al.*, (2016)

- ✓ Ehrenbergerová *et al.*, (2015) evaluaron el almacenamiento de carbono en el suelo y las plantaciones agroforestales de café con diferentes árboles de sombra, incluyendo *Inga spp.*, *Pinus spp* y *Eucalyptus spp.*, ubicadas en las estribaciones de los Andes peruanos, en Villa Rica, Perú. Estos sistemas agroforestales fueron comparados con una plantación de árboles de café sin sombra de árboles. Para la estimación de la biomasa para árboles y arbustos de café usó ecuaciones alométricas. El carbono orgánico del suelo fue evaluado a una profundidad de 30 cm y la hojarasca mediante análisis de laboratorio. Los resultados generales fueron obtenidos en base a repeticiones; es decir, la biomasa por árbol (Tabla N° 05).

Tabla N° 05: Stock de carbono en plantaciones de café agroforestales con diferentes árboles de sombra en Villa Rica, Perú.

Especie dominante	Carbono total (tn C.ha⁻¹)	Carbono en el suelo (%)	Carbono en los árboles (%)	Carbono en hojarasca (%)
<i>Inga spp.</i>	119,9 ± 19,5	69	29	2
<i>Pinus spp.</i>	177,5 ± 14,1	57	40	3
<i>Eucalyptus spp.</i>	162,3 ± 18,2	59	39.5	1.5
Café en monocultivo	99,7 ± 17,2	99	0.2	0.8

Fuente: Ehrenbergerová *et al.*, (2015)

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Stock y flujos de carbono en los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales, son los principales sumideros de CO₂, fundamentalmente, porque tienen la capacidad de almacenar en promedio 95 tn C, mitigando la problemática del cambio climático, generando al sistema bienes y servicios y evitando que se incurra en la práctica de la deforestación (Isaza & Cornejo, 2015). Los árboles, son la base de estos sistemas y juegan un papel importante en el ciclo global del carbono. Cuando la planta crece, progresivamente acumula CO₂ y lo convierte en biomasa (Corral *et al.*, 2006). Se ha estimado que una superficie total de 585 a 1 215 millones de hectáreas con manejo agroforestal tiene potencial para capturar y almacenar de 1.1 a 2.2 Pg de carbono en vegetación y suelos, durante un periodo de 50 años

(Dixon, 1995) y se considera que los 400 millones de hectáreas bajo sistemas agroforestales que existían en el año 2004 tenían el potencial para secuestrar carbono por un millón de toneladas para el año 2040 (Montagnini & Nair, 2004).

Por otro lado, la conversión de los bosques para su uso en actividades agrícolas, tal como sucede con algunos sistemas agroforestales, contribuyen con aproximadamente el 20% de las emisiones contemporáneas de carbono a nivel mundial (Parry *et al.*, 2007), dichas emisiones se establecen fundamentalmente por la presencia de algunos materiales en descomposición que se encuentran dentro del sistema (Gibbs *et al.*, 2007) y además, por el uso de ciertos abonos (Umaña & Pulgarín, 2013). De manera adicional, la utilización de especies inadecuadas de árboles para sombrero en plantaciones fertilizadas, también contribuye en la producción de gases asociados al efecto invernadero (Beer *et al.*, 1998)

3.2.2. La captura de carbono en los sistemas agroforestales y los pagos por servicios ambientales

La cantidad de carbono almacenada 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 (Nair *et al.*, 2009) y una apreciable cantidad también es almacenada directamente en el suelo en forma de carbono orgánico (Mena *et al.*, 2011), a través de la incorporación de la materia orgánica, que posteriormente es objeto de procesos de descomposición o degradación por parte de los microorganismos (Martínez *et al.*, 2008).

La acumulación de carbono secuestrado es más evidente en la biomasa de árboles y arbustos. Las cantidades de almacenamiento de carbono en la biomasa dependen de la proporción de árboles presentes y del tamaño del árbol (Montagnini & Nair, 2004). Durante la primera fase de desarrollo del sistema agroforestal es evidente que el componente herbáceo y arbustivo son los más dominantes, sin embargo, la biomasa de los árboles a largo plazo es el componente más predominante en el almacenamiento (Timoteo *et al.*, 2016), al incrementarse con la edad y permitir la fijación y la incorporación

de carbono en la biomasa para que este pueda llegar incluso al suelo (Farfán, 2007).

En este sentido, algunos autores expresan que el almacenamiento de carbono puede variar entre 20 y 204 tn C.ha⁻¹, estando una gran cantidad almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos anuales que pueden variar entre 1.8 y 5.2 tn.ha⁻¹ (Ibrahim *et al.*, 2005a). Es así que las reservas de carbono en el suelo en sistemas agroforestales representan el 60% del carbono total en los primeros años de establecimiento de la plantación (Timoteo *et al.*, 2016). Este factor depende de la materia orgánica, en cuya evolución actúan principalmente el ingreso de residuos, el tipo de vegetación presente y la composición química de los materiales (Stevenson, 1994).

La importancia de los sistemas agroforestales como reservorios de carbono en el tiempo depende de muchos factores, entre ellos destacan la finalidad para la cual se hayan diseñado, las condiciones ambientales bajo las que se desarrollan y principalmente la productividad (Montagnini & Nair, 2004). En este último, la agroforestería presenta un alto potencial para aumentar y mantener la productividad de los suelos, este potencial promueve una serie de características, como la estratificación en el uso de recursos, efectos en el microclima, reciclaje de nutrientes, protección a la estructura de los suelos, facilita los ciclos biogeoquímicos y la diversificación de la producción agropecuaria (Aguilera, 2016).

Los sistemas agroforestales bien diseñados y bien manejados son tecnologías relevantes, ya que incrementan la producción y generan servicios ambientales (Mena *et al.*, 2011). Los pagos por servicios ambientales asocian dos problemáticas que se expresan a diferentes escalas territoriales, políticas y sociales, y con responsabilidades también diferenciadas: una, el cambio ambiental global, derivado de la acumulación de gases invernadero en la atmósfera, históricamente emitidos por países industrializados; y dos, la escasez de financiamiento en áreas rurales campesinas de ciertos países para el establecimiento de sistemas de producción alternativa, que sean ambiental y socialmente sustentables (Ruiz, 2013). Sin embargo, para poder establecer dichos pagos es necesario evaluar la captura y conocer el almacenamiento de carbono en el follaje, tallos, sistema radicular, en el tejido leñoso de troncos,

ramas de los árboles y en el suelo de los sistemas agroforestales (Orozco *et al.*, 2014).

3.2.3. Los cultivos y sistemas agroforestales de café

Los principales productores de café en el mundo son: Brasil (34.4%), Vietnam (16.9%), Indonesia (8.8%), Colombia (6.7%), y en octavo y noveno puesto se encuentran Perú (3%) y México (2.9%), respectivamente (ICC, 2014). El área ocupada por el cultivo del café en todo el mundo es de 13.2 millones de km² (Cardenas, 2007), siendo las especies de mayor importancia comercial la robusta (*Coffea canephora*) y el arábigo (*Coffea arabica*) con el 63% y 37% de la producción mundial, respectivamente (Jiménez & Massa, 2015). En el Perú, la mayor producción nacional es el café pergamino (*Coffea arabica*) con 21 000 toneladas, cifra obtenida en el periodo enero-marzo del año 2016 (MINAGRI, 2016).

Según la Organización Internacional de Café (ICO), en el año 2015 el consumo civil de café a nivel mundial se situó en 152.1 millones de sacos (peso unitario de 60 kg) lo que representó un aumento con respecto a los 150.3 millones del 2014. De esta manera, la tasa anual de crecimiento en los cuatro últimos años siguió siendo de un sólido 2%. Lo cual demostró que el aumento de áreas para el cultivo en el mundo seguía en crecimiento (ICO, 2016).

El café tradicionalmente ha sido cultivado bajo la sombra de los árboles en sistemas agroforestales complejos (Jezeer & Verweij, 2015). En la mayoría de países latinoamericanos no se cuenta con grandes infraestructuras de riego y estos dependen exclusivamente de la lluvia (Isaza & Cornejo, 2015). Frente a esta problemática, la sombra para el cultivo de café representa un contrapeso positivo, ya que genera grandes beneficios productivos y ecológicos (Guzmán *et al.*, 2016). Sin embargo, la ICO, reconoce que el sector cafetalero a nivel mundial enfrenta grandes retos debido al fenómeno del cambio climático (ICO, 2016).

Los sistemas agroforestales de café, en relación al concepto de la Convención Marco de las Naciones Unidas, son sistemas de cultivo ambientalmente amigables por su capacidad de fijación de carbono (Soto *et al.*, 2010), que se da porque son cultivos perennes y mantienen un manejo adecuado (Espinoza *et al.*, 2012). Esta acumulación es consecuente en sistemas con árboles de

sombra (Andrade *et al.*, 2014). La estrategia de la incorporación de árboles es un mecanismo de desarrollo limpio, que puede ser incentivado a través de bonos solidarios de carbono en estos tipos de sistemas (Orozco *et al.*, 2014) y de esta manera también contribuir en la fijación de carbono atmosférico en los suelos (Alvarado *et al.*, 2013).

3.2.4. Formas de estimar la captura de carbono en sistemas agroforestales

Estimar el total de carbono almacenado en sistemas agroforestales puede resultar tedioso por las variables que es necesario evaluar, entre ellos: carbono en biomasa, necromasa, suelo y raíces. Sin embargo, en la actualidad se suelen considerar sólo los tres primeros debido a la complejidad para determinar el total de carbono almacenado en raíces (Andrade & Ibrahim, 2003).

- **Carbono en la biomasa:** Existen dos métodos para medir y estimar la biomasa arbórea sobre el suelo: el método directo y el indirecto. El método directo (o destructivo) utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa, consiste en cortar uno o más individuos (árboles), determinar la biomasa por medio del peso directo de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas) y extrapolar los resultados para el área total. El método indirecto consiste en utilizar ecuaciones o factores de expansión que permitan relacionar algunas dimensiones básicas obtenidas en campo (generalmente el diámetro a 1.3 m de altura y la altura total del árbol) con características de interés. Por ejemplo, se puede utilizar una ecuación alométrica que permita calcular la biomasa total de un árbol mediante la medición de su diámetro. Estas ecuaciones son generadas por medio de una técnica estadística llamada análisis de regresión (Rügnitz *et al.*, 2009).
- **Carbono en el suelo:** Se mide generalmente a 30 cm de profundidad en forma de carbono orgánico. Sin embargo, los proyectos no le prestan la atención requerida, ya que las negociaciones de carbono actuales no incluyen este componente, debido a que no es tan visible como la biomasa por encima del suelo (Andrade & Ibrahim, 2003).

- **Carbono almacenado en hojarasca y malezas:** La cuantificación de este componente es relativamente sencilla y consiste en el pesaje de todo el material vegetal encontrado en marcos, y la toma de una muestra para transformar estos valores de materia seca (MacDiken, 1997).

3.3. Definición de términos básicos

- **Sistemas agroforestales:** Los sistemas agroforestales son sistemas complejos de uso de la tierra ampliamente practicado, en el que los árboles se combinan espacial y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas (Ortiz & Riascos, 2006).
- **Monocultivo:** Cultivos forestales de una sola especie de edades similares (FAO, 2012)
- **Captura de carbono:** Consiste en capturar y almacenar carbono atmosférico en sumideros de carbono, por ejemplo: océanos, vegetación o suelos, a través de procesos físicos y biológicos (Ibrahim *et al.*, 2005b).
- **Café:** Es una semilla que procede del árbol o arbusto del cafeto, miembro de la familia Rubiaceae que crece en climas cálidos y cuyo cultivo se extiende a tiempos relativamente próximos (Echeverri & Cols, 2005).
- **Fuste:** Tronco de un árbol que alcanza un grosor notable de manera que de él pueden obtenerse trozas, rollos para chapa o postes de gran tamaño (FAO, 1996).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

4.1.1. Ubicación

El estudio se realizó en el Anexo de Vilaya, que pertenece políticamente al distrito de Colcamar y geográficamente al distrito de Ocumal en la provincia de Luya, región Amazonas. El distrito de Ocumal está conformado por 39 centros poblados, limita por el norte con el distrito de Ocalli; por el este con el distrito de Inguilpata y el distrito de Colcamar; por el sur con el distrito de Pisuquia; por el oeste con el departamento de Cajamarca y; por el noroeste con el distrito de Providencia (Figuras N° 01 y 02).

El distrito de Ocumal abarca una superficie de 235.86 km² y su capital es el pueblo de Collonce.

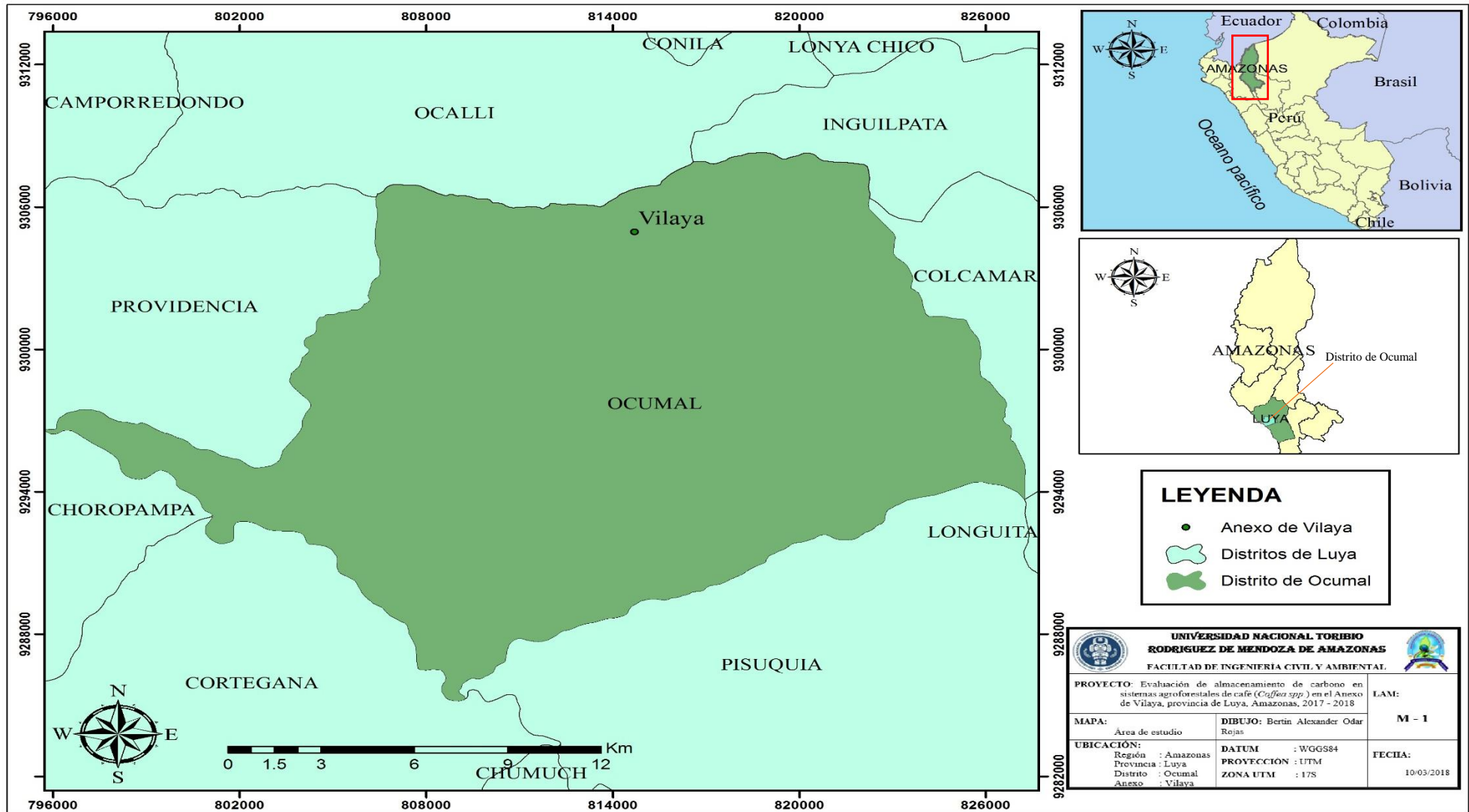


Figura N° 01: Mapa de ubicación geográfica del proyecto

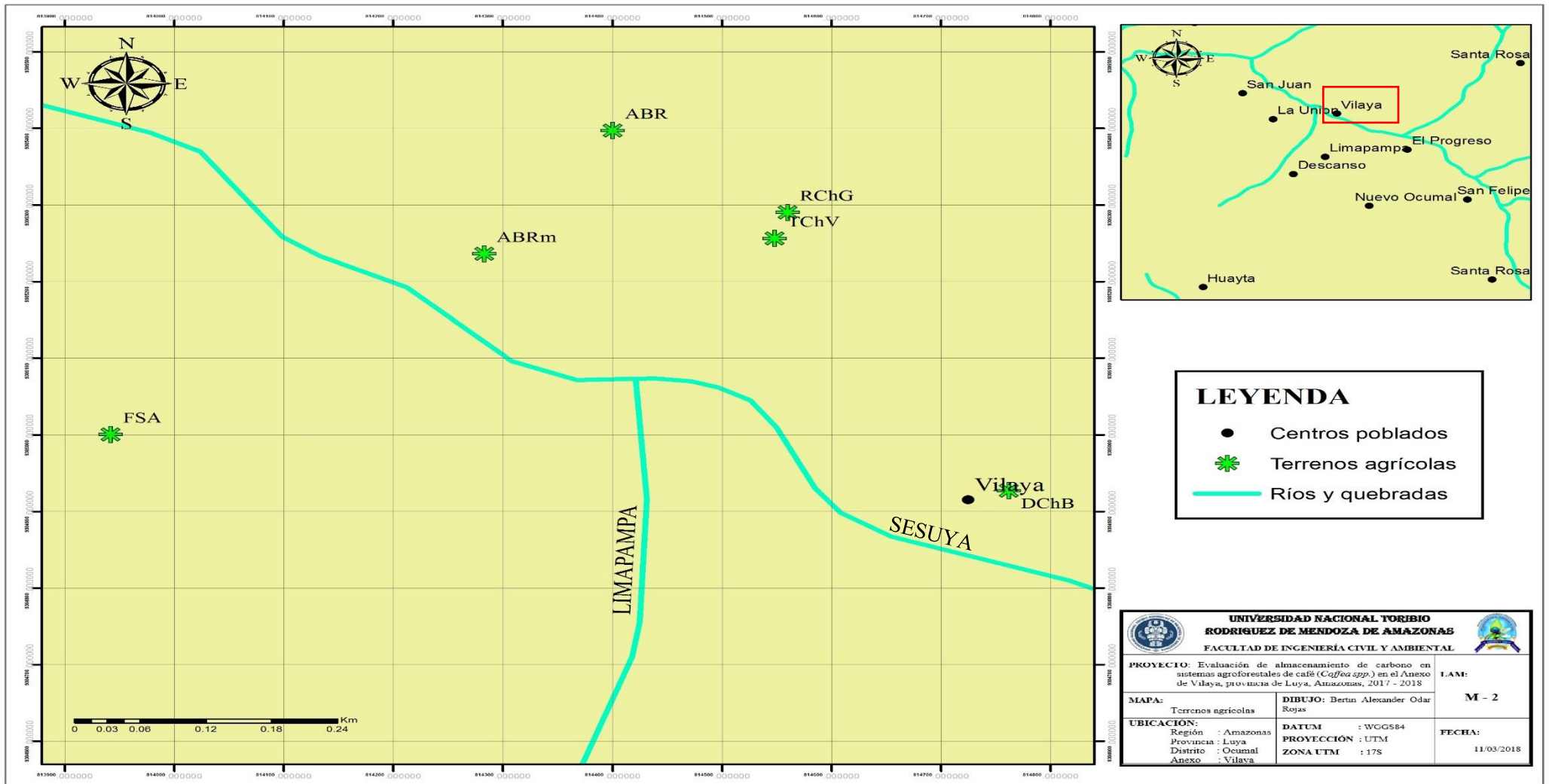


Figura N° 02: Mapa de ubicación de terrenos agrícolas

4.1.2. Población, muestra y muestreo

Población: Estuvo conformada por 12 policultivos de café (café-guaba y café-guaba-pashaco) del anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya.

Muestra: Se seleccionaron tres fincas agrícolas con manejo de café-guaba-pashaco y tres de café-guaba. Para cada finca se seleccionó una parcela rectangular de aproximadamente 100 m² para el corte de uno o más individuos presentes dentro de la parcela (Espinoza *et al.*, 2012). La muestra estuvo conformada por 5 plantas de café catimor (*Coffea arabica*), 3 de guaba (*Inga spp.*) y 3 de pashaco (*Schizolobium spp.*), en el caso de los policultivos de café-guaba-pashaco y 5 plantas de café y 3 de guaba para los sistemas de café-guaba.

Para la determinación del número de muestras se tomó en cuenta los antecedentes de la investigación y la aceptación de los propietarios en cuanto al número de individuos a seleccionar. Además, la razón por la cual se tomó una muestra pequeña, está relacionado con la preservación del medio ambiente, se trabajó con seis parcelas para disminuir la tala en cada área y ampliarla con el número de fincas escogidas.

Muestreo: Se realizó un muestreo probabilístico. Mediante este método, cada individuo del sistema tuvo la misma probabilidad de ser seleccionado en campo para los análisis en el laboratorio.

Las muestras se realizaron para las distintos sistemas, de los cuales se tomaron 5 plantas de café, 3 de guaba y 3 de pashaco, en el caso de los policultivos de café-guaba-pashaco y 5 plantas de café y 3 de guaba para los sistemas de café-guaba, seccionando los individuos en tamaños de 1 a 2 m de largo y extrayendo rodajas de 5 cm de espesor para ser llevados al laboratorio y obtener los resultados de biomasa seca y húmeda con lo que finalmente se estimó el porcentaje de carbono en la planta (Maicelo, 2012). Para los componentes como la maleza y hojarasca se muestrearon en subparcelas de 1 m² que se establecieron dentro de la parcela de 100 m².

En el caso del muestreo de suelos se recorrió cada terreno en zig zag y se tomaron muestras en 10 puntos (Jara, 2013), éstas fueron homogenizadas de modo que se obtuvieron 6 muestras (una por cada terreno) para ser

recolectadas en bolsas plásticas y ser transportadas al Laboratorio del INDESCES de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, para los respectivos análisis.

4.1.3. Métodos

- **Método directo o destructivo:** Consistió en la extracción total de los componentes de las plantas; a través de dos fases:
 - La primera en campo con el derribo de las plantas, toma de datos del peso húmedo y la selección de una muestra representativa para trasladarlas al laboratorio.
 - La segunda en laboratorio, para el secado en una estufa a 75° C hasta peso constante y la obtención de la biomasa seca.

4.1.4. Técnicas e instrumentos

- Encuestas a los agricultores: Con el propósito de seleccionar plantaciones de café de edades y características similares.
- Fichas de colecta de información

4.2. Procedimiento

4.2.1. Selección de las fincas agrícolas

- Se trabajó encuestando a los pobladores del Anexo de Vilaya, durante un periodo de 15 días, con el propósito de identificar los diversos sistemas de manejo.
 - Los sistemas de policultivo seleccionados contaron con el tipo de café catimor, debido a que es la variedad más cultivada en la zona por su resistencia a la roya.
 - Se seleccionaron tres policultivos de café que contaron con la presencia de café y guaba y tres que tenían plantas de café, guaba y pashaco.
- **Elaboración de mapas de ubicación:** Se elaboró un mapa de ubicación para el Anexo de Vilaya y otro para los terrenos agrícolas.
- **Cuantificación de terrenos agrícolas:** Se realizó la medición de los terrenos agrícolas de acuerdo a los puntos referenciados con GPS Garmin con precisión máxima de 5 metros y procesados con el programa Arc GIS 10.2.1 para la elaboración del mapa y cuantificación de las áreas de interés.

4.2.2. Establecimiento de parcelas

- Para las muestras del café, el trabajo fue desarrollado en parcelas de muestreo de 100 m², en donde se hizo un inventario del componente maderable del cultivo.
- Dentro de cada parcela de 100 m² se estableció subparcelas de 1 m² en donde se realizó la evaluación de maleza y hojarasca.
- Para los árboles de sombra como la guaba y el pashaco se consideró el área total del terreno debido al tipo de sombra diversificado y el distanciamiento heterogéneo entre una planta y otra.
- El muestreo de suelos se realizó tratando de cubrir toda el área del terreno, a través de la homogenización de 10 muestras obtenidas de 0-30 cm de profundidad por cada terreno.

4.2.3. Muestreos de campo

- Muestras de café, guaba y pashaco: Se usó el método utilizado por Maicelo (2012). Para cada individuo se tomó puntos de su ubicación a través de un GPS. El fuste fue seccionado en tamaños de 1 a 2 m de largo y se extrajeron rodajas de 5 cm de espesor. La biomasa húmeda de ramas, fuste y hojas fueron pesadas en campo. Posteriormente se seleccionó una muestra representativa para trasladarlas al Laboratorio de Fitopatología y Entomología del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (INDES-CES). Para las plantas de café, antes del derribo, se midió la altura (H) y diámetro a la altura del pecho (DAP). Si hubo ramificado por debajo de 1.3 m. se midió su diámetro a esa altura.
- Muestras de maleza y hojarasca: Se usó la metodología propuesta por Castellanos *et al.*, (2010). Se muestreó en subparcelas de 1 m². Primero se colectó todo el material vegetal vivo dentro de esta área para luego juntar la hojarasca. El total de estos componentes se pesó individualmente. Después se tomó una submuestra para las malezas y hojarasca y se transportó en bolsas de plástico al Laboratorio de Fitopatología y Entomología de la UNTRM.
- Muestras de suelo: Se recorrió el terreno en zic zac y se tomaron muestras en 10 puntos. En el punto de muestreo se limpió la superficie al ras del

suelo eliminando la cobertura vegetal (INDES-CES, 2017), y se tomó muestras a una profundidad de 0-30 cm, debido que las raíces finas de los cultivos que almacenan la materia orgánica se encuentran a esa profundidad (Andrade *et al.*, 2003). Las muestras tomadas en campo fueron homogenizadas y recolectadas en bolsas plásticas cada una bien identificada. Luego se las transportó al Laboratorio de Suelos y Aguas INDES-CES de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, para los respectivos análisis.

4.2.4. Análisis de datos

Los resultados obtenidos en el laboratorio fueron tratados mediante los programas IBM SPSS Statistics 22.0 y Excel 2014 para los diversos análisis estadísticos. Esto con el propósito de comparar el almacenamiento de carbono en los diversos policultivos de café.

4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

4.3.1. Biomasa seca de las plantas y necromasa (café, guaba, pashaco, maleza y hojarasca)

$$BS = \left(\frac{PS}{PH} \right) \times BH$$

Dónde:

BS: Biomasa seca del componente (Kg)

PS: Peso seco de la muestra (gr)

PH: Peso húmedo de la muestra (gr)

BH: Biomasa húmeda del componente (Kg)

4.3.2. Biomasa seca aérea total

$$BS \text{ total de la planta} = BSF + BSH + BSR$$

Donde:

BS = Biomasa seca aérea total de la planta (kg)

BSF = Biomasa seca del fuste (kg)

BSH = Biomasa seca de las hojas (kg)

BSR = Biomasa seca de las ramas (kg)

4.3.3. Carbono en la biomasa arbórea

$$CT = BST \times FC$$

Donde:

CT: Carbono total (kg)

BST: Biomasa seca aérea total del individuo

FC: Fracción de carbono = 0.5

4.3.4. Cálculo de carbono en maleza y hojarasca

$$CT = \left(\frac{(BS * 0.5)/1000}{\text{Área de subparcela (ha)}} \right)$$

Donde:

CT: Carbono total en maleza y hojarasca (tn C/ha)

BS: Biomasa seca en maleza y hojarasca (Kg)

0.5: Factor de conversión

Área de la subparcela: $1\text{m}^2 = 0.0001\text{ ha}$

4.3.5. Cálculo del carbono vegetal total

$$CVT \text{ (tn C/ha)} = CA + CM + CH$$

Donde:

CVT = Carbono vegetal total

CA = Carbono arbóreo

CM = Carbono en maleza

CH = Carbono en hojarasca

V. RESULTADOS

5.1. Tipificación del productor y sistemas de producción agrícola

Se realizó la encuesta a 12 dueños de hogar y propietarios de los terrenos agrícolas. En la mayoría de los casos los agricultores contaron con más de dos terrenos, por lo que se le encuestó para cada una de las áreas, pero se le consideró como una misma encuesta.

El 66.67 % de los entrevistados fueron varones y el 33.33 % mujeres. El grado de educación predominante fue el nivel primario (83.33 %) (Tabla N° 06). Los productores en su mayoría tienen más de 15 años en el lugar y muchos de ellos viven en la zona desde su nacimiento (Tabla N° 07). Para la zona de estudio, estos resultados nos muestran que los productores tienen un arraigo cultural de trabajo en el campo, conocen de la agricultura que facilita la implementación, el establecimiento de sistemas agroforestales y poseen mayor conocimiento en el manejo del cultivo de café asociado con especies forestales.

Las parcelas agrícolas del Anexo de Vilaya tienen rangos de 0.2 a 2 hectáreas y un promedio de 0.796 hectáreas (Tabla N° 07). La planta de guaba está presente en cantidades superiores a los demás cultivos en el 100 % de los terrenos estudiados, solo superado por la planta de café. Detrás de la guaba, las plantas más cultivadas fueron el mango (50%) y naranja (25%) (Tabla N° 06).

El 83.33% de los productores tiene accesibilidad al terreno a través de caminos y sólo el 16.67 % por carretera (Tabla N° 06). Esto debido a que la zona acaba de aperturar una trocha carrozable que la conecta a San Juan de Ocumal (el pueblo más cercano).

El 100 % de los productores cultiva el café catimor, principalmente porque es un híbrido más resistente a la roya que el caturra, que dejó de cultivarse hace aproximadamente 5 años dentro del Anexo. Los árboles más predominantes en la zona son el pashaco (75.00 %) y morrero (33.33 %) (Tabla N° 06).

Tabla N° 06: Variables sexo, grado de instrucción, accesibilidad, Otros cultivos predominantes - presencia en los terrenos y Árboles asociados - presencia en los terrenos, en el Anexo de Vilaya

Variables	Porcentaje (%)
Sexo	
Masculino	66.67%
Femenino	33.33%
Grado de instrucción	
Primaria	83.33%
Secundaria	16.67%
Superior	0.00%
Accesibilidad	
Camino	83.33%
Carretera	16.67%
Otros	0.00%
Otros cultivos predominantes - presencia en los terrenos	
Guaba	100%
Mango	50%
Naranja	25%
Árboles asociados - presencia en los terrenos	
Pashaco	75.00%
Morrero	33.33%
Morocho	25.00%
Yurmana	8.33%
Andalán	8.33%

Fuente: Elaboración propia, 2018

Los miembros de familia variaron de 2 a 7 integrantes, siendo el promedio 4 personas, lo que indica que existe un mayor número de familiares dedicados a los cultivos. El tiempo medio de producción de los sistemas agroforestales de café catimor fue de 4.5 años. Además, los productores agrícolas produjeron en promedio 11.917 quintales (1 quintal = 50 kg) en el 2015 y 10.333 quintales en el 2016 (Tabla N° 07).

El 50 % de los productores agrícolas en el Anexo de Vilaya tienen ingresos entre 500 a 1000 soles, el 33.3 % menor a 500 soles y sólo el 16.67 % gana sueldos mayores a 1500 soles.

Tabla N° 07: Estadística descriptiva para los factores cuantitativos sociales y económicos

Factores/Variables cuantitativas		Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Tiempo en el lugar (Años)		15	60	36.333	13.234
Área del terreno (Hectáreas)		0.200	2.000	0.796	0.620
Número de miembros en la familia		2	7	4	1.595
Edad de los SAF's (Años)		2	6	4.583	1.240
Producción anual de café (quintal)	2015	2	25	11.917	7.657
	2016	1	20	10.333	6.985

Fuente: Elaboración propia, 2018

- **Selección de terrenos agrícolas**

Se escogieron seis terrenos para la evaluación de almacenamiento de carbono, para ello se tomó en cuenta la edad de las plantaciones, los tipos de cultivos y árboles presentes y sobre todo la disponibilidad de los agricultores para realizar el muestreo de las plantas dentro de las parcelas. Se evaluaron tres sistemas de plantaciones de café-guaba y tres sistemas de café-guaba-pashaco.

En la evaluación de los policultivos de café-guaba-pashaco (PA) y de café-guaba (PM) se consideró cuatro componentes de almacenamiento de carbono: biomasa aérea viva (árboles y café), suelo, hojarasca y maleza. Los valores obtenidos fueron expresados en toneladas por hectárea, así mismo se propuso inicialmente hacer la curva alométrica para el café; dichos resultados son detallados a continuación.

5.2. Regresión y modelos matemáticos

Se realizó la ecuación alométrica del café catimor. Se trabajó con 30 plantas de café provenientes de los diversos sistemas de producción agrícola. Para ello, se usó el programa IBM SPSS Statistics 22.0. La relación que se estableció fue entre la variable independiente diámetro a la altura del pecho (DAP) y la dependiente (biomasa). Las ecuaciones que involucran la altura (H) de las plantas de café no fueron consideradas debido a que los R^2 predeterminados fueron inferiores al 22%.

Tabla N° 08: Estadística descriptiva de las variables consideradas en la medición de plantas de café catimor

Variabes	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de variación (%)
DAP (cm)	30	6.300	14.700	9.067	1.941	3.769	21.41%
Altura (m)	30	1.280	1.940	1.623	0.173	0.030	10.65%

Fuente: Anexo N° 01

De acuerdo a los resultados (Anexo N° 01), las plantas con DAP de 14.7 cm y 13.1 cm son los que más biomasa generan (5.38 kg y 4.04 kg).

Se puede observar en la tabla N° 08 que las plantas de café tienen un DAP promedio de 9.067 cm, con un coeficiente de variación de 21.41 %, y una altura total promedio de 1.623 m, con un coeficiente de variación de 10.65 %, lo que indica que la muestra es homogénea, ya que los coeficientes de variación son menores al 30%.

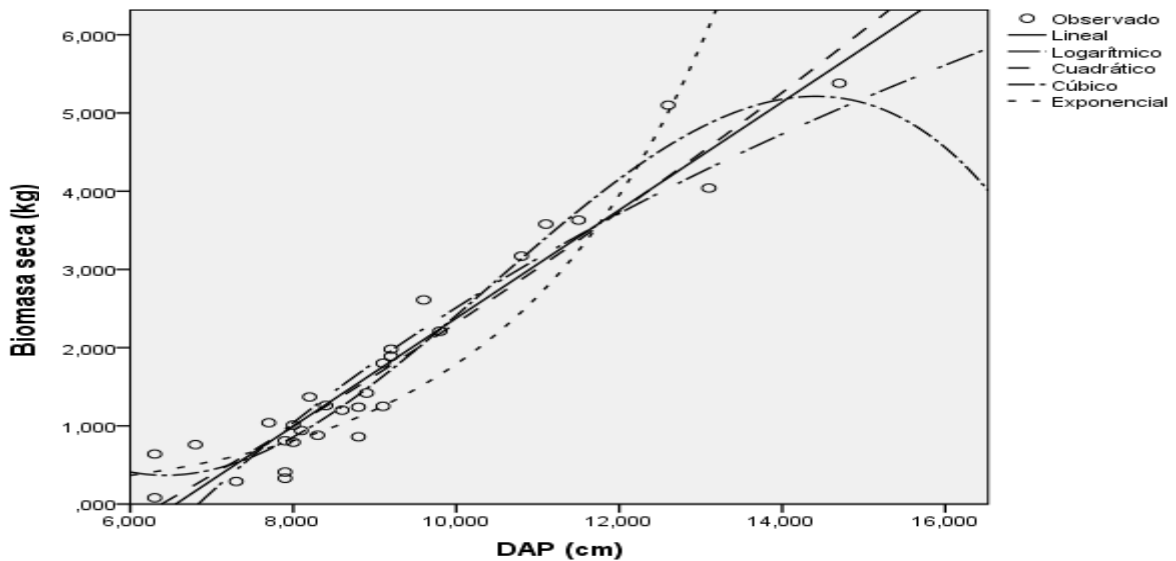


Figura N° 03: Relación y tendencias de regresión entre el DAP y la biomasa seca total

Al aplicar las ecuaciones generadas (Tabla N° 09), se obtuvo que la ecuación que más se ajusta para estimar la cantidad de carbono en café por individuo en una determinada área en el Anexo de Vilaya es $B_{(kg)} = 14.928 - 5.319(DAP) + 0.598(DAP)^2 - 0.019(DAP)^3$, presentando un coeficiente de determinación de 0.947, lo que indica que el DAP expresa la cantidad de carbono en un 94.7%, cuyo valor tiene un nivel de confianza aceptable.

Tabla N° 09: Modelos estadísticos probados para la estimación de biomasa total para café

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

Fuente: Elaboración propia, 2018

5.3. Biomasa y stock de carbono

5.3.1. Biomasa y carbono arbóreo

La biomasa aérea total estimada fue de 22.441 tn C/ha (guaba) y 15.393 tn C/ha (pashaco). En el sistema de código DChB se encontró la mayor cantidad de carbono arbóreo con 25.652 tn C/ha. Para los sistemas ABRm, RChG y TChV por no contar con plantas de pashaco, el potencial de carbono fue menor en relación a los demás sistemas de policultivo (Tabla N° 10).

Tabla N° 10: Cantidad de carbono y biomasa almacenada en el sustrato aéreo arbóreo

Sistemas de cultivo	Código de parcela	Guaba		Pashaco		TOTAL	
		Biomasa (tn C/ha)	Carbono (tn C/ha)	Biomasa (tn C/ha)	Carbono (tn C/ha)	Biomasa (tn C/ha)	Carbono (tn C/ha)
PA	FSA	15.465	7.733	14.288	7.144	29.754	14.877
	DChB	29.328	14.664	21.937	10.969	51.265	25.632
	ABR	20.715	10.357	9.953	4.976	30.668	15.334
PM	ABRm	14.125	7.062	---	---	14.125	7.062
	RChG	29.772	14.886	---	---	29.772	14.886
	TChV	25.240	12.620	---	---	25.240	12.620

Fuente: Elaboración propia, 2018

La cantidad de carbono arbóreo en los sistemas de policultivo de café-guaba-pashaco (PA) y café-guaba (PM) para guaba fue de 10.918 y 11.523 tn C/ha. Los PA y PM presentaron densidades de 260 y 329 con una media total de 294 árboles por hectárea. En el caso del pashaco, la cantidad media de almacenamiento de carbono fue de 7.696 tn C/ha con una densidad de plantación de 131 plantas por hectárea.

5.3.2. Cálculo de carbono en el componente aéreo en café

La biomasa del café fue de órdenes de magnitud menor, exactamente 10.254 tn C/ha. El sistema FSA presentó la mayor acumulación de carbono con 10.707 tn C/ha (Tabla N° 11) y una densidad de 58 plantas por hectárea, seguido de ABR con 6.950 tn C/ha (Tabla N° 11) y una densidad de 73 plantas por hectárea.

Tabla N° 11: Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea del café

Sistemas de cultivo	Código de parcela	Biomasa / totales de árboles (kg/100m ²)	Biomasa (tn C/ha)	carbono (tn C/ha)
PA	FSA	107.068	21.425	10.707
	DChB	27.816	5.588	2.782
	ABR	69.496	13.899	6.950
PM	ABRm	29.25	5.837	2.925

	RChG	25.474	5.085	2.547
	TChV	48.45	9.690	4.845

Fuente: Elaboración propia, 2018

Los PM presentaron los menores almacenamientos de carbono con 4.845, 2.925 y 2.547 tn C/ha para TChV, ABRm y RChG, respectivamente (Tabla N° 11). El alto almacenamiento de carbono en los PA se debió a la cantidad de especies forestales asociadas a las plantas de café.

Tabla N° 12: Inventariado del número de plantas de café por área medida

Sistemas de cultivo		N° Plantas por m ² (Plantas/100m ²)
Estrato	Código	
PA	FSA	58
	DChB	61
	ABR	73
PM	ABRm	65
	RChG	47
	TChV	51
Promedio		59.17

Fuente: Elaboración propia, 2018

Se obtuvo, además, que la cantidad media de carbono en los sistemas de café-guaba-pashaco y de café-guaba en este componente es de 6.813 y 3.439 tn C/ha, respectivamente, con una densidad de plantación de 5917 plantas por hectárea.

5.3.3. Carbono almacenado en hojarasca

La mayor cantidad de carbono se encontró almacenado en los terrenos de policultivo de café-guaba-pashaco (PA), que retienen 0.792 tn C/ha, mientras que los sistemas de café-guaba (PM), almacenan 0.603 tn C/ha (Figura N° 04)

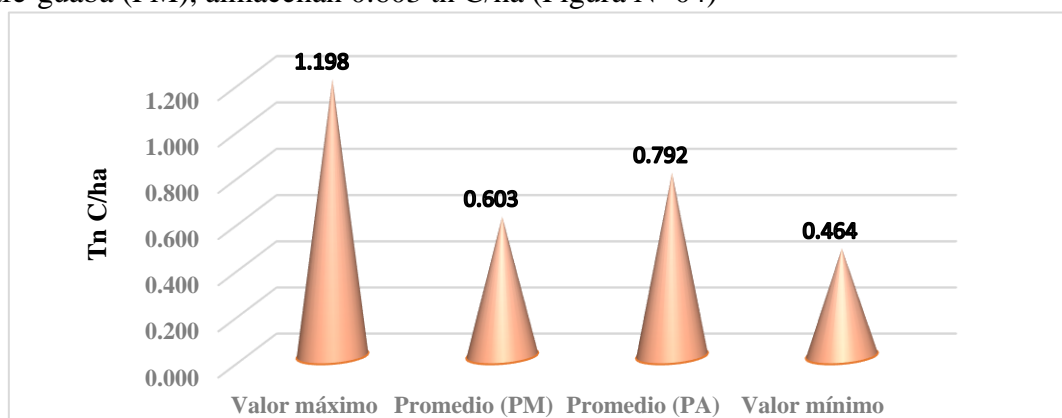


Figura N° 04: Carbono almacenado en hojarasca

El sistema de código: FSA, alcanzó el máximo valor de almacenamiento (1.198 tn C/ha) y el promedio mínimo por sistema fue registrado en el terreno de código: RChG, con 0.464 tn C/ha (Tabla N° 13)

Tabla N° 13: Biomasa y almacenamiento de carbono en hojarasca

CARBONO Y BIOMASA EN HOJARASCA				
Estrato	Código de la parcela	Biomasa seca promedio (kg)	Carbono en hojarasca (kg)	Carbono en hojarasca tn C/ha
PA	FSA	0.240	0.1198	1.198
	DChB	0.108	0.0539	0.539
	ABR	0.128	0.0641	0.641
PM	ABRm	0.094	0.0468	0.468
	RChG	0.093	0.0464	0.464
	TChV	0.175	0.0876	0.876

Fuente: Elaboración propia, 2018

5.3.4. Carbono almacenado en maleza

El mayor contenido de carbono herbáceo se encontró en el terreno de código RChG, con 0.933 tn C/ha. Los siguientes sistemas con mayor cantidad de carbono fueron los terrenos ABR y FSA, que presentaron valores de 0.758 y 0.694 tn C/ha (Tabla N° 14)

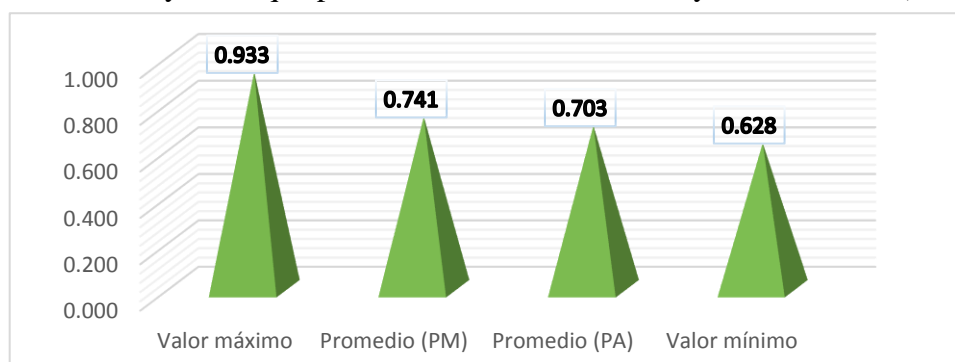


Figura N° 05: Carbono almacenado en maleza

Los sistemas de policultivo de café-guaba-pashaco (PA) almacenaron 0.703 tn C/ha y los de café-guaba (PM) 0.741 tn C/ha (Figura N° 05).

Tabla N° 14: Biomasa y almacenamiento de carbono en maleza

CARBONO Y BIOMASA EN MALEZA				
Estrato	Código de la parcela	Biomasa seca promedio (kg)	Carbono en maleza (kg) = BSP*0.5	Carbono en maleza tn C/ha
PA	FSA	0.14	0.069	0.694
	DChB	0.13	0.066	0.656
	ABR	0.15	0.076	0.758
PM	ABRm	0.13	0.063	0.628
	RChG	0.19	0.093	0.933
	TChV	0.13	0.066	0.661

Fuente: Elaboración propia, 2018

5.3.5. Carbono en el suelo

En los distintos tipos de suelos se encontró concentraciones de carbono que variaron entre 2.36 y 2.89 % (Tabla N° 15). El porcentaje de materia orgánica es elevado, principalmente por la acumulación de hojas y ramas en descomposición procedentes de los cafetales y los árboles de sombra. Los sistemas agroforestales de café-guabapashaco presentaron 2.58% de carbono en el suelo y los de café-guaba 2.51%.

Tabla N° 15: Porcentaje de carbono y nutrientes en el suelo

Sistemas	Código	pH	P (Fósforo)	K (Potasio)	N (Nitrógeno) %	Conductividad eléctrica (dS/m)	%C	%M.O
PA	FSA	5.28	5.62	87.25	0.21	0.1	2.44	4.21
	DChB	6.61	25.82	190.62	0.25	0.17	2.89	4.98
	ABR	6.62	2.25	108.09	0.21	0.5	2.4	4.14
PM	RChG	5.5	3.7	165.36	0.21	0.1	2.49	4.29
	TChV	6.1	14.66	162.99	0.2	0.11	2.36	4.06
	ABRm	5.33	1.68	174.12	0.23	0.3	2.67	4.6

Fuente: Análisis de datos obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la UNTRM

Los nutrientes fósforo (P) y potasio (K) presentaron diferencia significativa menor con el porcentaje de carbono, teniendo cada uno coeficientes de correlación de $r = 0.568$ y $r = 0.642$. Sin embargo, existe correlación altamente significativa entre el porcentaje de carbono y el porcentaje de nitrógeno, utilizando una correlación de $r = 0,989$. El porcentaje de carbono

orgánico se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes en el suelo (Martínez *et al.*, 2008)

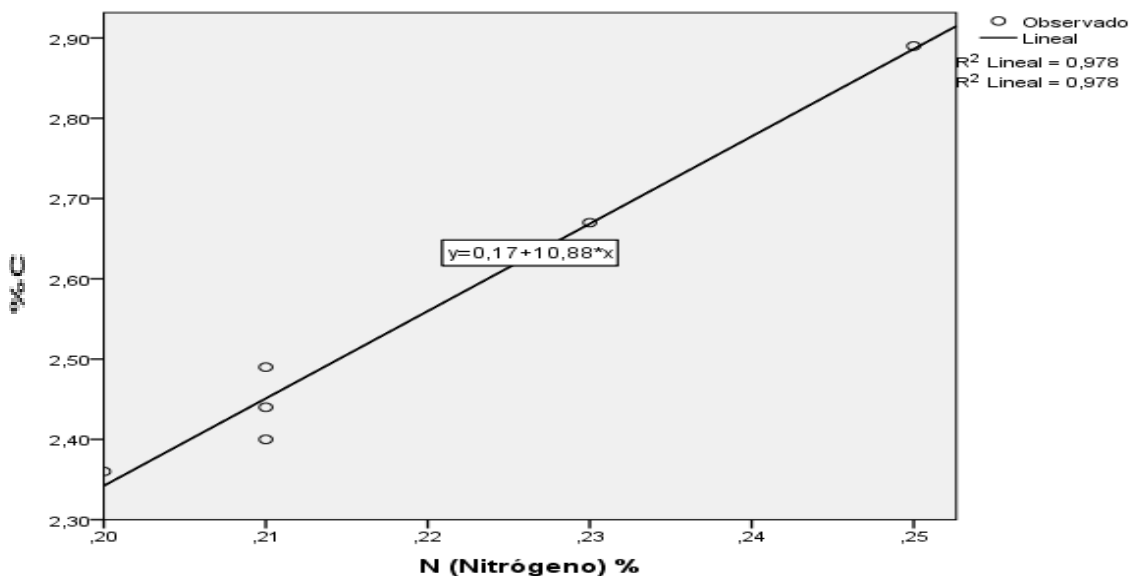


Figura N° 06: Gráfica de dispersión generada por el % C y % Nitrógeno

5.4. Carbono vegetal total

La cantidad de carbono almacenado en los sistemas se encuentra en rangos desde 11.083 a 29.609 tn C/ha (Tabla N° 16), siendo el promedio 21.614 tn C/ha.

Estos valores están influenciados por factores físicos y biológicos, mientras mayor biomasa exista en el sistema el almacenamiento de carbono también incrementará (Cabrera *et al.*, 2016). Los terrenos evaluados que presentaron valores con mayor cantidad de almacenamiento de carbono, tuvieron mayor presencia de árboles de sombra (guaba y pashaco).

Tabla N° 16: Carbono vegetal total en los sistemas

CARBONO VEGETAL TOTAL							
Sistemas de cultivo	Código de parcela	Café (tn C/ha)	Guaba (tn C/ha)	Pashaco (tn C/ha)	Maleza (tn C/ha)	Hojarasca (tn C/ha)	Total (tn C/ha)
PA	FSA	10.707	7.733	7.144	0.694	1.198	27.475
	DChB	2.782	14.664	10.969	0.656	0.539	29.609
	ABR	6.950	10.357	4.976	0.758	0.641	23.682
PM	ABRm	2.925	7.062	0.000	0.628	0.468	11.083
	RChG	2.547	14.886	0.000	0.933	0.464	18.831
	TChV	4.845	12.620	0.000	0.661	0.876	19.002

Fuente: Elaboración propia, 2018

De acuerdo a los resultados, los sistemas agroforestales de café-guaba-pashaco (PA) en el Anexo de Vilaya almacenan 26.922 tn C/ha y los de café-guaba (PM), 16.305 tn C/ha.

VI. DISCUSIÓN

La importancia de los métodos de investigación y el reconocimiento del papel del conocimiento local en el diseño y manejo de los sistemas agroforestales se han mencionado con frecuencia (Cerdán *et al.*, 2012). El estudio en el Anexo de Vilaya encuentra que los sistemas agroforestales son importantes para la mitigación del carbono. Al igual que otros autores, Avila (2001), los resultados demuestran que las reservas de carbono son mayores en las plantaciones agroforestales de café que en el café de plantaciones con poca sombra.

El estudio sobre captura de carbono determinó que los sistemas agroforestales de café-guaba-pashaco (PA) y de café-guaba (PM) en el Anexo de Vilaya almacenan 26.922 y 16.305 tn C/ha en la biomasa vegetal total, la cual está relacionada directamente con los tipos de árboles de sombra y la densidad de plantación. En el caso de las plantas de café, la densidad promedio fue de 5917 plantas por hectárea, presentando DAP en rangos de 6.3 a 14.7 cm y un promedio de 9.067 cm. En el estudio el DAP es el principal indicador de la cantidad de biomasa aportada por las plantas de café catimor, “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 terrenos agroforestales (PA) en base a café en Vilaya capturan 6.813 tn C/ha en este componente, 3.374 tn C/ha más que los sistemas de café-guaba (PM). Además, el estudio encontró una relación entre la disminución del almacenamiento de carbono y la disminución de la densidad media de la plantación de café y los árboles de sombra. En los sistemas agroforestales de café-guaba-pashaco (PA), la densidad de plantación para catimor fue más alto (en promedio, 64 plantas/100 m²), reportando mayor captura de carbono en este componente.

En los policultivos de poca sombra (PM), los grandes árboles como las plantas de guaba, fueron los que más carbono capturaron, específicamente 11.523 tn C/ha, mientras que los pashacos en los PA presentaron densidades de plantación de 131 plantas por hectárea y captura de carbono de 7.696 tn C/ha, datos que resaltan que “la disminución de las reservas de carbono a través del gradiente de gestión coincide con la disminución de la riqueza de plantas de sombra” (Beenhouwer *et al.*, 2016). Los resultados demuestran que las reservas en las plantaciones agroforestales de café (PA) son mayores en 10.617 tn C/ha, en relación a los demás sistemas (PM), dato inferior a los reportados por Hergoulach *et al.*, (2012), que encontró una diferencia de 15.4 tn C/ha (para la asociación de café-Inga y plantaciones de

café solar) y de Andrade *et al.*, (2014) que halló una diferencia de 13.8 tn C/ha (para sistemas de café-nogal y café-caucho)

Los sistemas agroforestales, además de proveer varios servicios de ecosistemas, no reducen los rendimientos de café dentro del rango de cobertura de sombra (Cerdea *et al.*, 2016). En el Anexo de Vilaya se observa que los terrenos muestran potenciales aportando de manera significativa en el secuestro de carbono (26.922 tn C/ha para PA y 16.305 tn C/ha para PM). Por otra parte, estos valores fueron inferiores a los determinados por Ehrenbergerova *et al.*, (2015), quien detectó concentraciones de 43.9 tn C/ha en la biomasa vegetal total para café sun, y superiores a los de Hager (2012), en donde hallaron valores de 13.9 tn C/ha. Dichas variaciones dependen principalmente de la distribución de carbono en el ecosistema, en esta a su misma vez influyen las variables densidad de plantación y biomasa (Hergoulach *et al.*, 2012). El stock de carbono en la biomasa de café para Hager (2012) fue de 2.3 tn C/ha y 9.1 tn C/ha para Hergoulach *et al.*, (2012) con una densidad de café de 6045 plantas/ha y 4722 plantas/ha, respectivamente. Si comparamos estos datos con nuestros resultados, vemos que los policultivos de café (PM) tienen reservas de carbono (3.439 tn C/ha) comparables con el estudio de Hager (2012), en el resto de los terrenos agrícolas (PA), nuestros valores son más grandes (6.813 tn C/ha). Otros autores como Ferreira *et al.*, (2015), encontraron que cuando se combinan especies maderables con café, cuanto mayor es la tasa de crecimiento de los árboles en filas plantadas con café, menor es la producción de café, pero mayores son las oportunidades asociados al manejo agroforestal y la conservación de los recursos naturales. En el mismo sentido, “se ha comprobado que las plantas que crecen espontáneamente entre las filas de la planta de café en sistemas de café son controladas y no se eliminan por completo, lo que también aumenta la entrada de carbono en los sistemas” (Gomes *et al.*, 2016)

Las plantaciones de café con altas intenciones de gestión generan más ramas muertas. En consecuencia, se puede esperar una reducción y una mayor variabilidad en los rendimientos en los años subsiguientes (Avelino *et al.*, 2015). Aquello se da principalmente porque la mayoría de los productores de café en el mundo son pequeños agricultores (Machado & ríos, 2016). Esto podría estar pasando en el Anexo de Vilaya, los terrenos agroforestales (PA) generan 0.792 tn C/ha en la hojarasca, un servicio ecosistémico elevado y explicado por el diseño con árboles de sombra diversificado (guaba y pashaco). Todo lo contrario a los sistemas de café PM (0.603 tn C/ha), en donde se está trabajando en base a una sombra intensificada con el uso de fertilizantes, especialmente el Molimax (dato tomado de las

encuestas), disminuyendo así el suministro continuo de múltiples servicios ecosistémicos. La cantidad de carbono en hojarasca estuvo influenciada por la diversificación, densidad y variedad de sombra. Sin embargo, los resultados son bajos en relación a los datos registrados por Cabrera *et al.*, (2016), quien halló una concentración de 0.93 tn C/ha en 32 sistemas agroforestales cafetaleros con sombra diversificada.

Los efectos significativos de la gestión en los indicadores de servicio de aprovisionamiento, sugieren que tanto los terrenos de sombra bajos como muy diversificados requieren estrategias de manejo específicas para entregar múltiples servicios ecosistémicos (Power, 2010). 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”. En nuestro estudio, los resultados obtenidos en laboratorio sugieren que el contenido de nitrógeno en el suelo fue el que más se correlacionó con el contenido de carbono ($r = 0.989$), en relación al fósforo ($r = 0.568$) y potasio ($r = 0.642$). Esto se atribuye por la entrada continua de hojas, follaje y raíces muertas provenientes de los árboles de sombra y el café (Thomazini *et al.*, 2015). Similarmente Hergoualch *et al.*, (2012) encontró que sistemas agroforestales de café con especies de árboles leguminosos tenían mayores reservas de carbono en el suelo que el monocultivo de café. Los estudios realizados sobre el potencial de secuestro de carbono en el sistema agroforestal revelan que los sistemas agroforestales lineales simultáneos tienen un potencial significativo para almacenar más carbono orgánico del suelo comparado con parcelas sin árboles o un solo cultivo (Tscharrntke *et al.*, 2011). Por lo tanto, siguiendo dicha relación, el estudio en Vilaya confirma la importancia de la integración de los árboles en los sistemas de café para mejorar el potencial de secuestro de carbono del suelo. Los sistemas agroforestales de café (PA) presentaron un porcentaje del 2.58% de carbono en el suelo y los PM, 2.51%. Sin embargo, estos datos son inferiores al estudio de Ehrenbergerova *et al.*, (2015), quien encontró un porcentaje de 2.91% para café Sun, empero dicha investigación puede variar sus resultados en cuanto a este componente ya que contabilizaron el carbono y sus capturas anuales. Los cambios en el almacenamiento dependen del tipo de manejo agroforestal que también afecta al proceso de secuestro de carbono en el suelo, esto incluye el tipo, la densidad y la distribución de los árboles de sombreado que proporcionan desechos de descomposición diferentes, así como la utilización de la cama como mantillo retenido en la plantación o como material base para la producción de compost, manejo de abono, etc (Schimel, 1994). Estos factores que no

fueron incluidos en el estudio podrían explicar la diferencia del porcentaje del carbono en el suelo.

Cardinael *et al.*, (2015) mostraron que la transición de un sistema agrisilvicultor a la agroforestería generalmente conduce a la red almacenamiento de carbono en el sistema (1.0 tn C/ha.año), sin embargo durante y después de la transición el secuestro de carbono en el suelo no fue tan consistente, debido a que se deben manejar las variables del clima y de los sistemas agroforestales actuales. Todo lo contrario sucedió en el estudio de Espinoza *et al.*, (2012), que registró un total de 62 tn C/ha en un sistema de café usado en conjunto para crianza de ganado ovino y que procedía de la agroforestería. En este sentido, IPCC recomienda al menos un período de 20 años para la contabilización del secuestro de carbono en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 1997), ya que el carbono del suelo puede aumentar durante la fase de crecimiento del árbol, pero es probable que disminuya de nuevo cuando los cultivos se cultivan después de la cosecha o quema del mismo (Kim *et al.*, 2016). Esto pasa porque el suelo tiene un potencial limitado para secuestrar carbono (saturación del sumidero) cuando los beneficios anuales alcanzan un nuevo cuasi equilibrio (Stockmann *et al.*, 2013). En el Anexo de Vilaya los policultivos tienen en promedio 4.583 años, relacionado a sistemas de manejo de 0.796 hectáreas por agricultor, cuyas áreas están dedicadas para la siembra de café catimor, lo que indica que aún se puede mejorar los sistemas de gestión para la evaluación y aumento del almacenamiento de carbono.

Nuestros resultados confirman que los terrenos agroforestales de café catimor (café-guabapashaco) en el Anexo de Vilaya tienen un rango (10.617 tn C/ha) de almacenamiento superior al resto de policultivos (café-guaba) en carbono vegetal total y un porcentaje promedio mayor de carbono en el suelo (2.58%). Los valores de captura fluctúan principalmente por la densidad de plantación de los árboles de sombra que se encuentran dentro del ecosistema y la biomasa seca de sus componentes. Es importante continuar estudiando las especies introducidas en las plantaciones agroforestales en la zona, evaluar ecuaciones más precisas para las plantaciones locales y determinar la influencia de los parámetros de gestión a mayor escala para establecer valores de relación estables.

VII. CONCLUSIONES

- Se determinó que los sistemas agroforestales de café-guaba-pashaco (PA) en el Anexo de Vilaya almacenan 26.922 tn C/ha, mientras que los de café-guaba (PM), 16.305 tn C/ha. Las plantaciones agroforestales de café sombreadas por especies arbóreas (guaba y pashaco) tienen un mejor desempeño con respecto al almacenamiento de carbono que las sombreadas sólo por el género de árbol guaba.
- La biomasa aérea total estimada fue de 22.441 tn C/ha en guaba, 15.393 tn C/ha en pashaco y 10.254 tn C/ha para café. La cantidad de carbono en los sistemas de café-guaba-pashaco (PA) y de café-guaba (PM) es de 6.813 y 3.439 tn C/ha, con una densidad de plantación de 5917 plantas por hectárea. En el caso del carbono en guaba, este fue de 10.918 y 11.523 tn C/ha para los sistemas de policultivo PA y PM, respectivamente. En el pashaco, la cantidad de almacenamiento de carbono fue de 7.696 tn C/ha.
- Los terrenos agroforestales (PA) retienen 0.792 tn C/ha en hojarasca, mientras que los policultivos de café PM, 0.603 tn C/ha. En cuanto a maleza, los sistemas de café-guaba (PM) almacenaron 0.741 tn C/ha y los sistemas agroforestales (PA), 0.703 tn C/ha.
- Los sistemas agroforestales de café-guaba-pashaco presentaron un porcentaje del 2.58% de carbono en el suelo y los de café-guaba, 2.51%.
- La ecuación alométrica que describe el comportamiento de carbono en café catimor fue $B_{(kg)} = 14.928 - 5.319(DAP) + 0.598(DAP)^2 - 0.019(DAP)^3$, presenta un coeficiente de determinación de 0.947 y tiene el DAP como variable independiente. El 94.7 % de la variación de carbono se debe al DAP quedando un 5.3 % restante que se debe a otras variables que han podido intervenir en el estudio como: manejo, edad, sistema de siembra, gestión de sombra, entre otras.

VIII. RECOMENDACIONES

- Los sistemas agroforestales son terrenos de gestión viables para la disminución del cambio climático y permiten la producción agrícola mejorada. Se recomienda considerar la siguiente investigación para establecer sistemas a mayor escala con las mismas especies arbóreas y así evaluar la influencia de otros factores como la edad, uso de fertilizantes, manejo, entre otros, para la determinación del almacenamiento de carbono.
- Se sugiere evaluar el impacto de las plantas de árboles introducidas en la biodiversidad y la aparición de las enfermedades del café, esto con el propósito de tomar decisiones de gestión sólidas sobre las especies de árboles utilizadas para sombrear.
- Se recomienda realizar trabajos para establecer variables alométricas en los árboles de sombra dominantes en el Anexo de Vilaya y así facilitar la determinación de la biomasa seca en futuras investigaciones.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, M. (2016). Agroforestería una propuesta para el desarrollo sostenible de la agricultura en la cordillera chongon colonche -Ecuador. *Rev. DELOS*, 9(25), 1–13.
- Alvarado, J., Andrade, H., & Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café en el municipio de Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16(1), 21–31.
- Andrade, H., & Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agroforestería en las Américas*, 10, 109–116.
- Andrade, J., Marin, M., & Pachón, P. (2014). Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica L.*) en el Líbano, Tolima, Colombia. *Bioagro*, 26(2), 127–132.
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A., & Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Secur.* 7, 303–321.
- Avila, G. (2001) Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 8:32–35
- Balaba, S. & Byakagaba, P. (2015). Soil organic carbon stocks under coffee agroforestry systems and coffee monoculture in Uganda. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 216 (2016), 188–193.
- Bautista, E., & Villagaray, S. (2011). Sistemas agroforestales con tecnología limpia en los suelos del VRAEM, Perú. *UNSCH*, 5, 289–311.
- Beenhouwer, M., Geeraert, L., Mertens, J., Van, M., Aerts, R., Vanderhaegen, K., & Honnay, O. (2016). Biodiversity and carbon storage co-benefits of coffee agroforestry across a gradient of increasing management intensity in the SW Ethiopian highlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 222, 193–199.
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38, 139–164.

- Cabrera, M., Vaca, S., Aguirre, F., & Aguirre, H. (2016). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca. *Rev. Pakamuros*, 43-54.
- Cardenas, S. (2007). *Caracterización morfológica y agronómica del café (coffea arabica L.)*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.
- Cardinael, R., Chevallier, T., Barthès, B., Saby, N., Parent, T., Dupraz, C., Bernoux, M., & Chenu, C. (2015). Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon—a case study in a Mediterranean context. *Geoderma*, 288–299.
- Casanova, F., Petit, J., & Solorio, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 5–18.
- Castellanos, E., Quilo, A., & Amboage, R. (2010). *Metodología para la estimación del contenido de Carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala*. Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala y CARE-Guatemala.
- Cerda, R., Allinne, C., Gary, C., Tixier, P., Harvey, C., Krolczyk, L., Mathiot, C., Clément, E., Aubertoti, J., & Avelino, J. (2016). Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *Agronomy*, 3(3).
- Cerdán, C., Rebolledo, M., Soto, G., Rapidel, B., & Sinclair, F. (2012). Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. *Agricultural Systems*, 110 (2012) 119–130.
- Concha, J., Alegre, J., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao L.* en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6, 75–82.
- Coria, I. (2016). Cambio climático: Un desafío de hoy para el mundo de mañana. *UCEL*, 19, 7–9.

- Corral, R., Duicela, L., & Maza, H. (2006). Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao en dos zonas agroecológicas del litoral Ecuatoriano. *Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo*, 1–15.
- Deheuvels, O., Rousseau, G., Soto, G., Decker, M., Cerda, R., Vílchez, S., & Somarriba, E. (2014). Biodiversity is affected by changes in management intensity of cocoa-based agroforests. *Agrofor. Syst.* 88 (6), 1081–1099.
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227–240.
- Díaz, P., Fachín, G., Tello, C., & Arévalo, L. (2016) Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín, Perú. *Revista internacional de desarrollo sustentable*, 1(2), 57-67.
- Dixon, R. (1995). Agroforestry system: Sources or sinks of greenhouse gases. *Agroforestry Systems*, 31, 99–116.
- Echevarri, C. (2006). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería, Córdoba, Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 85–96.
- Echeverri, D., & Cols, C. (2005). Café para Cardiólogos. *Revista Colombiana de Cardiología*, 11(8).
- Ehrenbergerova, L., Cienciala, E., Kucera, A., Guy, L., & Habrova, H. (2015) Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Peru. *Agroforest Syst.* 61-73.
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vázquez, A., & Torres, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(1), 57-70.
- FAO (2016). *El estado mundial de la agricultura y alimentación*. Roma.
- FAO (2014). *Anuario Estadístico de la FAO. La Alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe*. Santiago.
- FAO (2012). *Guía para la aplicación de normas fitosanitarias en el sector forestal*. Roma.
- FAO (1996). *Código modelo de prácticas de aprovechamiento forestal de la FAO*. Roma.

- Farfán, F. (2007). Producción de café en sistemas agroforestales. *Chinchiná: Cenicafé*, 161-200.
- Fernández, P., Acevedo, D., Villanueva, A., & Uribe, M. (2016). Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(35), 65–77.
- Ferreira, E., Méndez, V., Roberto, F., & Faria, J. (2015). Agroecological Transition of Conilon Coffee (*Coffea canephora*) Agroforestry Systems in the State of Espírito Santo, Brazil. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(4), 405-429.
- Figuerola, U., Delgado, J., Cueto, J., Núñez, G., Reta, D., & Barbarick, K. (2011). A new Nitrogen Index to evaluate nitrogen losses in intensive forage systems in Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 142(4), 352–364.
- Garzón, J., & Cárdenas, E. (2013). Emisiones antropogénicas de amoníaco, nitratos y óxido nítrico: compuestos nitrogenados que afectan el medio ambiente en el sector agropecuario colombiano. *Rev. Med. Vet. Zoot.*, 60(2), 121–138.
- Gibbs, H., Brown, S., Niles J., & Foley J., (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD + a reality. *Environ. Res. Lett.* 13.
- Gómez, L., Cardoso, I., Mendonca, E., Fernandes, R., Lopes, V., & Oliveira, T. (2016). Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestrysystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 30–39.
- González, Y., Fernández, Y., & Gutierrez, T. (2013). El cambio climático y sus efectos en la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 51(3), 331–337.
- Guzmán, A., Link, A., Castillo, J., & Botero, J. (2016). Agroecosystems and primate conservation: Shade coffee as potential habitat for the conservation of Andean night monkeys in the northern Andes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 215(1):57-67.
- Hager, A. (2012). The effects of management and plant diversity on carbon storage in coffee agroforestry systems in Costa Rica. *Agrofor Syst*, 86:159–174.

- Harvey, C., Medina, A., Merlo, D., Vílchez, S., Hernández, B., Sáenz, J., Maes, J., Casanoves, F., & Sinclair, F. (2006). Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological Applications*, 16 (5), 1986–1999.
- Hergoulach K., Blancart E., Skiba U., Henault, C., & Harmand, J. (2012) Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agric Ecosyst Environ*, 148:102–110.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Mora, J., Zamora, S., Gobbi, J., Llanderal, T., Harvey, C., Murgueito, E., Casasola, F., Villanueva, C., & Ramírez, E. (2005a). Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on landscapes dominated by cattle production in Central America. Turrialba, Costa Rica. *CATIE*, 27-34.
- Ibrahim, M., Villanueva, C., & Mora, J. (2005b). Traditional and improved silvopastoral systems and their importance in sustainability of livestock farms. *Silvopastoralism and sustainable land management*. 13–18.
- ICC (2014). *Comercio mundial del café (1963 - 2013). Reseña de los mercados, retos y oportunidades con los que se enfrenta el sector*. Londres.
- ICO (2016). Informe del Mercado de Café, 1–5.
- INDES-CES (2017) *Muestreo de suelos*, UNTRM, Chachapoyas.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Climate Change: Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fif Th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, 33.
- IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los 31. Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, edit. Nature, Ginebra.
- IPCC (1997). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/regional/index.php?idp=0>. (Accessed 22 Marzo 2018).

- Isaza, C., & Cornejo, J. (2015). *Café y el ciclo del carbono. Cambio climático y carbono en café*.
- Jara, E. (2013). Manual de prácticas de edafología. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Perú.
- Jezeer, R., & Verweij, P. (2015). *Café en sistemas agroforestales*. Holanda.
- Jha, S., Bacon, C., Philpott, S., Mendez, V., Laderach, P., & Rice, R., (2014). Shade coffee: update on a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience*. 64,416–428.
- Jiménez, A., & Massa, P. (2015). Producción de café y variables climáticas: el caso Espíndola, Ecuador. *Economía*, 40(2), 117–137.
- Kim, D., Thomas, A., Pelster, D., Rosenstock, T., & Sanz, A. (2016). Greenhouse gas emissions from natural ecosystems and agricultural lands in sub-Saharan Africa: synthesis of available data and suggestions for further research. *Biogeosciences*, 4789–4809.
- Lok, S., Fraga, S., Noda, A., & García, M. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(1), 75–82.
- MacDiken, K. (1997) A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US. *Winrock International*. 87.
- Machado, M. & Ríos, L. (2016). Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: revisión sistemática. *Idesia*. 34(2), 15-23.
- Maicelo, J. (2012). *Indicadores de sustentabilidad en función del suelo y retención de carbono en la biomasa de Ceroxylon peruvianum galeano, Sanín y Mejía en la microcuenca media del río Utcubamba, Amazonas, Perú*, Instituto de Investigación de Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, 3-5.
- Maqueda, M., Carbonell, M., Martínez, E., & Flórez, M. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*, 4, 14–18.
- Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.

- Mazo, N., Rubiano, J., & Castro, A. (2016). Sistemas agroforestales como estrategia para el manejo de ecosistemas de Bosque seco Tropical en el suroccidente colombiano utilizando los SIG. *Revista Colombiana de Geografía*, 25(1), 65–77.
- Medina, J. (2010). La Dieta del Dióxido de Carbono. *Conciencia Tecnológica*, 32 (39), 50–53.
- Meléndez, M., González, V., & Betania, L. (2013). Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector agropecuario en Baja California. *Sociedad y Ambiente*, 1, 98–116.
- Mena, E., Andrade, H., & Navarro, C. (2011). Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Agroforestería Neotropical*, 1, 2–20.
- MINAGRI (2017). *Boletín estadístico de producción agrícola y ganadera. I Trimestre 2017*. Lima.
- MINAGRI. (2016). *Boletín Estadístico de Producción Agrícola, Pecuaria y Avícola*. Lima.
- Montagnini, F., & Nair, P. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61, 281–295.
- Nair, P., Kumar, B. & Nair, V. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of plant nutrition and soil science*, 172, 10–23.
- Noponen M., Haggard J., Edwards, G., & Healey J. (2013) Intensification of coffee systems can increase the effectiveness of REDD mechanisms. *Agric Syst.* 119:1–9.
- Orozco, G., Ordoñez, C., Suarez, J., & López, C. (2014). Almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 5(1), 213-221.
- Ortiz, A., & Riascos, L. (2006). Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao y laurel en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica.
- Osorio, M., & Segura, J. (2014). Cambio climático 2013: bases de la ciencia física. *Livestock research for rural development*, 1, 1-2.

- Parry, M., Canziani, J., & Palutikof., E. (2007). *Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Paustian, K., Six, J., Elliott, E., & Hunt, H. (2000). Opciones de gestión para reducir las emisiones de CO₂ de los suelos agrícolas. *Biogeoquímica*, 48, 147–163.
- Pocomucha, V., Alegre, J., & Abregu, L. (2016). Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en Huánuco. *Ecología aplicada*, 15(2), 108–114.
- Porto, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. *Ingeniería industrial*, 1(27), 101–122.
- Power, A. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philos. Trans. R. Soc. London B Biol. Sci. Engl.*, 2959–2971.
- Ramírez, N., Mendizábal, L., & Alba, J. (2012). Potencial de captura y almacenamiento de CO₂ en el valle de Perote. Estudio de caso: *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey. *Foresta Veracruzana*, 14(1), 17–22.
- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. (1ra. ed.) - Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).
- Ruiz, C. (2013). Los servicios ecosistémicos como estrategia de conservación y su potencial en Chiapas. En comisión nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad/Gobierno del estado de Chiapas. *México: IDESMAC - CONABIO - Gob. del Estado de Chiapas*, 465- 473.
- Santillán, V., Barra, J., Paz, F., & Cárdenas, L. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero sistemas agrícolas en México. *Terra Latinoamérica*, 34, 83–96.
- Schimel, D. (1994) Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biochem Cycles*, 8(3):279–293.
- Smith, J. & Scherr S. (2003) Capturing the value of forest carbón for local livelihoods. *World Dev.* 31:2143–2160.

- Soto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Jimenez, G., & De Jong, B. (2010). Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chaipas, Mexico. *Agroforestry systems*. 78, 39-51.
- Stevenson, F. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. New York.
- Stockmann, U., Adams, M., Crawford, J., Field, D., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A., De Remy, V., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P., Chenu, C., Jastrow, J., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A., Parton, W., Whitehead, D., & Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agric. Ecosyst. Environ*, 164, 80–99.
- Timoteo, K., Remuzgo, J., Valdivia, L., Sales, F., Diego, G., & Abanto, C. (2016). Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia amazónica*, 25(1), 45–54.
- Thomazini, A., Mendonça, E., Teixeira, D., Almeida, I., La Scala, N., Canellas, L., & Schaefer, C. (2015). CO₂ and N₂O emissions in a soil chronosequence at a glacier retreat zone in Maritime Antarctica. *Sci. Total Environ*. 521, 336–345.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D., Jührbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E., & Wanger, T. (2011) Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *J. Appl. Ecol*. 48, 619–629.
- Umaña, J., & Pulgarín, A. (2013). Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falan, Tolima. *Revista Ciencia animal*, (6), 11-27.
- Wirth, C., & Schumecher, J. (2004). Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*. 24, 121-139.

X. ANEXOS

Anexo N° 01: Producción de biomasa aérea total de las plantaciones de café en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar.

CARBONO EN LA BIOMASA ARBOREA - CAFÉ									
Estrato	Código de la parcela	Planta	DAP (cm)	Altura (m)	Peso seco fuste (kg)	Peso seco ramas (kg)	Peso seco hojas (kg)	Biomasa arbórea total (kg)	Carbono = BS*0.5
PA	FSA	1	9.6	1.31	2.21	0.19	0.21	2.61	1.3
	FSA	2	14.7	1.92	4.42	0.73	0.23	5.38	2.69
	FSA	3	12.6	1.676	2.86	1	1.24	5.1	2.55
	FSA	4	11.1	1.79	2.82	0.47	0.29	3.58	1.79
	FSA	5	9.1	1.43	1.31	0.24	0.26	1.8	0.9
	DChB	6	8.9	1.58	1.07	0.27	0.09	1.42	0.71
	DChB	7	8	1.42	0.61	0.12	0.05	0.79	0.39
	DChB	8	8.6	1.67	0.74	0.31	0.14	1.2	0.6
	DChB	9	8.3	1.52	0.64	0.21	0.03	0.88	0.44
	DChB	10	7.3	1.85	0.14	0.13	0.02	0.29	0.14
	ABR	11	7.9	1.87	0.27	0.04	0.02	0.33	0.16
	ABR	12	8.2	1.53	1.16	0.15	0.05	1.37	0.68
	ABR	13	9.2	1.63	1.33	0.52	0.13	1.98	0.99
	ABR	14	11.5	1.85	2.74	0.74	0.16	3.63	1.82
	ABR	15	9.8	1.65	1.91	0.18	0.13	2.21	1.11
PM	ABRm	16	8.4	1.57	0.98	0.22	0.05	1.26	0.63
	ABRm	17	9.1	1.83	1.02	0.2	0.04	1.25	0.63
	ABRm	18	7.7	1.61	0.87	0.14	0.03	1.04	0.52
	ABRm	19	8.8	1.57	0.66	0.09	0.1	0.86	0.43
	ABRm	20	6.3	1.35	0.04	0.03	0.01	0.08	0.04
	RChG	21	9.2	1.66	1.33	0.45	0.11	1.89	0.95
	RChG	22	7.9	1.47	0.6	0.13	0.08	0.81	0.4
	RChG	23	8.1	1.62	0.64	0.25	0.05	0.94	0.47
	RChG	24	6.8	1.53	0.61	0.09	0.07	0.76	0.38
	RChG	25	8	1.63	0.77	0.18	0.07	1.01	0.51
	TChV	26	6.3	1.28	0.42	0.15	0.07	0.64	0.32
	TChV	27	10.8	1.69	2.51	0.51	0.15	3.17	1.59
	TChV	28	7.9	1.65	0.33	0.06	0.02	0.41	0.2
	TChV	29	13.1	1.94	3.33	0.58	0.14	4.04	2.02
	TChV	30	8.8	1.58	0.94	0.19	0.11	1.24	0.62

Anexo N° 02: Producción de biomasa aérea total de las plantaciones de guaba en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar.

CARBONO EN LA BIOMASA ARBÓREA - GUABA							
Planta	Estrato	Código de la parcela	Peso seco fuste (kg)	Peso seco ramas (kg)	Peso seco hojas (kg)	Biomasa arbórea total (kg)	Carbono (kg) = BS*0.5
Guaba	PA	FSA	67.42	21.91	6.59	95.92	47.96
Guaba	PA	FSA	68.50	24.60	4.10	97.20	48.60
Guaba	PA	FSA	45.96	14.93	5.00	65.88	32.94
Guaba	PA	DChB	85.64	19.05	3.44	108.12	54.06
Guaba	PA	DChB	36.31	16.63	4.66	57.59	28.80
Guaba	PA	DChB	68.66	14.01	4.48	87.14	43.57
Guaba	PA	ABR	75.39	6.51	2.93	84.84	42.42
Guaba	PA	ABR	71.23	16.59	5.69	93.52	46.76
Guaba	PA	ABR	44.88	18.74	5.04	68.66	34.33
Guaba	PM	ABRm	71.28	15.86	4.74	91.88	45.94
Guaba	PM	ABRm	41.75	10.76	4.95	57.45	28.73
Guaba	PM	ABRm	45.91	15.70	5.14	66.75	33.38
Guaba	PM	RChG	51.71	21.35	4.91	77.97	38.98
Guaba	PM	RChG	51.62	23.54	4.40	79.56	39.78
Guaba	PM	RChG	44.68	15.08	5.64	65.40	32.70
Guaba	PM	TChV	51.51	14.12	4.01	69.64	34.82
Guaba	PM	TChV	48.50	14.31	3.99	66.81	33.40
Guaba	PM	TChV	39.62	13.76	4.20	57.58	28.79

Anexo N° 03: Producción de biomasa aérea total de las plantaciones de Pashaco en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar.

CARBONO EN LA BIOMASA ARBÓREA - PASHACO							
Planta	Estrato	Código de la parcela	Peso seco fuste (kg)	Peso seco ramas (kg)	Peso seco hojas (kg)	Biomasa arborea total (kg)	Carbono (kg) = BS*0.5
Pashaco	PA	FSA	74.67	26.85	4.76	106.28	53.14
Pashaco	PA	FSA	111.63	25.41	5.46	142.50	71.25
Pashaco	PA	FSA	106.64	24.08	3.97	134.70	67.35
Pashaco	PA	DChB	82.63	23.22	8.42	114.26	57.13
Pashaco	PA	DChB	115.40	18.51	6.04	139.95	69.98
Pashaco	PA	DChB	68.26	17.86	4.85	90.97	45.49
Pashaco	PA	ABR	84.18	21.15	6.99	112.32	56.16
Pashaco	PA	ABR	102.22	18.52	4.49	125.23	62.62
Pashaco	PA	ABR	71.77	17.24	4.88	93.88	46.94

Anexo N° 04: Encuesta de colecta de información para agricultores

ENCUESTA

Nombre del encuestador.....
 Fecha..... Centro Poblado.....
 Distrito..... Provincia.....
 Nombre del entrevistado.....
 Nombre del propietario..... Código parcela.....

I. RELACIONADAS A LA CHACRA

1. **Área (Ha):**.....
2. **Ubicación de referencia:**.....
3. **Cultivos diferentes a café**
 Cultivo 1:.....
 Cultivo 2:.....
 Cultivo 3:.....
4. **Actividades/jornales cultivo 1:**
 Apertura:..... Mantenimiento:.....
 Siembra:..... Cosecha:.....
5. **Insumos/Costos cultivo 1:**
 Apertura:..... Mantenimiento:.....
 Siembra:..... Cosecha:.....
6. **Actividades/jornales cultivo 2:**
 Apertura:..... Mantenimiento:.....
 Siembra:..... Cosecha:.....
7. **Insumos/Costos cultivo 2:**
 Apertura:..... Mantenimiento:.....
 Siembra:..... Cosecha:.....
8. **Actividades/jornales cultivo 3:**
 Apertura:..... Mantenimiento:.....
 Siembra:..... Cosecha:.....
9. **Insumos/Costos cultivo 3:**
 Apertura:..... Mantenimiento:.....
 Siembra:..... Cosecha:.....
10. **Accesibilidad**
 Tipos: Trocha () Carretera () Río () Quebrada () Otro:.....
11. **Tiempo a Centro Poblado:**.....

II. RELACIONADAS A CAFÉ CON O SIN SFAs

1. **Tipo de café:**.....
2. **Cultivos y árboles asociados (nombre)**

Árboles asociados	Árboles

3. **Edad de SAFs:**.....

4. **Producción aprox. anual de café de los dos últimos años**

Año 2015:

Año 2016:

5. **Motivos de establecer SAFs:**

.....
.....
.....
.....
.....
.....

III. CARÁCTERÍSTICAS DE CASA Y HOGAR

1. **Tiempo en lugar (años)**.....

2. **Miembros del hogar:**.....

Parentesco	Edad	Educación

3. **Rango de ingreso aprox. Mensual**

a) < 500 b) 500-1000 c) 1000-1500 d) 1500-2000 e) >2000

MAPA PARLANTE

PANEL FOTOGRÁFICO



Imagen N° 01: Encuesta a una de las propietarias de los terrenos agrícolas seleccionados para el muestreo



Imagen N° 02: Encuesta a un poblador agrícola del Anexo de Vilaya



Imagen N° 03: Toma de puntos con GPS en el límite de los policultivos de cafe-guaba



Imagen N° 04: Toma de puntos con GPS en el límite de los policultivos de cafe-guaba-pashaco



Imagen N° 05: Delimitación de las áreas de 100 m² para el muestreo de café



Imagen N° 06: Delimitación de las áreas de 1 m² para el muestreo de maleza y hojarasca



Imagen N° 07: Medida del diámetro a la altura del pecho de las plantas de café



Imagen N° 08: Derribo de las plantas de café con el personal de apoyo



Imagen N° 09: Derribo de las plantas de guaba con el personal de apoyo



Imagen N° 10: Derribo y toma de muestra representativa de las plantas de pashaco con el personal de apoyo



Imagen N° 11: Toma de muestra de ramas de pashaco, separando ramas principales de ramas secundarias para proceder a pesar



Imagen N° 12: Corte de muestra representativa del fuste de pashaco luego del pesado



Imagen N° 13: Separación del fuste de las plantas de café para su pesado



Imagen N° 14: Separación de ramas primarias y secundarias de las plantas de guaba para su pesado



Imagen N° 15: Muestras representativas del pashaco

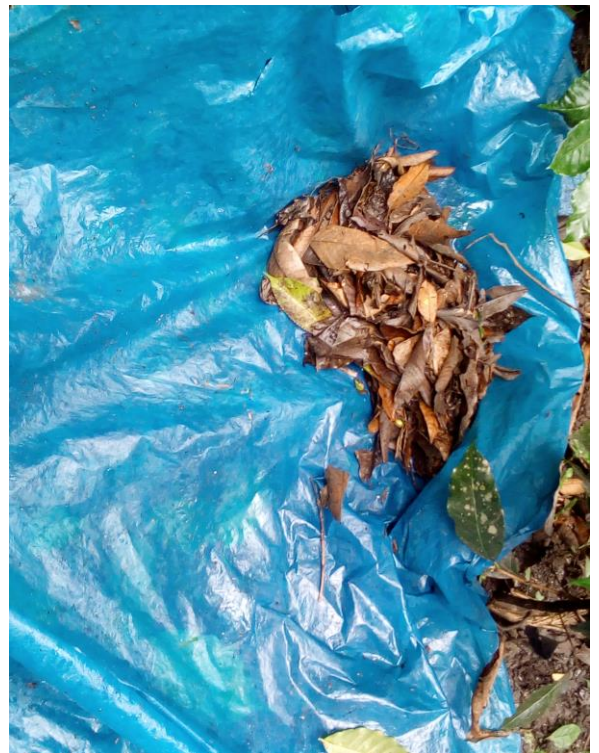


Imagen N° 16: Muestras de hojarasca



Imagen N° 17: Toma de muestras de suelo



Imagen N° 18: Medida de la profundidad del suelo



Imagen N° 19: Preparación de las muestras representativas para su traslado al laboratorio



Imagen N° 20: Colocado de las muestras representativas en la estufa para su secado



Imagen N° 21: Peso seco de la muestra representativa de pashaco



Imagen N° 22: Peso seco de la muestra representativa de café