

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Captura de carbono en suelos bajo dos sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) con fines de mitigación ambiental en la región San Martín

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORA

Yoksuny Bibiana Medina Macas

ASESOR

Carlos Hugo Egoávil De la Cruz

Rioja, Perú

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 003 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 02:00 p. m. del día 16 de diciembre de 2021 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|---------------------------------------|-----------------|
| 1. Mirton Enrique Crisólogo Rodríguez | presidente |
| 2. Edith Arias Arone | primer miembro |
| 3. Claudia Liliana Gutiérrez Rosas | segundo miembro |
| 4. Carlos Hugo Egoávil De la Cruz | asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Captura de carbono en suelos bajo dos sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) con fines de mitigación ambiental en la región San Martín** que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, **Yoksuny Bibiana Medina Macás** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 16 de diciembre de 2021.



Mirton Enrique Crisólogo Rodríguez
PRESIDENTE



Edith Arias Arone
1° MIEMBRO



Claudia Liliana Gutiérrez Rosas
2° MIEMBRO



Carlos Hugo Egoávil De la Cruz
ASESOR

Dedicatoria

Agradecer primeramente a Dios, por darme las fuerzas necesarias, la sabiduría e inteligencia.

Esta tesis es dedicada con mucho amor y cariño para mi mamá María Anita Macas Cueva. Gracias mamá porque tu presencia y tu apoyo incondicional han ayudado a construir y forjar la persona que día a día me voy formando con valores que me inculcaste en mi niñez.

A mis hermanos, hermanas que siempre han estado conmigo brindándome su apoyo.

Agradecimiento

- A mi asesor Ing. Egoávil De la Cruz, Carlos Hugo por su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, tanto en el desarrollo de esta tesis, como también en mi formación profesional durante los años de estudios universitarios en la universidad. Mi afecto y reconocimiento especial.
- Al señor Francisco Cruz Chasquero por su apoyo moral, sus consejos. Mi afecto y reconocimiento especial.
- A Vilma Altamirano Cubas, Yanesita Altamirano Cubas y la familia Altamirano Cubas gracias por ser parte de los míos por ese cariño que me brindaron, por sus consejos, además de sus conocimientos compartidos. A ellos mi afecto y reconocimiento especial.
- Y por encima de todo, y con todo mi amor gracias a los míos por estar incondicionalmente conmigo durante estos años mi Gabrielita Macas Cueva siempre serás la mejor mamá gracias por tu apoyo incondicional, hermanos Juan Medina Macas, Rosa Acuña Macas, Ety Medina Macas, Iris Medina Macas, Eny Medina Macas y Susi Medina Macas. Y gracias a los que ya no están y que desde el cielo guían mis pasos Adelaido Medina García te extraño papá, Addias Medina Macas hermano te extraño. A ellos mi afecto y reconocimiento espacial.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Bases teóricas especializadas	12
1.2.1. Café como sistema agroforestal	12
1.2.2. Ventajas y desventajas de los sistemas agroforestales de café	14
1.2.3. Métodos de estimación para la captura de carbono en sistemas agroforestales.....	15
1.2.4. Descripción de las especies evaluadas.....	16
1.2.5. Ciclo del carbono	17
1.2.6. Pagos por servicios ambientales.....	19

1.2.7.	El suelo.....	21
1.2.8.	El Nitrógeno en el suelo.....	23
1.2.9.	Normas generales en relación al ambiente.....	23
CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS		25
2.1.	Diseño de la Investigación.....	25
2.1.1.	Lugar y Fecha	25
2.1.2.	Descripción del experimento	27
	Fase preliminar.....	28
	Fase de campo	28
	a). Determinación de las unidades de muestreo	28
	b). Recolección de muestras.....	30
	c). Muestreo de Necromasa (hojarasca)	32
	Fase de Laboratorio y gabinete.....	33
2.1.3.	Tratamientos del estudio	34
2.1.4.	Identificación de las variables y su mensuración.....	35
2.1.5.	Diseño estadístico del experimento	37
2.1.6.	Análisis Estadístico de Datos.....	37
CAPITULO III: RESULTADOS		39

3.1. Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con “guaba” (<i>Inga</i> sp.)	39
3.2. Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con árboles forestales	40
3.2.1 Carbono total en el suelo con cultivo de café bajo dos sistemas agroforestales, con guaba y con especies forestales.....	42
3.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo (dap, M.O. y N total) bajo dos sistemas agroforestales de producción de café en San Martín.....	43
3.3.1 Densidad aparente de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales	43
3.3.2 Materia orgánica de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales	44
3.3.3 Contenido de nitrógeno (N) de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales.....	46
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	48
CAPITULO V: CONCLUSIONES	53
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS	56
TERMINOLOGÍA.....	68
APENDICE.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Tratamiento en estudio</i>	27
Tabla 2. <i>VARIABLES en estudio</i>	27
Tabla 3. <i>ANOVA del contenido de Carbono total capturado en el suelo en las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado con guaba</i>	33
Tabla 4. <i>ANOVA del contenido de C total capturado en el suelo en las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado con forestales</i>	34
Tabla 5. <i>ANOVA del contenido de C capturado en el suelo en las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café con guaba o arboles forestales</i>	36
Tabla 6. <i>ANOVA de la dap del suelo en las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado con guabas o especies forestales</i>	37
Tabla 7. <i>ANOVA del porcentaje de M.O del suelo en las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café con guaba o especies forestales</i>	38
Tabla 8 . <i>ANOVA del porcentaje de N del suelo en las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas d siembra de café con guaba o especies forestales</i>	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Almacenamiento de carbono debajo y sobre la superficie	14
<i>Figura 2.</i> Mapa de las localidades Lamas-Alto Chontal y Moyobamba-Jepelacio.....	22
<i>Figura 3.</i> Plantaciones de café con guaba.....	23
<i>Figura 4.</i> Medición de la parcela.....	34
<i>Figura 5.</i> Delimitación del terreno.....	35
<i>Figura 6.</i> Distribución de las parcelas de muestreo.....	36
<i>Figura 7.</i> Calicata para muestreo de suelo.....	37
<i>Figura 8.</i> Medición de la profundidad del suelo.....	39
<i>Figura 9.</i> Recolección de las muestras	37
<i>Figura 10.</i> Recolección de la muestra del suelo en el densímetro	34
<i>Figura 11.</i> Recolección de la hojarasca.....	34
<i>Figura 12.</i> Prueba de Tukey para el contenido de C total en el suelo de las provincias Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado con guaba.....	34
<i>Figura 13.</i> Prueba de Tukey para el contenido de C total en el suelo de las provincias Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a arboles forestales.....	35
<i>Figura 14.</i> Prueba de Tukey de la dap del suelo de las provincias Lamas y Moyobamba en los SAF café asociado a arboles guaba o especies forestales.....	37

Figura 15. Prueba de Tukey de la densidad aparente del suelo de las provincias Lamas y Moyobamba en los SAFs café asociado a arboles de guaba y especies forestales40

Figura 16. Prueba de Tukey del porcentaje de M.O del suelo en las provincias Lamas y Moyobamba40

Figura 17. Prueba de Tukey del porcentaje de N del suelo de las provincias Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles de guaba o especies forestales.....40

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Resultados de los análisis de suelos de un suelo cafetalero bajo un SAF en la provincia de Lamas.....	64
Apéndice 2. Resultados de los análisis de suelos de un suelo cafetalero bajo un SAF en la provincia de Moyobamba.....	65
Apéndice 3. Fotografías de las fases de campo y laboratorio.....	69
Apéndice 4. Parámetros para la interpretación de las características generales de los resultados de análisis de suelos	80
Apéndice 5. Mapa de ubicación del área de estudio y parcelas de muestreo.....	82
Apéndice 6. Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de café con frutales.....	84
Apéndice 7. Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de café con forestales.....	85
Apéndice 8. Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de café con guaba y forestales	86
Apéndice 9. Propiedades fisicoquímicas del suelo (Dap, MO y N) bajo dos sistemas agroforestales.....	87

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo cuantificar la captura de carbono en suelos bajo dos sistemas de producción de “café” (*Coffea arabica* L.) en la región San Martín. Se empleó el diseño de bloques completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos y cuatro bloques conformado por dos provincias (Lamas y Moyobamba) y dos sistemas de producción (café con guaba y café con shaina + moena), haciendo un total de 16 unidades experimentales. Los tratamientos se establecieron en parcelas de 1 ha de café entre 8 a 9 años de edad, se realizó muestreos de suelo de 16 subparcelas en dos horizontes de suelo (0-20cm y 20-30 cm de profundidad). Estas muestras colectadas se mezclaron y se homogenizaron para obtener una sola muestra y ser analizadas en el laboratorio de suelo PEAM (Proyecto Especial Alto Mayo) Nueva Cajamarca. El contenido total de carbono en el suelo para la provincia de Lamas (Alto Chontal) café con árboles de guaba fue de 78,68 t C. ha⁻¹ (los resultados sin transformar obtenidos fueron 52,17 a 52,08 % para la provincia de Lamas) y café con árboles forestales (shaina) fue de 84,30 t C. ha⁻¹. Asimismo, el contenido de carbono total del suelo de café con especies forestales (moena) para la provincia de Moyobamba (Jepelacio) es más alto con 86,42 t C. ha⁻¹ y carbono en el suelo de café más guaba es 81,13 t C. ha⁻¹ (en la provincia de Moyobamba los datos obtenidos de carbono total en el suelo sin transformar fueron de 50,00 a 51,62 %).

El estudio ha demostrado que el contenido de Carbono en las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de producción de guaba y especies forestales no muestra diferencias significativas $P \leq 0.05$, por lo tanto, los sistemas de café juegan un papel importante en el almacenamiento de la captura de Carbono.

Palabras claves: Café, Carbono orgánico, Carbono total, forestal, guaba, sistemas agroforestales, San Martín.

ABSTRACT

The objective of the research was to quantify carbon sequestration in soils under two "coffee" (*Coffea arabica* L.) production systems in the San Martín region. A completely randomized block design (CRD) was used, with four treatments and four blocks formed by two provinces (Lamas and Moyobamba) and two production systems (coffee with guaba and coffee with shaina + moena), making a total of 16 experimental units. The treatments were established in plots of 1 ha of coffee between 8 and 9 years old. 16 subplots were sampled in two soil horizons (20 cm and 30 cm deep). These collected samples were mixed and homogenized to obtain a single sample to be analyzed in the soil laboratory PEAM (Alto Mayo Special Project) Nueva Cajamarca. The total soil carbon content for the province of Lamas (Alto Chontal) coffee with guaba trees is 78,68 t C. ha⁻¹ (The untransformed results obtained are from 52,17 to 52,08 % for the province of Lamas) and coffee with forest trees (shaina) is 84,30 t C. ha⁻¹. Likewise, the total soil carbon content of coffee with forest species (moena) for the province of Moyobamba (Jepelacio) is higher at 86,42 t C. ha⁻¹ and soil carbon in coffee plus guaba is 81,13 t C. ha⁻¹ (In the province of Moyobamba, the data obtained for total carbon in the untransformed soil were from 50,00 to 51,62 %).

The study has shown that the Carbon content in the provinces of Lamas and Moyobamba in the production systems of guaba and forest species does not show significant differences $P \leq 0.05$, therefore the coffee systems play an important role in the storage of the Carbon capture.

Keywords: *Coffea*, Organic carbon, total carbon, forest, guaba, agroforestry systems, San Martín.

INTRODUCCIÓN

A inicios de la era industrial (siglo XVIII), la población incrementó sus actividades de extracción sobre los recursos naturales, cuya finalidad fue generar productos y bienes para la sociedad en crecimiento vertiginoso. Tal es así que, el impacto del desarrollo industrial ha afectado seriamente la composición de la atmósfera mundial generando un desequilibrio del intercambio energético entre el sol, la superficie terrestre y el espacio sideral, contribuyendo así al efecto invernadero (Pérez *et al.*, 2005).

El secuestro de carbono (C), orgánico e inorgánico, representa un importante y valioso servicio ambiental (SA) del suelo en las regiones en donde las condiciones climáticas limitan el desarrollo de la cobertura vegetal. Es por ello que en los ecosistemas de las regiones áridas el suelo es el gran sumidero de C, a diferencia de los ecosistemas templados y tropicales en los que el C está secuestrado en la biomasa vegetal (Ayala *et al.*, 2018). Los suelos tropicales también requieren atención y medidas de conservación, ya que por ser abundantes en biomasa suelen deforestarse para explotar sus recursos maderables o emplearse para la agricultura intensiva, lo que ha provocado su infertilidad (Pérez *et al.*, 2005). Los bosques cubren una tercera parte del sistema terrestre y, por lo tanto, el carbono que se almacena en los suelos forestales representa una tercera parte del total de carbono del suelo a un metro de profundidad, que aproximadamente es de 1500 Gt (Pérez *et al.*, 2005). Lo anterior ha llevado a la conclusión de que los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso del suelo, por lo que es importante considerar el manejo de los bosques para la fijación del Carbono (Pérez *et al.*, 2005).

La ley Marco sobre el Cambio Climático N° 30754 (2018) implica numerosas variables como los ciclos del agua, vientos solares y posición de la luna, principalmente afecta los ecosistemas, estos cambios directa o indirectamente son producidos por la actividad humana. Asimismo, se opta por buscar iniciativas eficaces para mitigar los daños causados con la finalidad de que el Perú cumpla el convenio internacional asumido en la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Mediante la fotosíntesis, la flora

asimila CO₂ atmosférico, forma carbohidratos y aumenta su volumen. (Garzón y Cárdenas,2013).

A pesar de que la actividad agrícola es la responsable del 14 % de gases de efecto invernadero, también alberga sumideros de carbono (Garzón y Cárdenas, 2013), principalmente en forma de sistemas agroforestales en el suelo (Pérez *et al.*, 2005). Esta importancia se refleja en la meta 15.3 de los objetivos de desarrollo sostenible, que consiste en lograr la neutralidad mundial de degradación de tierras, y en particular en uno de sus tres indicadores: “tendencias en las reservas de carbono en y bajo la superficie de la tierra”, para el que se miden las reservas de carbono orgánico en los suelos (Beenhouwer *et al.*, 2016). Por ello, los múltiples beneficios del carbono orgánico en los suelos son a menudo ignorados y corren el riesgo de perderse (Beenhouwer *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 atmosfera, 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 especialmente en las hojas (Andrade y Ibrahim, 2003). Por ende, también son capaces de utilizar sus estructuras leñosas para guardar los gases en forma de carbono por periodos prolongados. (Garzón y Cárdenas *et al.*, 20013).

La estimación del potencial de captura de carbono en suelos considera dos aspectos primordiales: la existencia original de carbono y los cambios en las existencias del mismo. (Andrade *et al.*, 2012) afirma que , con la apertura del mercado doméstico de carbono, como consecuencia de la Ley de carbono 1819 del 2016,la reforestación traerá consigo impactos favorables al generar ingresos económicos a través de la venta de bonos de carbono, siendo importante incentivar la reforestación de especies forestales; los sistemas constituyen en una estrategia de fijación de paisajes de naturaleza agrícola que han perdido su cobertura original, asimismo, los sistemas agroforestales de café de baja intensidad ,también colaboran en el almacenamiento de carbono 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).

Este estudio experimental evaluó la captura de carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con “guaba” *Inga* sp. L. y un sistema de producción de “café” con sistemas agroforestales, al mismo tiempo se determinó las propiedades fisicoquímicas del suelo (densidad aparente, materia orgánica y nitrógeno total) bajo dos sistemas de producción de “café” (café con *Inga* sp. y café con especies agroforestales) para fines de mitigación ambiental en las provincias de Moyobamba y Lamas, que servirían como base para futuros inventarios de carbono en la región San Martín, permitiendo valorar las fincas de café como un sumidero de carbono que ayuden a mitigar el cambio climático global y poder acceder a mercados internacionales en la venta de bonos de carbono.

OBJETIVOS

Objetivo General

Cuantificar la captura de carbono en suelos bajo dos sistemas de producción de “café” (*Coffea arabica* L.) con fines de mitigación ambiental en la región San Martín.

Objetivos Específicos

- Evaluar la captura de carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con “guaba” (*Inga* sp.).
- Calcular la captura del carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con sistemas agroforestales.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo (densidad aparente, materia orgánica y nitrógeno total) bajo dos sistemas de producción de “café” (café con *Inga* sp. y café con especies agroforestales) para fines de mitigación ambiental.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Ámbito nacional

Solis *et al.*, (2020) evaluaron los contenidos de carbono y el uso de árboles de sombra en diferentes sistemas cafetaleros de las provincias de El Dorado, Lamas y Moyobamba, Perú con tres sistemas de siembra de café: (1) con sombra de policultivo: (2) con sombra de *Inga* y (3) Sin sombra entre 7 y 12 años. Para estimar la biomasa aérea se realizó una parcela de 16 m x 25 m con subparcelas de 4 m x 25 m para facilitar la evaluación de árboles y arbustos de café, asimismo se evaluó madera muerta y basura (hojas, ramas, flores y frutos). Tomaron muestras de suelo tres profundidades (0-10 cm, 10-30 cm y 30-60 cm) usando un cilindro. El carbono almacenado en los árboles fue determinado mediante ecuaciones alométricas. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando R versión 3.4.1. (R Core Equipo, 2019). La normalidad fue comprobada mediante la prueba de Shapiro-Wilk ($P < 0.05$) y utilizaron ANOVA para comparaciones múltiples y la prueba de Tukey. Los resultados muestran que el total de carbono en el sistema de café con sombra fue de 189 t C. ha⁻¹, mientras que café con *Inga ssp.* y sin sombra fueron de 146 y 113 t C. ha⁻¹, respectivamente. El contenido de carbono fue mayor en los suelos con un 67, 82 y 96 % en los sistemas agroforestales (SAF) y asociado a guaba, respectivamente. El índice de Shannon-Weiner y los valores de riqueza de especies de árboles fueron los más altos para los SAF de café, con un total de 18 especies de árboles identificadas como fuentes importantes de forraje, alimentos, leña, y medicinas. Los autores concluyeron que los sistemas agroforestales de café juegan un papel importante en el almacenamiento de carbono, mientras se promueve la conservación de árboles útiles en paisajes agrícolas en la amazonia peruana.

Gutiérrez *et al.*, (2017) realizó una investigación para determinar el carbono almacenado por la unidad de vegetación juncal en el Área de Conservación Regional Albuferas de Medio Mundo (ACRAMM) - Huaura (Perú). El método involucra el muestreo de los diversos estratos en la aplicación, considerando los siguientes factores: juncos jóvenes, juncos maduros, juncos senescentes y juncos acompañantes. En cada área de estudio, la autora estimó 3 parcelas con una distancia de 0,5 m y 10 m del espejo de agua; suelo hasta una profundidad de 20 cm, raíces, corteza y parte aérea de las cañas del junco. El porcentaje de carbono se seleccionó aleatoriamente utilizando un horno de inducción ELTRA. Las variables estudiadas fueron: suelo, canal, raíces y parte aérea de la caña. Se estudiaron las variables: suelo, capa de canal, raíces y parte aérea de las cañas. Finalmente, el secuestro total de CO₂ fue de 4.378,76 t CO₂/ha⁻¹, y el secuestro total de CO₂ fue de 16.070,15 t CO₂ en los cañaverales de ACRAMM. La autora concluye que las plantas de totora no solo son de gran importancia para la población cercana a la zona por el uso de las totoras en la artesanía, sino también por la función sumergida que llena los humedales.

Cabrera *et al.*, (2016) estimaron el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales (SAF) con café en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca, cuya finalidad es generar un valor económico, ambiental y social; reconociéndolas de esta manera como sistemas con capacidad para capturar carbono orgánico. El estudio se llevó a cabo en 32 SAFs cafetaleros con sombra diversificada con altitudes que van de 1008 a 1850 m s.n.m; se procedió a utilizar ecuaciones alométricas y método cafeto. El trabajo fue realizado en parcelas de muestreo de 20 m x 30 m y sub parcelas de 1 m² en donde se realizó la evaluación de hojarasca, biomasa, carbono en el suelo y carbono en SAF. Para la realización de la ecuación alométricas, se trabajó con 29 arbustos de los 32 evaluados. Los resultados en biomasa del tallo del cafeto fueron de 45,55 %, hojas 28,9 % y ramas 17,69 %; en menor proporción se obtuvo en los frutos con 6,65 % y flores con 1,20 %. En esta encuesta, el valor más alto fue de 93,67 t .C/ha⁻¹ y el valor más bajo fue de 0,15 t .C/ha⁻¹ con una media de 28,16 t C/ha. La cantidad de carbono almacenado en SAF varió de 45,22 a 144,05 t C/ha⁻¹, con un promedio de 76,49 t .C/ha⁻¹. Los autores concluyen que los cafetales con variedad de árboles de sombra son ecosistemas con alto potencial de secuestro y almacenamiento de carbono, por lo que constituyen una alternativa importante para combinar mecanismos y estrategias, reducir las emisiones de carbono y generar nuevos beneficios. para los cafetaleros.

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. En cada sistema se instalaron tres secciones transversales de 100 m² (4 m x 25 m). Se evaluó la biomasa aérea, la hojarasca y el suelo (0-30 cm). Los bosques primarios y secundarios son más de 20 veces mejores que otros sistemas estudiados. En la composición del suelo, el bosque secundario contiene una reserva de carbono total de 113,94 hectáreas de carbono, y el bosque primario representa el 81 %; y los sistemas pijuayo, cacao y café con valores de 43,4 %, 48,7 % y 49,81 %, respectivamente, en comparación con los bosques primarios. En total, determinaron que las empresas de monocultivo de café almacenan 74,54 toneladas de café. Sus resultados también muestran que cambiar de bosque a especies arbóreas reduce la absorción de carbono.

Timoteo *et al.*, (2016) realizaron un estudio en tres sistemas agroforestales en el departamento de Huánuco (Perú) cuyo objetivo fue cuantificar la cantidad de carbono en la biomasa aérea y en el suelo de tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación. La metodología empleada consistió en el establecimiento de cuatro transeptos de 100 m², cuatro subparcelas de 1 m², cuatro subparcelas de 2,500 cm² y Cuatro pozos de muestreo de suelo a profundidades de 0-10 y 10-20 cm. Las variables evaluadas fueron: biomasa aérea de árboles, biomasa herbácea y arbustiva, caparzones (carcasas de hojas) y contenido de carbono en el suelo. Los resultados obtenidos durante el primer año de instalación mostraron que la acumulación de carbono en el sistema agroforestal (SAF₁) fue de 23,98 t/ha⁻¹ para suelo y 9,44 t/ha⁻¹ para biomasa y partículas aéreas, en SAF₂ fue de 25,39 t/ha⁻¹. Para suelo y 11,40 t CO/ha⁻¹ para biomasa y partículas aéreas, muestra en SAF₃ 25,83 t C/ha⁻¹ para suelo y 11,37 t C/ha⁻¹ para biomasa y partículas aéreas. La conclusión de los autores es que el 60 % del carbono total está representado por el carbono orgánico del suelo.

Concha *et al.*, (2007) Se realizó en el Perú en la región San Martín (provincias de San Martín y Mariscal de Cáceres) se evaluó la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de café (*coffea arabica L*) asociado con especies agroforestales maderables y frutales; con el fin de conocer el potencial de captura de carbono por cada sistema. La recopilación de carbono varía en cada sistema de 26,2 t Cha⁻¹ para un sistema agroforestal por 5 años hasta

45,07 t Cha⁻¹ de Pachiza Agricultura durante 12 años; De manera similar, la recuperación de carbono en las criaturas de biomasa de los árboles vivas varía de 12,09 tha⁻¹ a 35,5 t ha⁻¹, seguido de un papel de papel de biomasa por valor de 4 a 9, 97 t ha⁻¹ golpeado; Mientras que la biomasa de los árboles muertos y caídas se sirve un montón de valores bajos. El sistema agrícola y forestal entre 12 y 20 años representa el 66,7 % del sistema que contiene acciones de carbono mayor a 40 t C ha⁻¹; Si bien los sistemas agroforestales están ubicados en la órbita de 5 años en Juanjuí y Pachiza proporcionó la línea de carbono anual más grande, creando la mayor ventaja económica con créditos equivalentes de CO₂.

Lapeyre *et al.*, (2004) realizaron una investigación a fin de conocer el potencial de captura de carbono en bosque primario, bosque secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas sistemas agroforestales con “café” (*Coffea arabica* L.) bajo sombra y “cacao” (*Theobroma cacao* L.) en la región de San Martín (Perú), mediante la determinación de la biomasa. El método utilizado para instalar cinco veces una transferencia aleatoria en cada sistema y establecer transacciones cuadradas aleatorias para medir los resultados mostraron que el total de carbono en los bosques primitivos es de 485 t C / ha⁻¹, para ser la reserva forestal secundaria de 50 años y un bosque de 20 años, pagando 234 t C / ha⁻¹ y 62 t C / ha⁻¹; aunque se probó porque el carbono combina los bajos sistemas agrícolas, durante 5 t / ha⁻¹. El estudio concluyó que los sistemas de carbono agrícolas y agrícolas son menores de 6 en el bosque natural, con carbono más grande. Además, las grandes pérdidas de carbono se crean cambiando los accesorios forestales con cultivos agrícolas.

Ámbito Internacional

Läderach *et al.*, (2017) cuantificaron el impacto del cambio climático sobre el desarrollo del cultivo de café con alta calidad en Nicaragua, para ello desarrollaron un modelo de adaptación en el tiempo y el espacio, cuya finalidad fue lograr una acción urgente para abordar los problemas de los cambios futuros en el clima y se pueda aplicar en los sistemas de cultivo del cafeto. Extrajeron las coordenadas geográficas de las fincas cafetaleras en los 3,155 polígonos en un área de 1,200 km² a una resolución espacial de 30 segundos de arco para un total de 4,919 píxeles. Seleccionaron una población de 295 fincas, que representaron el 0,66 % de las 44,519 fincas cafetaleras. Asimismo, evaluaron la acidez y el sabor con 15 catadores selectos. Obtuvieron datos climáticos con más de 10 años de anterioridad en

precipitación total mensual y temperaturas mínimas y máximas medias, para ello utilizaron el formato raster y proyección WGS84. Los resultados mostraron que para el 2050 existe una tendencia de incremento de temperatura y moderada baja de precipitación. La temperatura media anual probablemente se incremente en 2,2 ° C, mientras que la temperatura media diaria aumentará de 10,4 ° C a 10,6 ° C. Se proyecta que la precipitación promedio anual total disminuya de 1740 mm a 1610 mm. Los autores concluyeron que el café arábico, se verá afectado por el cambio climático. Para el 2050 las áreas de cafeto se moverá aproximadamente 300 m hacia arriba en el gradiente altitudinal. Los agricultores de las zonas más bajas ya no podrán cultivar café de calidad y es posible que tengan que abandonarlo.

Ehrenbergerová *et al.*, (2016) investigaron el almacenamiento de carbono en el suelo de plantaciones de café con especies agroforestales con diferentes árboles de sombra dominantes, incluido *Inga* spp., *Pinus* spp y *Eucalyptus* spp con certificación orgánica. Con la finalidad de contribuir a la preservación y plantación de árboles de sombra en beneficio del secuestro de carbono. Este estudio fue realizado en el distrito de Villa Rica, Perú. Se seleccionaron plantaciones de café asociado a *Inga* spp y otras sin árboles, con una textura franca (arcilla 15,0 %, limo 37,0 %), con un suelo extremadamente ácida. Las mediciones de campo se realizaron en 2011 y 2012. Los diámetros a la altura del pecho (DAP medidos a 1,3 m). En total se midieron 1,368 árboles en el sitio de *Inga*, 492 en el sitio de *Pinus* y 511 en el sitio de *Eucalyptus*. Las alturas de los árboles se estimaron mediante la metodología propuesto por Ratkowsky (1990), para la biomasa aérea seca se empleó los modelos alométricos. Se utilizaron el software estadístico SYSTAT 13.1 (SYSTAT Software). Los resultados muestran que la biomasa aérea total estimada fue de 60,6±6,4 Mg ha⁻¹ para el sitio *Inga*, 124±9,4 Mg ha⁻¹ para el sitio *Pinus*, 107±6,2 Mg ha⁻¹ para el sitio *Eucalyptus* y aproximadamente 1.9±0,2 Mg ha⁻¹ para el café. El stock total de carbono en el sitio de *Inga* fue de 119,9±19,5 Mg ha⁻¹ de los cuales el 69 % se encontraba en el suelo y el 29 % en los árboles. El sitio de café contenía 99,7±17,2 Mg ha⁻¹, mientras que la hojarasca y los arbustos presentaron 1 y 0,2 %, respectivamente. Se concluyó que el contenido de carbono almacenado depende de la especie de árbol empleado como sombra. Asimismo, sugiere las plantaciones agroforestales de café sombreadas por especies de árboles como *Pinus* spp. y *Eucalyptus* spp. Son mejores almacenadores de carbono que los árboles locales de *Inga*.

Boreux *et al.*, (2016) investigaron la producción de café Robusta bajo diferentes prácticas de manejo, en particular riego, enclavado, adición de fertilizantes y estiércol y manejo de sombra. El estudio fue en el distrito de Kodagu (Karnataka, India), se dio inicio con la recopilación de datos sobre el manejo y la productividad del café de 113 plantaciones de *coffea canephora* entre 20 y 40 años, Las variables evaluadas fueron: efecto de los fertilizantes; deshierbos, densidad de cafetos y la producción de café. Se utilizó modelos lineales y lineales generalizados usando R, las correlaciones entre variables independientes se evitaron eliminando del análisis las variables consideradas menos interesantes. Los resultados muestran que la sombra no se correlacionó con la densidad de árboles de sombra, el 63 % de los agricultores agregaron cal para bajar la acidez del suelo y la toxicidad del aluminio y todos aplicaron fertilizante NPK. El pH del suelo varió de 4,5 a 6,3. Todos los agricultores deshierbaron manualmente sus cafetos. El número de inflorescencia fue $34,7 \pm 0,38$ y se correlacionó positivamente con la aplicación de cal y el cavado superficial del suelo. El aumento de la lluvia, el riego y la aplicación de estiércol incrementaron la retención de los granos de café en un 1,8 o 16,5 % por 500 mm de lluvia, 5,6 o 50,8 % con riego y 1,8 o 20 % con la adición de estiércol. Se concluye que las prácticas agrícolas difieren sustancialmente en los resultados de la producción de café y que pueden tener efectos múltiples y, a menudo, interactivos. Plantar cafetos con árboles de sombra tiene mucho sentido para la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos.

Hu *et al.*, (2015) evaluaron la densidad de carbono forestal y estudiaron la relación entre la densidad de carbono de la biomasa forestal y carbono orgánico del suelo, buscando seleccionar especies para forestación y reforestación utilizados para el secuestro de carbono. El estudio fue ubicado en la Provincial de Kanghe, China, en una parcela de 4 ha de reserva natural dividido en 100 cuadrantes de 20×20 m establecido a una altitud de 216 y 345 m s.n.m con pendiente entre $15,3^\circ$ y $45,7^\circ$. Se evaluó el diámetro a la altura del pecho (DAP). La altura de los árboles se midió con una vara y un clinómetro Junto. Se tomaron muestra superficial del suelo (0 - 25 cm de profundidad). Las diferencias en el DAP y la altura de los árboles en varias comunidades se evaluaron mediante un análisis de varianza unidireccional (ANOVA), seguido de la diferencia mínima significativa (LSD). El cálculo de TWINSPAN, MRPP se llevó a cabo utilizando PC-ORD 6,08. Los resultados muestran que el carbono de la biomasa de los árboles fue $136,34 \text{ Mg. ha}^{-1}$. El carbono orgánico de la

capa superior del suelo también difirió significativamente entre los grupos. Las 10 especies más dominantes combinadas fueron responsables del 89,7 % del total de existencias de carbono y las dos especies más dominantes tenían reservas de carbono de 259,56 Mg y 101,20 Mg, respectivamente. Los árboles en pie representaron solo el 28,27 % del número total de individuos, pero un 95,74 % del stock total de carbono de la biomasa. El autor concluyó que tanto el carbono de la biomasa y carbono del suelo en el bosque subtropical dependen de la composición de las especies y la estructura de la comunidad, razón por la cual hay que tener en cuenta la heterogeneidad del bosque conformado y las especies presentes para asegurar obtener una precisión en el contenido del carbono forestal.

Alvarado *et al.*, (2013) midieron el almacenamiento de carbono orgánico de suelos (COS) en tres sistemas de producción de café, debido a que el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero vienen generando cambios climáticos en la tierra. El estudio fue en el municipio del Líbano, Colombia a una altitud de 1,565 m s.n.m. en fincas de cafetos como monocultivo, en sistemas agroforestales (SAF) con plátano (SAF-P; Musa AAB) y café en SAF con nogal cafetero (SAF-N; *Cordia alliodora*). Trabajado bajo un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos y cinco repeticiones. Para cada unidad experimental se muestrearon al azar 10 submuestras de suelos entre 0 y 30 cm de profundidad. Estas fueron homogenizadas y estimadas el carbono por el método de Walkley y Black (1934). Las variables fueron corridas por la normalidad y varianza a variables normales, las que no siguieron la normalidad se les realizó la transformación angular o arco seno; asimismo, se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey. Finalmente, se empleó el programa InfoStat. Los resultados muestran que el CO₂ varió entre 1,2 y 3,0 %. Sin embargo, la mayor acumulación se encontró en SAF-P (2,2 %), 5 y 16 % mayor, respectivamente, que en monocultivos y SAF-N. Los suelos de las plantaciones de café son ricos en carbono y oscilan entre 33,6 y 72,3 t C/ha⁻¹. El carbono orgánico en los 30 cm superiores del suelo no mostró una diferencia estadística ($p = 0,84$; $F = 0,18$; $gl = 12$) entre los sistemas de producción de café. Fue el régimen de café el que presentó mayor acumulación de COS en monocultivo, seguido del SAF-P y, por último, el SAF-N ($53,3 \pm 4,3$ vs. $52,8 \pm 4,3$ vs. $49,9 \pm 4,3$ t C·ha⁻¹). Los autores concluyeron que los sistemas de producción de café pueden almacenar carbono atmosférico en suelos capaces de mitigar el cambio climático; sin embargo, las plantaciones de monocultivos-café son mejores para el contenido de carbono orgánico del suelo.

Espinoza-Domínguez *et al.*, (2012) estimaron el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales (SAF) derivados del café en la región de Huatusco, zona de mayor producción de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México, para obtener información cuantitativa sobre el potencial de mitigación de carbono en los SAF regionales. Para ello, se estimaron reservorios de carbono en biomasa vegetal y materia orgánica del suelo en café, banano, café, macadamia, caqui arroz, café, ovejas y café agroforestería Calahui, y como referencia para el estado de los bosques no agrícolas, un bosque y se incluyó una bolsa con pastos naturales. Las muestras se recolectaron en parcelas de 4×25 m (100 m^2), donde se recolectaron plantas herbáceas y biomasa foliar, y la profundidad de muestreo para el suelo fue de 0-30 cm. El sistema agroforestal con mayor cantidad de carbono aéreo, estimado por modelos de correlación, es café-cedro rosado (Ca +Ce), con 114 mg C ha^{-1} , seguido del sistema café macadamia (Ca + Ma) con 34 mg C ha^{-1} ; café-calahuita (Ca + Ch), con 29 mg C ha^{-1} ; café- plátano velillo (Ca+ Pl), con 27 mg C ha^{-1} ; y finalmente el sistema silvopastoril (Sp), con 2 mg C ha^{-1} . En el caso de COS, el tratamiento (Ca+ Ce) fue el de mayor contenido de carbono oxidado en suelo, con 58 mg C ha^{-1} , y el de menor fue el tratamiento de campo (P), con 50 mg C ha^{-1} de materia orgánica total. de carbono en SAF, el tratamiento Ca+Ce tuvo el valor más alto, con 172 mg C ha^{-1} , y el tratamiento silvopastoril (Sp) tuvo el valor más bajo, con 65 mg C ha^{-1} . De los sistemas evaluados se concluyó que, en promedio, SAF almacena 102 mg C/ha^{-1} , el petróleo almacena 52 t C/ha^{-1} y los bosques primarios son el sistema que almacena la mayor parte del carbono total, con valores de Original 355 mg C ha^{-1} .

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Café como sistema agroforestal

Los sistemas agroforestales (SAFs) son ideales para la conservación del suelo. Cultivos agrícolas como el café y cacao asociado con árboles de sombra mejoran la calidad del suelo haciéndolo sostenible y amigable al medio ambiente y son fuente continua de producción con mayores incrementos en rendimiento de cosechas (Cardoso *et al.*, 2005). Además, los agricultores pueden recibir premios, como consecuencia de la certificación ambiental, en base a proyectos de concepto de reducción de emisiones provenientes de la deforestación y de la degradación de bosques (Jezeer y Verweij, 2015).

Es así que el sistema radicular de las plantas de café está asociado a diversos microorganismos como bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos micorrícicos que descomponen la materia orgánica del suelo mejorando la fertilidad e interviniendo en los ciclos biogeoquímicos como en la formación de la estructura del suelo (Hernández *et al.*, 2003).

La calidad del suelo de los SAF depende de muchos factores tales como físicas, químicas, biológicas y bioquímicas. Por lo tanto, se debe tener en cuenta cuando se realicen actividades agrícolas en los suelos que la actividad microbiológica es esencial para mantener la calidad de los suelos, la biomasa microbiana, sobre todo las aplicaciones químicas u otras actividades humana referidos a las malas prácticas agrícolas (Bastida *et al.*, 2008).

Los sistemas agroforestales permiten un aumento significativo de clima, suelo, tipo de vegetación y sistemas de producción en los sistemas agroforestales cafetaleros, los cuales se pueden clasificar en cinco categorías:

- Tradición o viaje.
- Trasplantes gestionados.
- Monocultivo (café tolerante a la sombra).
- Monocultivo (café con muchos árboles de sombra diferentes).
- Un sol brillante.

Este conjunto de técnicas para la agricultura de café, ha constituido uno de los sistemas más exitosos a nivel global de las tecnologías agroforestales. En la actualidad se sigue promoviendo la mixtura del manejo habitual de sombra con procesos moderados de los niveles de utilización de agroquímicos, para conseguir sistemas sostenibles y competitivos con tecnologías limpias de café de calidad (Medina, 2004).

Varios estudios han demostrado el análisis fundamental del café con sombra contra cafetales a descubierto a los rayos solares, como conservadores de la vegetación y fauna, microorganismos, aguas y suelos y exclusivamente como fijadores de carbono (Medina, 2004).

Muchos estudios han demostrado la importancia de los cultivos agrícolas de café asociado a árboles de sombra conservando el agroecosistema aéreo y el nivel de suelo; asimismo los sistemas agroforestales con café cumplen un papel importante en el almacenamiento de carbono en los suelos (Solis *et al.*, 2020). Otro de los factores a rescatar de los SAFs es que el productor evite que las áreas de cafeto se muevan a zonas más próximas a los bosques donde están las fuentes de agua natural promoviendo las condiciones favorables para que los agricultores de las zonas más bajas de producción de café puedan cultivar café de calidad sin tener que abandonar sus fincas (Läderach *et al.*, 2017). Fincas de café con árboles de sombra conservan mejor la vegetación, fauna, microorganismos, aguas y suelos y son exclusivamente fijadores de carbono (Medina, 2004).

1.2.2. Ventajas y desventajas de los sistemas agroforestales de café

Según Medina (2014), las ventajas y desventajas de la agroforestería son.

a). Ventajas

- Mejor y mayor uso de espacio vertical como de la radiación solar dentro del sistema entre los estratos vegetales.
- Mediante los árboles se incrementa las posibilidades de fijación de nitrógeno atmosférico.
- Ayuda a la recuperación de los suelos degradados.
- Mantenimiento de las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Contribución al control de la erosión.
- Se obtiene productos adicionales como: frutos, leña, madera, hojarasca, forrajes, madera, entre otros.
- Reduce los daños por enfermedades y plagas para los cultivos.
- Provee hábitat para mayor diversidad de especies.

b). Desventajas

- El microambiente que se genera puede propiciar la aparición de algunas plagas o enfermedades.
- Reducción de la cantidad de agua que llega al suelo por interceptación de parte de la lluvia.

- Posible obstaculización por parte de los árboles para la cosecha mecánica de los cultivos.
- Pérdida de recursos naturales en caso de que la madera y otros productos forestales sean cosechados y luego ser exportados fuera de la parcela.

1.2.3. Métodos de estimación de la captura de carbono en sistemas agroforestales

Evaluar las variables del total de carbono almacenado en sistemas agroforestales: carbono en biomasa, necromasa, suelo y raíces. Actualmente suelen considerar sólo los tres primeros debido a la complejidad para determinar el total de carbono almacenado en raíces (Andrade e Ibrahim *et al.*, 2003).

- Carbono en la biomasa:** existen dos métodos para evaluar y valorar la biomasa arbórea: métodos directos e indirectos. El método directo (o de embudo) se utiliza para construir la ecuación biométrica y el factor de expansión de la biomasa, lo que incluye cortar uno o más árboles, determinar la biomasa y el peso directo de cada componente (tallo, ramas, hojas) e inferir el resultado del área total. El método indirecto involucra el uso de ecuaciones o coeficientes de dispersión para que algunas dimensiones básicas obtenidas en el campo (generalmente 1,3 m de altura de diámetro y la altura total del árbol) puedan correlacionarse con características de interés. La ecuación de correlación se puede aplicar para calcular la biomasa total de un árbol midiendo su diámetro. Estas ecuaciones son generadas por medio de una técnica estadística llamada análisis de regresión (Rügnitz *et al.*, 2009).
- Carbono en el suelo:** Suele medirse a una profundidad de 30 cm como carbono orgánico. Sin embargo, los proyectos no le están dando la debida atención, ya que las negociaciones actuales de carbono no incluyen este componente, ya que es menos visible que la biomasa aérea. (Andrade y Ibrahim, 2003).
- Carbono almacenado en hojarascas 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).

Para determinar el contenido de carbono en el suelo es necesario iniciar realizando calicatas entre 3 a 5 en los extremos y centro de la parcela anidada de 20 x 20 m de la cual se extraen

muestras de suelo a 10; 20 y 30 cm de profundidad, donde son más notorios dichos cambios (IPCC, 2006). La muestra se extrae con una barrena con dimensiones establecidas en longitud y diámetro cuya finalidad es extraer muestras exactas y evitar las alteraciones, al mismo tiempo que te permite determinar la densidad aparente (Acosta *et al.*, 2002). Las muestras de suelo son secadas al mismo tiempo que se separan las raíces y piedras detectadas a simple vista utilizando un tamizador y unas tenazas; estas son disgregadas y homogenizadas. De esta muestra compuesta se toma una submuestra cerca de 5 g por cada muestra y son secaron en una estufa a 105 °C durante 2 h; después se trituran durante 3 minutos (tiempo estandarizado en un estudio realizado por Acosta-Mireles *et al.*, 2002). Estas muestras son llevadas al laboratorio para la determinación del porcentaje de carbono orgánico Propuesto por Walkley y Black (1934). Para determinar la cantidad de C acumulado en el componente suelo se emplea la fórmula propuesta por (Acosta *et al.*, 2002).

- **Estimación del valor económico del servicio ambiental por captura del CO₂**

Se ha considerado a los servicios ambientales como bienes obtenidos de los ecosistemas agroforestales, cuya finalidad es proporcionar muchos beneficios como el equilibrio ecológico, soporte ante una erosión debido a la caída directa de las gotas de lluvia, evita pérdida de suelos por erosión, mejora la biodiversidad del suelo y ambiente, etc. Uno de los factores más importantes pues es la fijación de carbono ya sea en el suelo o parte aérea de los bosques, generado a través del proceso de fotosíntesis. De esta forma, la concentración excesiva de CO₂ se reduce y, por lo tanto, disminuye el efecto invernadero (Meneses y Zamora, 2018).

1.2.4. Descripción de las especies evaluadas

A. Café (*coffea arabica* L.)

El café arábico es el tipo de café más antiguo y considerado el más delicioso. Es más aromático, menos amargo y contiene menos cafeína. Las semillas son alargadas y tienen una incisión curva. Arábica madura dentro de 9 a 11 meses. Su participación en el comercio mundial es más del 60 %. Se cultiva principalmente en Brasil, Colombia y América Central. (Medina, 2006).

B. Guaba (*Inga edulis*)

La guaba es un árbol acorazado, de hojas anchas y ramas anchas que crece hasta los 30 m sobre el nivel del mar, con un diámetro de tronco de 30-60 cm. Tiene un cuerpo cilíndrico recto y piel de color marrón claro. Sus hojas son paripinnadas, de 15 a 25 cm de largo. Flores hermafroditas, ovario superior, blancas; Puede medir de 3,5 a 4 cm de diámetro. (Falcao y Clement, 2000).

C. *Shaina* (*Colubrina glandulosa*)

Las especies de *Shaina* se encuentran en la selva y formaciones ecológicas del bosque tropical de pre-montano, en la provincia de San Martín.

Presenta altura Comercial promedio de 5,4 m, dap de 41,4 cm, forma de raíces recto y con presencia de aletas, con corteza agrietada, de color parda y con presencia de manchas blancas, tiene una exudación tipo gomas (Windsor, 2002).

D. *Moena* (*Aniba gigantiflora*)

Árbol de 30-80 cm de diámetro y 20-30 m de altura, con fuste cilíndrico, la ramificación monopódica desde el segundo tercio, la base del fuste recta o con aletas pequeñas (Hidalgo *et al* 2016).

1.2.5. Ciclo del carbono

El ciclo del carbono es fundamental, considerado como la principal fuente de flujo de carbono procedente de la superficie del suelo y uno de los componentes cruciales dentro del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres (Raich y Schlesinger, 1992). Para el desarrollo de los organismos, este se almacena en compartimentos en la atmósfera, los combustibles fósiles, los océanos, la vegetación y los suelos del ambiente que nos rodea (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2000).

Hoy en día es posible determinar si un ecosistema dado se comporta como fuente o sumidero de CO₂ (Jassal *et al.*, 2007). La absorción del CO₂ atmosférico por las plantas a través de la

fotosíntesis está en equilibrio con la respiración de las plantas y el suelo (Bolin y Sukumar, 2000).

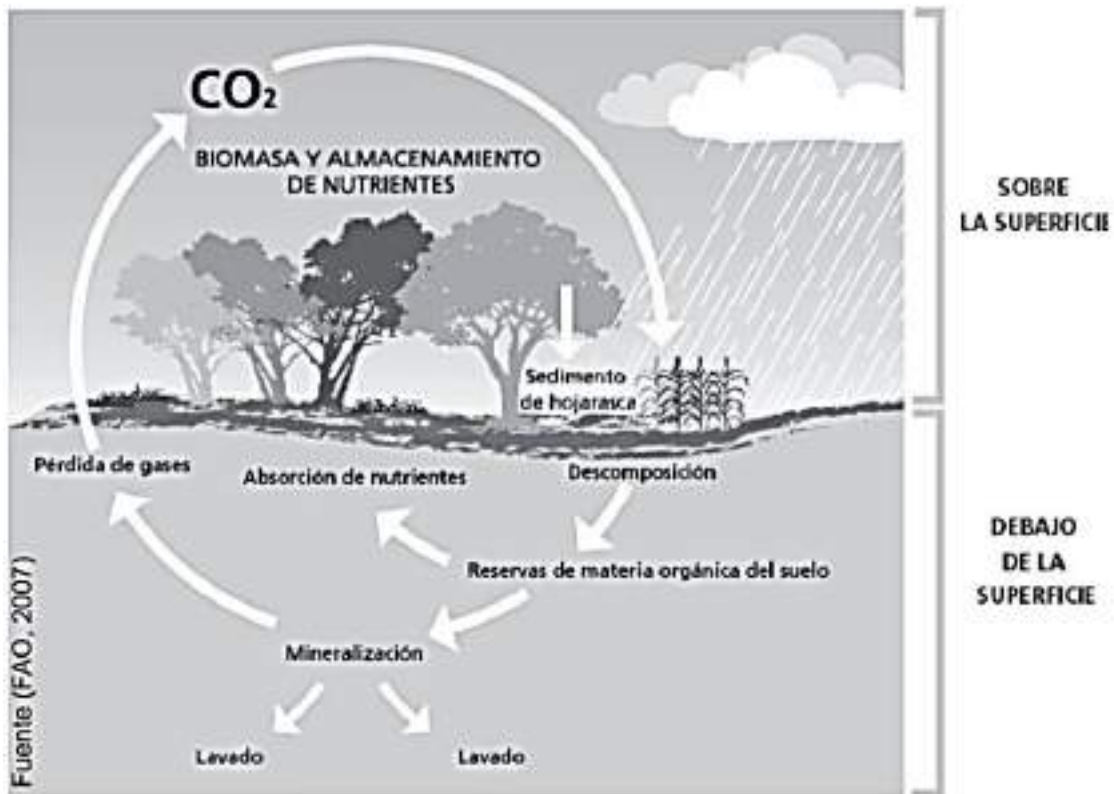


Figura 1. Almacenamiento de carbono debajo y sobre la superficie. Fuente: FAO, (2007)

El carbono en un sistema de suelo se puede almacenar en cinco divisiones consideradas: biomasa geológica, oceánica, atmosférica, del suelo y forestal. Se estima que entre 730,800 gr y 791,700 gr de carbono se almacenan en la atmósfera, principalmente en forma de dióxido de carbono (CO₂). Con una porción de flora que se encuentra capturado (aproximadamente en forma transitoria) 850 Pg de carbono, de los cuales en materia viva están 550 Pg y como necromasa otros 300 Pg (Gallardo y Merino, 2007).

a). Captura de Carbono en el suelo

Los procesos de captura y manifestación de carbono forman un procedimiento de cuatro reservorios de carbono flora aérea y esencial, elemento en desintegración y suelos productos forestales con tiempos de dirección y flujos asociados estrechamente diferentes interrelacionados (Olguín, 2001), también los contenidos de carbono en la tierra dependen de los principales factores a un extenso vencimiento, en los cuales influyen la formación del suelo y estos pueden ser modificados, degradados o mejorados por las actividades antrópicas del ser humano (Oliva y García-Oliva, 1998).

- **Diferentes escenarios de la captura de carbono**

Sin embargo, cuando son perturbados o destruidos, las reservas de este elemento en la biomasa aérea son removidas de forma parcial o total del lugar de origen y, posteriormente, transformadas en productos maderables o liberadas a la atmósfera por combustión o en un periodo más largo mediante descomposición microbiana (Ordoñez *et al.* 2008). Márquez (2000) afirma que los ecosistemas terrestres juegan un papel importante en el ciclo global del carbono, en tanto el manejo forestal puede formar una excepción sustancial a vigilar los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. Algunas actividades que pueden cooperar son: recuperación de bosques, forestación, agroforestería.

- **Stock y flujos de carbono en los sistemas agroforestales**

Los sistemas agroforestales son importantes reservorios de dióxido de carbono, tienen una capacidad de almacenamiento promedio de 95 t C, los árboles son la base de estos sistemas y juegan un papel importante en el ciclo global del carbono, ya que los árboles que crecen en ellos acumularán dióxido de carbono y convertirlo en biomasa. Por otro lado, la conversión de bosques para fines agrícolas, como ocurre en algunos sistemas agroforestales, aporta alrededor del 20 % de las emisiones globales contemporáneas, que surgen principalmente con alguna materia en descomposición presente en el sistema y también por el uso un poco de fertilizante (Gallardo y Merino, 2007).

1.2.6. Pagos por servicios ambientales

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 *et al.*, 2013).

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). 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).

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 *et al.*, 2016).

El cultivo de café asociado a sistemas agroforestales con un diseño planificado y bien estructurado mejoran los rendimientos de cosecha, proporcionan madera como subproductos y generan servicios ambientales en áreas rurales sobre todo en países en subdesarrollo donde el agro depende de estos cultivos agrícolas, considerados como una producción alternativa de subsistencia económica y ambiental socialmente sustentables (Ruiz *et al.*, 2013).

- Bienes y servicios ambientales

Poco se ha considerado el valor de los bienes y servicios en la toma de decisiones sobre el manejo de recursos naturales, debido al poco conocimiento técnico y científico sobre la importancia de estos servicios atribuidos al bienestar humano (Grét-Regamey *et al.*, 2008). Los estudios de carbono, manejo de sistemas agroforestales, etc. contribuirán a fortalecer la información a las instituciones para la última fase decisional. Una de las razones de este problema son los escasos estudios que limitan determinar el valor real en la comparación de los costos de explotación y de conservación de los recursos naturales a largo plazo, ya que los servicios ecosistémicos son heterogéneos a través del paisaje (Fisher *et al.*, 2009). En sí, estos servicios están relacionados con la dimensión espacial de una zona definida en la cual dichos servicios son proporcionados (Busch *et al.*, 2012). Por lo tanto, para una buena planificación y toma de decisiones ideales, es fundamental un conocimiento sólido de la importancia económica y de la distribución espacial de los servicios

ecosistémicos.

1.2.7. El suelo

El suelo como ente inerte y no renovable presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales, relacionado con la participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, etc. Los suelos son sistemas complejos con una diversidad de microorganismos que tienen su hábitat en asociación con el sistema radicular de las plantas. Los problemas más comunes en afinidad al carbono tienen que ver con las actividades de las personas. La erupción, la desertificación, las malas prácticas agrícolas entre otras se encuentran entre los problemas más graves que afectan hoy a los suelos (Scherr, 2006).

Resulta importante poder distinguir entre los diferentes estudios sucesionales de un mismo tipo de vegetación. Por ejemplo, una vegetación madura suele contener un mayor número de especies y mayor cantidad de carbono capturado que su equivalente sucesional temprano (Liu *et al.*, 2017). Sin embargo, la vegetación secundaria suele capturar carbono más rápido que su equivalente maduro (Mukul *et al.*, 2016).

Es de vital importancia desarrollar estudios en suelos, de tal manera permitan obtener información científica sobre los contenidos de carbono presente en los suelos de las fincas cafetaleras de la región San Martín, toda vez que nuestra región es una de las principales productoras de café, por lo tanto existen miles de hectáreas en producción y la importancia radica en el almacenamiento de carbono orgánico en los suelos de los cafetos sean estas como monocultivo o asociados a árboles de sombra, a su vez nos permita evaluar la pérdida de cobertura arbórea por cada clase de uso de suelo y vegetación presente en los sistemas de producción del café.

Propiedades el suelo

- Las propiedades físicas.

Se refiere a sustancias que pueden medirse y monitorearse fácilmente sin cambiar la

composición química del suelo; esto a su vez implica el movimiento de aire, calor, agua, raíces y nutrientes; incluyen profundidad, textura, estructura, densidad aparente, densidad real, porosidad, color y temperatura. La profundidad relativa de la superficie del suelo examinada por las raíces de las plantas de las que obtienen agua y nutrientes.

(*South Africa Department of Agriculture, 2007; Parker, 2010*). La textura se basa en como la distribución proporcional de las partículas individuales de arenas, limos y arcillas (Tamhane *et al.*, 1986; Huerta, 2010), se asocian para formar agregados o terrones (León, 2000). El suelo presenta densidad aparente y real que a su vez está relacionado con la porosidad (Hazelton y Murphy, 2007; Flores y Alcalá, 2010). El color del suelo es una característica fácil de detectar y está relacionado con la temperatura, humedad, contenido de materia orgánica y en algunos casos como indicador de fertilidad (León, 2000).

- Las propiedades químicas.

Son cambios químicos que ocurren en el suelo como elementos, sustancias y componentes que integran el suelo (Tamhane *et al.*, 1986) y corresponde al pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica (MO) y de elementos (nutritivos o tóxicos). El pH determina qué tan bien las partículas del suelo absorben los iones de hidrógeno y es una referencia si el suelo es alcalino o ácido. Es, a su vez, un indicador de la disponibilidad, movilidad, solubilidad y absorción de nutrientes por parte de la planta. (FAO, 2015). Generalmente el pH fluctúa entre 3.5 (muy ácido) a 9.5 (muy alcalino). La CIC se expresa como la cantidad de cargas negativas presentes en la superficie de los minerales (arcillas e hidróxidos) y componentes orgánicos (materia orgánica) del suelo y representa la cantidad de cationes que la superficie total pueden retener (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , etc.) (FAO, 2015). La CE, es la capacidad de la solución acuosa del suelo para transportar corriente eléctrica y es directamente proporcional al contenido de sales disueltas o ionizadas contenidas en la solución (USDA, 1999; Doerge *et al.*, 2015). La materia orgánica (MO) del suelo deriva de los restos de vegetales, animales y otros durante su ciclo de vida o sus tejidos después de muertos. La MO está en continuo proceso de descomposición en el suelo y se distinguen dos fracciones: lábil y recalcitrante (FAO 2015).

- Las propiedades biológicas del suelo.

Están relacionadas con la materia orgánica y con los microorganismos presentes en él, tal es el acceso de bacterias, micorrizas, lombrices, insectos, nematodos, hongos como las raíces de las plantas, etc. (Hall, 2008; FAO, 2015). Las actividades de estos organismos están

relacionadas con el movimiento de agua y minerales, y son fundamentales en la descomposición de la MO, en el ciclo de los nutrientes, en la síntesis de sustancias húmicas y en la fijación de N (Jhonson, 2009, Tamhane *et al.*, 1986). La Materia Orgánica presente en el suelo rizosférico es consumida rápidamente por los organismos del suelo, almacenando carbono que puede ser renovada a corto plazo, entre 1 a 3 años; uno de los subproductos microbianos, de este consumo, es el humus; el cual está compuesto por sustancias difíciles de degradar resultando lento su descomposición participando en el almacenamiento de carbono más estable en el suelo (FAO, 2015).

1.2.8. El Nitrógeno en el suelo

Havlin *et al.*, (2005) señala que en el punto 1 del ciclo del nitrógeno, el N de los residuos de plantas y animales y derivados de la atmósfera a través a procesos eléctricos, de combustión y la actividad industrial (El N₂ es combinado con el H₂ o el O₂) es adicionado al suelo. EL N orgánico de los residuos es mineralizado a NH₄⁺ por los organismos de la superficie. Las raicillas de las plantas absorben una porción de NH₄⁺.

Su precisión de energía lo satisfacen mediante la oxidación de los materiales que contienen carbono. Esta descomposición de la materia orgánica aumenta con la temperatura, la humedad y la cantidad de oxígeno (Sagán, 2001).

1.2.9. Normas generales en relación al ambiente

La Ley General del Ambiente N° 28611, en su artículo 85 establece que la Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades ambientales sectoriales y descentralizadas, elaboran y actualizan permanentemente el inventario de los recursos naturales y de los servicios ambientales, estableciendo su correspondiente valorización (la presente ley N° 28611 ,aprobada en el año 2005 es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú publicada el 13 de octubre del mismo año (MINAM, 2005).

Ley 28611 Art. 1°, el derecho irrenunciable de toda persona a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando

particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2005).

- Norma sobre valuación del impacto ambiental

El MINAM, (2005) En el capítulo tercero de la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, artículo 25 trata sobre los estudios de impacto ambiental “los EIA contienen una descripción de la actividad propuesta y de los efectos directos o indirectos previsibles de dicha actividad en el medio ambiente físico y social, a corto y largo plazo.”

- Política Nacional del Ambiente (PNA)

De conformidad con el Decreto Supremo N° 012 (2009), como herramienta del proceso de desarrollo estratégico del Estado, determina la implementación de instrumentos de evaluación, valoración y financiamiento para la preservación de los recursos naturales, la biodiversidad y los servicios ambientales del país, así como en cuanto a promover la aplicación de metodologías para la evaluación de los recursos naturales, la biodiversidad y sus servicios ambientales.

CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la Investigación

El enfoque de investigación es experimental, debido a que se van a presentar resultados mediante valores numéricos y estadística descriptiva e inferencial (Arias, 2020), donde se va investigar y relacionar las variables de captura de carbono presente en suelos en dos sistemas agroforestales (SAFs).

2.1.1. Lugar y Fecha

La tesis se ejecutó en las provincias de Lamas, distrito San Roque de Cumbaza localidad Alto Chontal de propiedad del señor Vidal Huamán Zurita y en la provincia Moyobamba, distrito Jepelacio localidad Codoyacu en las propiedades de la señora María Lucia Saboya Padilla y del señor Domingo Delgado Fuentes entre los meses diciembre de 2019 a marzo de 2020 época lluviosa para la región San Martín. Ver apéndice 1.

Descripción Geo referencial de las provincias Lamas y Moyobamba (Figura 2).

1. Provincia de Lamas

Latitud: -6.42194

Coordenadas: 6° 21' 18" S 76° y 46' 30" O

Datos climáticos: Caluroso

Altitud: 900 m.s.n.m

Tempertaura: 31°/19°C

Flora acompañante en los cafetales:

Café +shaina ; café guaba.

2. Provincia de Moyobamba

Latitud: -6.03472

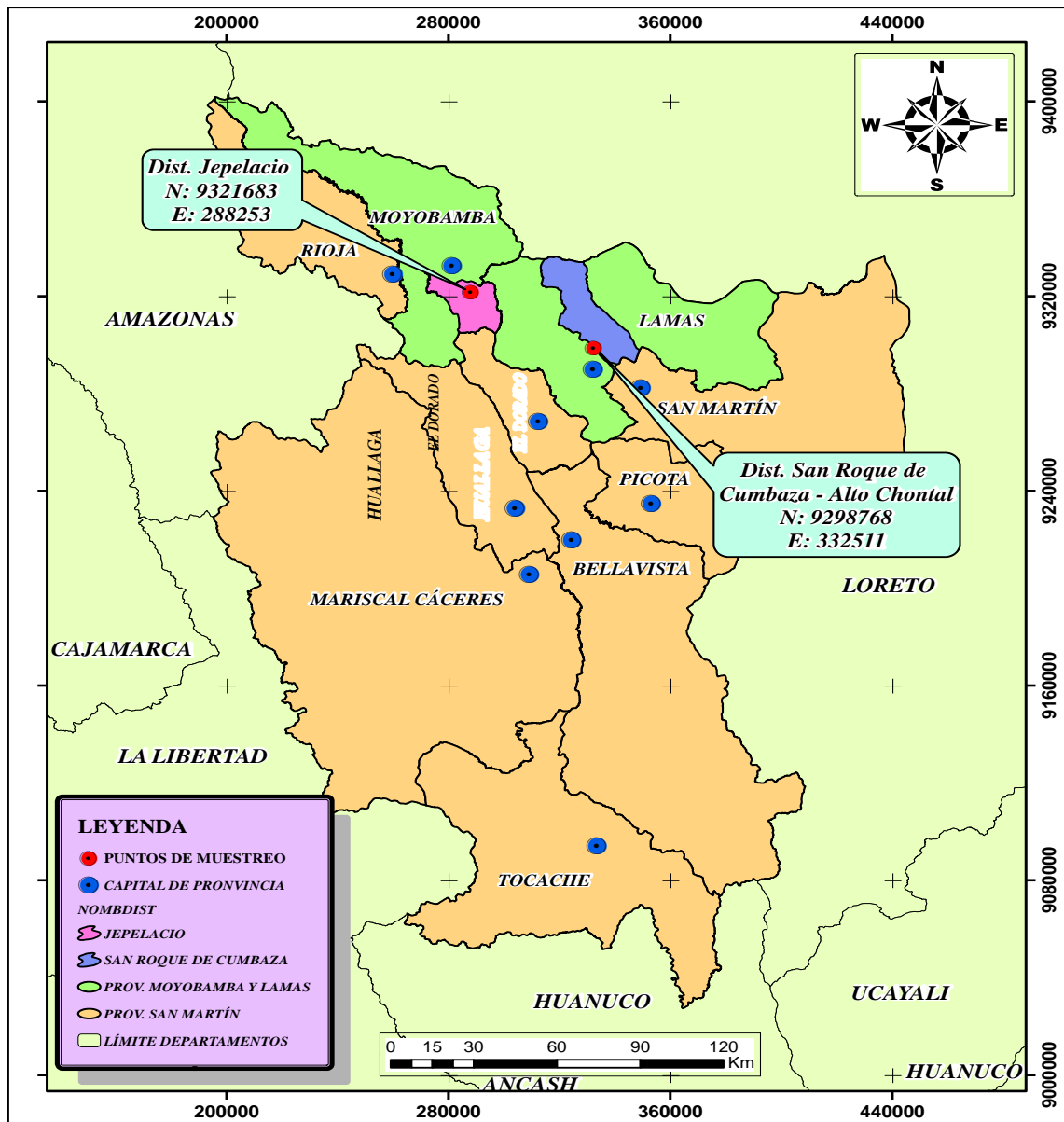
Coordenadas: 6°06'32" S y 76°55'26" O

Datos climáticos: Cálido, Moderadamente lluvioso.

Altitud: 1440 m.s n.m

Temperatura: 28°/16°C

Flora Acompañante en los cafetales: Café +Moena; Café +guaba



		UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
		PROYECTO:			
MOYOBAMBA - LAMAS		MAPA: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS LOCALIDADES DE: JEPELACIO Y SAN ROQUE DE CUMBAZA - ALTO CHONTAL			
JEPELACIO - SAN ROQUE DE CUMBAZA		AUTOR: MEDINA MACAS, YOKSUNY BIBIANA			LÁMINA
FUENTE: IGN	PROYECCIÓN: UTM - ZONA 18S	DATUM: WGS84	FECHA: FEBRERO, 2020	ESCALA: 1:2,000,000	01

Figura 2. Mapa de las localidades de estudio Jepelacio-Moyobamba y Alto chontal-Lamas, con respecto al departamento de San Martín.

Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Descripción del experimento

Población y Muestra

La población estuvo constituida por cuatro hectáreas en total; dos hectáreas (café +guaba, café+ shaina) para la provincia de Lamas; y dos hectáreas (café+ moena, café +guaba) para la provincia de Moyobamba (figura 6).

La muestra estuvo representada por 16 parcelas seleccionadas por su uniformidad de distanciamiento, edad, variedad, con una dimensión de 40cm de ancho por 20cm de profundidad (figura 8).

Descripción de la investigación de campo

Se estableció una red de estudio de 16 subparcelas, ubicadas en dos localidades Alto chontal-Lamas y Jepelacio-Moyobamba con fincas de cultivo de café, las cuales se determinaron el carbono en dos horizontes de suelo (0-20 cm y 20-30 cm de profundidad). Se seleccionaron fincas contrastantes en tipo de sombra y manejo: 1). Café asociado con guaba y 2). Café asociado en especies forestales (Shaina y Moena) (Ver apéndice 8). Se consideró parcelas de café con edades de 8 y 9 años con áreas de 1 ha por subparcela (figura 3), correspondiente a cada sistema, se hizo una calicata por subparcela por cada tratamiento, se obtuvieron un total de 16 muestras colectas para analizar la cantidad de carbono orgánico en el suelo (Andrade *et al.*, 2003).

Jepelacio-Codoyacu. El trabajo de investigación experimental tiene como objetivo principal cuantificar el almacenamiento de Carbono en el suelo en dos sistemas de producción: café con guaba y café con SAF de la localidad Codoyacu, provincia Moyobamba - San Martín. Para lograr el objetivo, se delimito la parcela de café con una rafia (figura 5), también se utilizó una wincha para medir las extensiones del área de estudio (figura 4) se excavo con ayuda de una pala a una profundidad de 0-20 cm y de 20cm-30cm para obtener las muestras de suelo (figura 7).

Lamas. Se tomaron las submuestras correspondientes a estudio de parcelas seleccionadas por su uniformidad de distanciamiento, edad y variedad en la localidad Alto Chontal,

provincia Lamas-San Martín (figura 9) y fueron llevadas por mi persona al laboratorio de análisis de suelos perteneciente al Gobierno Regional de San Martín, Proyecto Especial Alto Mayo (apéndice 2). Asimismo, con el densímetro se recogió tierra de la calicata para analizar la densidad (figura 10).

Contenido de carbono total. Finalmente, después de realizar el muestreo y sacar las muestras de las parcelas de cultivos de las localidades (Codoyacu y Alto Chontal) fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelos perteneciente al Gobierno Regional de San Martín, Proyecto Especial Alto Mayo, que brinda servicios al público y será estimada la concentración de carbono orgánico con el método de Walkley y Black (1934), con los resultados se realizará la comparación para saber cuál parcela de estudio almacenó más carbono orgánico.

Fase preliminar

- Reconocimiento del área en estudio mediante mapas.
- Prepare un mapa del sitio para el área de estudio (Figura 2).
- Recopilación de información.
- Elaboración de documentos técnicos para recolectar información en campo (Ver Apéndice).
- Conciliar instrumentación de campo y toma de datos (GPS, densímetro, wincha, balanza, bolsas plásticas y rafia para identificación de parcelas)).

Fase de campo

a). Determinación de las unidades para el muestreo

Se realizó recorridos en las fincas cafetaleras de productores independientes, con la finalidad de identificar los sistemas agroforestales con características homogéneas en edad, plantaciones, cultivo, requeridas para dicha ejecución.

Por cada provincia se instalaron dos parcelas de muestreo siendo estas una parcela de café de aproximadamente 1 hectárea con sistemas agroforestales (SAFs) y otra parcela de café asociada con guaba. Para cada parcela las edades de café estaban estar entre 8 a 9 años.

Se ubicó y reconoció el área de 1ha de café con guaba, luego se registró los puntos de ubicación de las parcelas con ayuda de un GPS.



Figura 3: Plantaciones de café con guaba. Fuente: Elaboración propia

Se utilizó una wincha métrica para medir el área de 10000 m² y hacer la delimitación de la parcela.



Figura 4: Medición de la parcela. Fuente: Elaboración propia



Figura 5: Delimitación de la parcela. Fuente: Elaboración propia

b). Recolección de las muestras

Se recorrió el terreno en zigzag se tomaron muestras en cuatro puntos por parcela seleccionada (Figura 7). 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 0-20 cm, fueron recolectadas en bolsas plásticas con un rotulo de identificación por provincia (Código M1, M2 y L1, L2) transcripto con un plumón para luego transportar las muestras al Laboratorio de suelos Proyecto Especial de Alto Mayo (PEAM) Nueva Cajamarca, Rioja, San Martín.

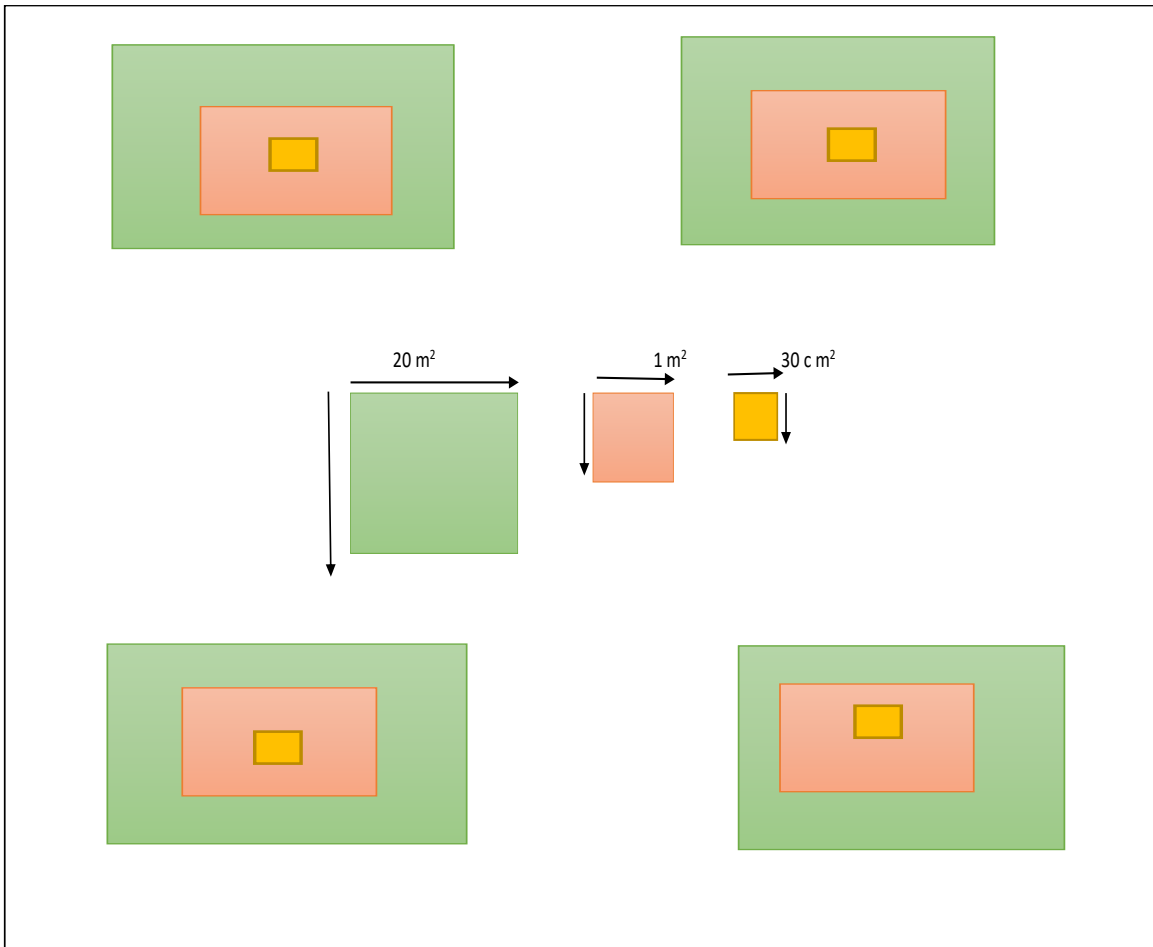


Figura 6: Distribución de las parcelas de muestreo en 1ha de café con agroforestales

Fuente: Elaboración propia



Figura 7: Calicata para muestreo de suelo. *Fuente:* Elaboración propia



Figura 8: Medición de 20 cm de profundidad



Figura 9: Recolección de las muestras



Figura 10: Recolección de tierra en el densímetro

C. Muestreo de Necromasa (hojarasca)

CAMPO: De un área determinada (medio metro cuadrado) se toma el peso fresco con aproximación de 0,01 gr, de la masa total de necromasa se toma una sub muestra de 200 gr que se lleva al laboratorio.



Figura 11: Recolección de la muestra de hojarasca

Fase de Laboratorio y gabinete

Las muestras de suelo tomadas en campo fueron llevadas a laboratorio (apéndice 2), considerándose todas las variables a estudiar. Los análisis se interpretaron en el Laboratorio de suelos del Proyecto Especial del Alto Mayo (PEAM) de la Región San Martín. Asimismo, se analizó las características físicos-químicas de suelo (densidad aparente, materia orgánica, pH y Nitrógeno total) de los sistemas de producción de café. El pH se mide en una escala de 0 a 14. En esta escala, un valor pH de 7 es neutro, lo que significa que la sustancia o solución no es ácida ni alcalina. (Ortiz y Ortiz, 1990).

1. Determinación de carbono orgánico. Se basa en el método de Walkley y Black que involucra la oxidación de la materia orgánica del suelo con dicromato de potasio en un medio ácido. Luego se calculó la cantidad de potasio que no disminuyó. Los resultados fueron expresados en tCha (Mehlich, 1984).

2. El nitrógeno total en el suelo se determinó utilizando el método Kjeldahl en el que las muestras de suelo se hidrolizaron con ácidos convirtiendo todas las formas de nitrógeno orgánico en N-amoniaco (Lachat Instruments, s. f.).

3. Densidad aparente (ver Apéndice 9) fue determinada por el Método de la probeta que consistió en relacionar la masa del suelo (peso) sobre el volumen total del mismo, expresado en g.cm^{-3} (Bullón, *et al.* 1990).

4. Materia orgánica del suelo. 200 g de la muestra de laboratorio se colocaron en una estufa a 105 °C por 24 h, con peso fresco inicial y peso seco final, y se realizaron cálculos para determinar el porcentaje de humedad. De la muestra seca, se tomó otra submuestra con una masa de 10 g, y se llevó al cucharón a 400 °C por 4 h, con la masa inicial y la masa de ceniza resultante (al usar balanza analítica). Determinar el porcentaje de carbono en esta submuestra. Con los datos obtenidos, calculamos la cantidad de carbono contenido en cada sistema de cultivo de café estudiado, expresando los resultados como toneladas métricas de carbono por hectárea ($\text{tm C} * \text{ha}^{-1}$). En el segundo cálculo se utiliza la densidad aparente del área tomada de la muestra para cada tratamiento y masa.

La materia orgánica del suelo se determinó mediante el método de Walkley y Black, que identifica solo el carbono oxidado en el suelo, y al calentar la materia orgánica del suelo a 400 °C durante 4 horas, el carbono total del suelo (el carbono oxidado forma la materia orgánica del suelo). y representa alrededor del 58% del carbono total del suelo).

Luego de procesar la información se analizaron las interpretaciones y conclusiones, concluyendo con la redacción del informe final.

2.1.3. Tratamientos del estudio

Los tratamientos de estudio fueron los sistemas de siembra de café con guaba y especies forestales en las provincias de Lamas y Moyobamba de la región San Martín, Perú; se obtuvo cuatro repeticiones. Lo podemos ver detallado en la tabla 1.

Sistemas de siembra de café

- Café con guaba (a_1)
- Café con sistemas agroforestales (a_2)

Provincias

- Provincia de Moyobamba (b₁)
- Provincia de Lamas (b₂)

Repeticiones

- Tratamiento (T1)
- Tratamiento (T2)
- Tratamiento (T3)
- Tratamiento (T4)

Tabla 1

Tratamientos en estudio

Tratamientos	Clave	Sistemas SAF	Provincias
T1	a1+b1	Café + guaba	Moyobamba
T2	a1+b2	Café + guaba	Lamas
T3	a2+b1	Café + SAF	Moyobamba
T4	a2+b2	Café + SAF	Lamas

Fuente: Elaboración propia.

T= Tratamientos

SAF= Sistemas agroforestales

2.1.4. Identificación de las variables y su mensuración

Tanto la evaluación de los sistemas café con guaba y café con agroforestales se realizó de la siguiente manera. El Carbono en el suelo es más alto que el Carbono obtenido en la hojarasca.



Tabla 2

Variables en estudio

Variables	Indicadores	Unidad de medida
V1: Contenido de Carbono orgánico en el suelo	C. en suelos de Café+Guaba	t.C.ha ⁻¹
	C. en suelos de Café+Forestal	t.C.ha ⁻¹
	C. en suelos de Provincias	t.C.ha ⁻¹
V1: Propiedades físico-químico del suelo	Densidad aparente	g.cm ⁻³
	Materia orgánica	%
	Nitrógeno	%

Fuente: Elaboración propia.

Carbono en el suelo (tC / ha)

Para calcular el carbono en el suelo se utilizó las siguientes formulas

- Cálculo de la densidad aparente (g/cc)

$$DA \text{ (g/cc)} = PSN / VCH$$

Donde:

DA = Densidad Aparente (g/cc)

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen del cilindro (constante).

- Cálculo del peso del volumen de suelo

$$PVs \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = DA \times Ps \times 10\ 000$$

Donde:

PVs (t.ha⁻¹) = Peso del volumen del suelo

DA = Densidad Aparente

Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo

10 000 = Constante

- Cálculo del carbono en el suelo (tC /ha)

$$COS \text{ (t /ha}^{-1}\text{)} = (PVs \times \%C)/100$$

Donde:

COS (t ha⁻¹) = Carbono en el suelo, en t.ha⁻¹

PVs = Peso del volumen de suelo

%C = Resultados porcentaje de C, analizados en laboratorio.

100 = Factor de conversión

- Carbono de la necromasa (hojarasca)

$$Bh(t /ha)=[(PSM/PFM \times PFT)\times 40]$$

Donde:

Bh=Biomasa de la hojarasca, materia seca.

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

PFM=Peso fresco de la muestra colectada (g).

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

Factor de conversión=40

Fuente: Arévalo, Alegre y Palm 2003.

2.1.5. Diseño estadístico del experimento

Este análisis experimental se desarrolló con un diseño de bloques completamente al azar (DCA), con 4 tratamientos; con un nivel de significancia de $p < 0,05$, se sometieron los datos originales al análisis del supuesto de normalidad utilizándose la docima de Shapiro Wilk. Cada tratamiento estuvo constituido por 4 unidades experimentales que fueron las sub parcelas de evaluación, generando un total de 16 muestras de suelo.

Para las 16 unidades experimentales, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones fueron analizadas por medio de un análisis de varianza, con un nivel de significancia 5% estas fueron homogenizadas y estimadas por el método de Walkley y Black. Las variables fueron corridas por la normalidad y varianza a variables normales, previamente para determinar la normalidad se utilizó el ANOVA y la prueba de Tukey. Se procedió a transformar los valores porcentuales a números reales por la fórmula de Arco Seno de la raíz cuadrada del valor (expresado en decimal).

2.1.6. Análisis Estadístico de Datos

Para el análisis y procesamiento de los datos se utilizó el software Excel 2020, INFOSTAT 2020, se aplicaron ecuaciones descriptivas a cada variable, y el análisis de los resultados se

presentó en forma de tablas y gráficos, de acuerdo a la cantidad de carbono residente en los dos sistemas agroforestales, por lo que se realizó análisis de varianza para evaluar la investigación. el sistema. Para las comparaciones múltiples se utilizó el ANOVA y para comparar las medias se utilizó la prueba de Tukey, a un nivel de significancia de $p < 0.05$.

CAPITULO III: RESULTADOS

A los tres meses y 10 días después de establecido el experimento en campo y haber realizado los análisis en el laboratorio sobre la captura de carbono en suelos bajo dos sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) con fines de mitigación ambiental en las provincias de Lamas y Moyobamba, región San Martín, se obtuvo lo siguiente:

3.1. Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con “guaba” (*Inga* sp.)

Los análisis de varianza para los datos expresados, como el porcentaje de carbono y materia orgánica, o conteos de bajo rango como la densidad aparente, se realizó sobre los datos originales transformados por la fórmula: $X \text{ transformado} = \text{ASENO}(\text{RAIZ}(X)) * 180/\text{PI} () \sqrt{x + 1.0}$ esta operación permite que los valores se ajusten a una distribución normal y de esta forma se pueda aplicar diferentes tipos de análisis estadísticos como el ANOVA y la prueba de Tukey (ver fig. 12). Mientras que los gráficos de barras se confeccionaron con los valores originales sin transformar; pero las letras minúsculas que muestran su semejanza o diferencia entre los tratamientos, fueron obtenidas de la prueba de Tukey sobre los datos transformados. Visualizar tabla 3.

Tabla 3

Análisis de varianza del contenido de carbono total en el suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado con guaba.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _{calculado}	F _{Tabular}	P-Valor
Tratamientos	1	0,005	0,005	0,128	10,13 _{0.05}	<0,0001
Repetición	3	0,231	0,077	1,992	9,28 _{0.05}	<0,0001
Error	3	0,116	0,039			
Total	7	0,351		CV =	1,97 %	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ANOVA, (Tabla 3) para el contenido de carbono total en el suelo obtenida en los cuatro tratamientos, evidencia que sí existen diferencias significativas para los sistemas de siembra de café con guaba en las provincias de Moyobamba y Lamas, esto debido a que el p-valor es muy menor al nivel de significancia ($P\text{-valor} \leq 0,05$) aceptándose por tanto que el contenido de carbono en suelos de café asociado a guaba si es dependiente entre ambas provincias. Se obtuvieron una media de 77,9 y 70,43 t C. ha y un coeficiente de variabilidad de 1,97 %, resultados que están dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada 1982.

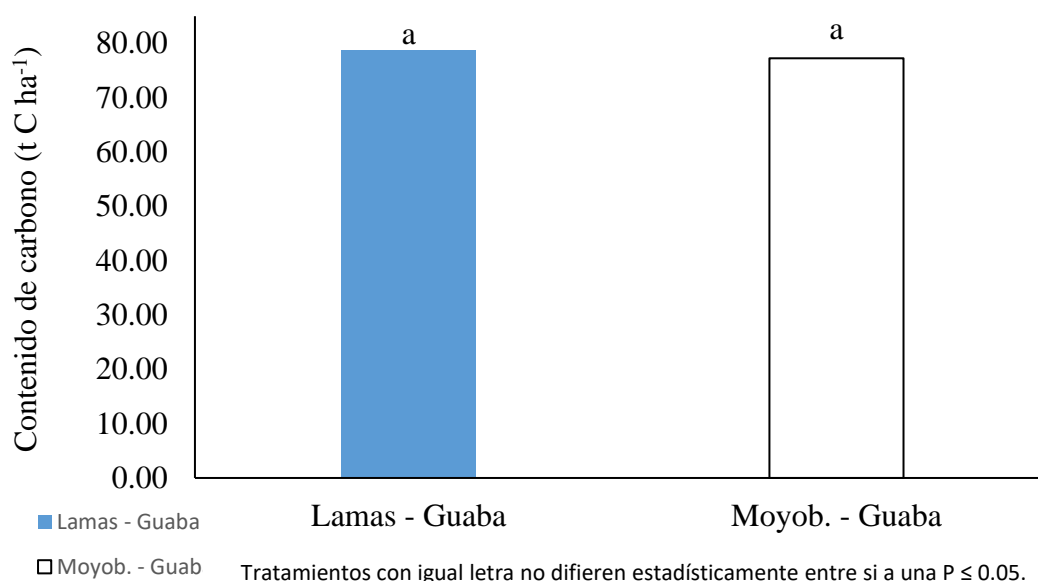


Figura 12. Prueba de Tukey para el contenido de carbono total en el suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles de guaba.

Fuente: Elaboración propia.

Según la prueba de Tukey (Figura 12) para el contenido de carbono total en el suelo, no muestran diferencias significativas en los dos sistemas de siembra de café para la provincia de Lamas, siendo el sistema de café con árboles de guaba quien mostró un valor más alto en contenido de carbono en suelos con 78,68 t C. ha⁻¹.

3.2. Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con árboles forestales

Tabla 4

Análisis de varianza del contenido de carbono total en el suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles forestales.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F calculado	F _{0.05}	P-valor
Tratamientos	1	0,084	0,084	10,917	10,13	<0,0001
Repetición	3	0,072	0,024	3,093	9,28	<0,0001
Error	3	0,023	0,008			
Total	7	0,179		CV =	0,89 %	

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del ANOVA (Tabla 4) para el contenido de carbono total en el suelo es significativo para los tratamientos del sistema de café con forestales, lo que indica que habrá diferencias estadísticamente significativas (nivel de significancia 5 %), aceptándose por tanto que el contenido de carbono en suelos de las dos provincias sí es dependiente de los sistemas de siembra de café con árboles forestales. Se obtuvieron una media de 84,30 t C. ha⁻¹ y un coeficiente de variabilidad de 0,89 %, resultados que están dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada 1982.

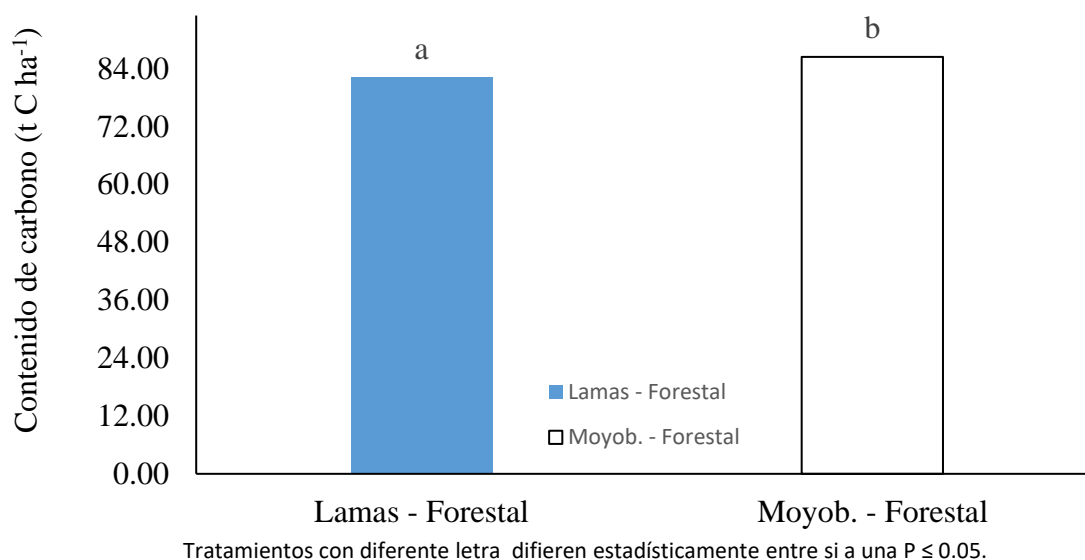


Figura 13. Prueba de Tukey para el contenido de carbono total en el suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles forestales.

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de Tukey (Figura 13) muestra diferencias estadísticas entre los tratamientos del contenido de Carbono del suelo por el método de Walkley y Black en un SAF café-forestal, la diferencia observada entre el mínimo y el máximo no supera el 5 % con diferencia estadística entre los tratamientos significativos en el sistema de siembra de café con especies

forestales para las provincias de Moyobamba y Lamas, siendo los suelos de la provincia de Moyobamba quien mostró en valor más alto en contenido de carbono con 86,42 t C. ha⁻¹.

3.2.1 Carbono total en el suelo con cultivo de café bajo dos sistemas agroforestales, con guaba y con especies forestales

Tabla 5

Análisis de varianza del porcentaje de carbono total en el suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a guabas y árboles forestales.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F calculado	F _{0,05}	P-valor
Tratamientos	3	4,032	1,344	2,075	8,81	<0,001
Repetición	3	9,452	3,151	4,863	8,81	<0,001
Error	9	5,830	0,648			
Total	15	19,315		CV=	1,76 %	

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la ANOVA (Tabla 5) para el porcentaje de carbono total en el suelo obtenida en los cuatro tratamientos, indica que no existen diferencias significativas, aceptándose por tanto que el contenido de carbono en suelos de las dos provincias no es dependiente de los sistemas de café con especies de guaba y árboles forestales. Se obtuvieron una media de 81,13 t C. ha⁻¹ y un coeficiente de variabilidad de 1,76 %, resultados que están dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada 1982.

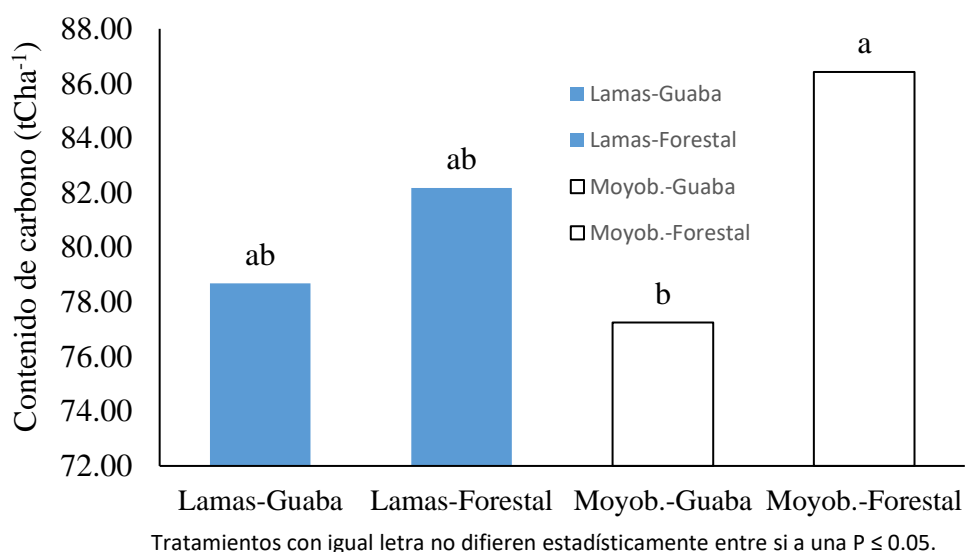


Figura 14. Prueba de Tukey para el contenido de C total en el suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los SAF café asociado a árboles de guaba y especies forestales.

Fuente: Elaboración propia.

Según la prueba de Tukey (Figura 14) para el contenido de C total en el suelo en t C. ha⁻¹, el análisis de varianza (nivel de significancia 5 %) muestra p-valor < 0,05 entre los dos sistemas de siembra, siendo el café con especies forestales quien mostró valores más alto en C en el suelo con 86,42 t C. ha⁻¹.

3.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo (dap, M.O. y N total) bajo dos sistemas agroforestales de producción de café en San Martín

3.3.1 Densidad aparente de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales

Tabla 6

Análisis de varianza de la densidad aparente del suelo (dap) de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles de guaba y especies forestales.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F calculado	F _{0.05}	
Tratamientos	3	0,01030	0,00343	10,967	8,81	*
Repetición	3	0,00037	0,00012	0,398	8,81	N.S.
Error	9	0,00282	0,00031			
Total	15	0,01350		C.V. =	1,15 %	

Datos originales en un rango de contadas transformados por la formula $\sqrt{x+1}$.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del ANOVA (Tabla 6) para la densidad aparente del suelo obtenida en los cuatro tratamientos, indica que existen diferencias significativas para los tratamientos en estudio, aceptándose por tanto que la densidad aparente en suelos de las provincias de Moyobamba y Lamas son dependientes a los sistemas de siembra de café con guaba y especies forestales. Se obtuvieron una media de 1,36 g/cm³ y un coeficiente de variabilidad de 1,15 %, resultados que están dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada 1982.

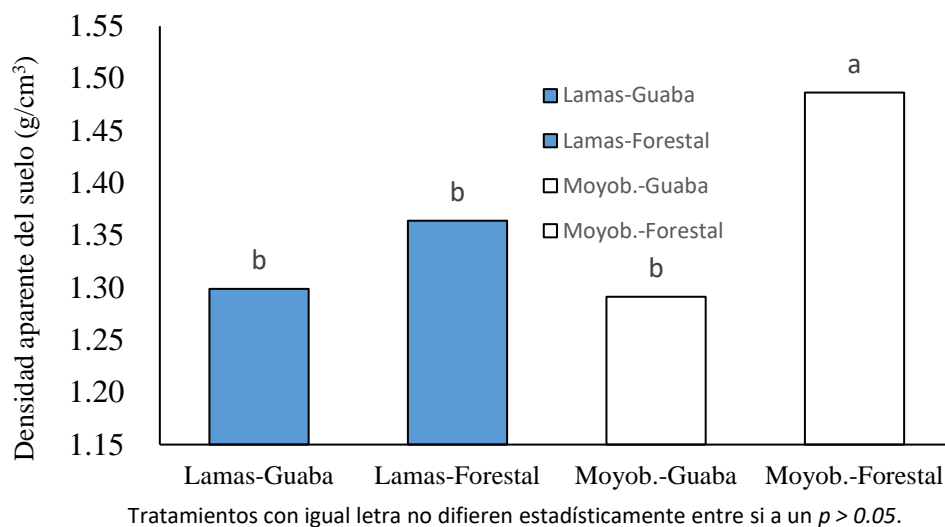


Figura 15. Prueba de Tukey de la densidad aparente del suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los SAF café asociado con árboles de guaba o especies forestales.

Fuente: Elaboración propia.

La figura N° 15, gráfico en barras, se confeccionó sobre los valores originales de la densidad aparente del suelo; pero los valores en letras minúsculas sobre las barras, se obtuvieron de la prueba de Tukey de los mismos valores transformados. Los tratamientos con igual letra no difieren estadísticamente entre si a un $p > 0,05$.

Según la prueba de Tukey (Figura 15) para la densidad aparente del suelo, muestra diferencias significativas en dos grupos; un primer grupo conformado por el sistema de siembra de café con especies forestales en la provincia de Moyobamba quien obtuvo el mayor valor de densidad aparente con 1, 49 g/cm³ y un segundo grupo conformado por el sistema de siembra de café con árboles de guaba para la provincia de Lamas y Moyobamba y especies forestales para la provincia de Lamas.

3.3.2 Materia orgánica de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales

Tabla 7

Análisis de varianza del contenido de M.O. del suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles de guaba y especies forestales.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F calculado	F 0.05	
Tratamientos	3	1,3969	0,4656	1,144	8,81	N.S.
Repetición	3	1,2100	0,4033	0,991	8,81	N.S.

Error	9	3,6631	0,4070	
Total	15	6,2701		C.V. = 4,89 %

Datos originales en porcentaje transformados por la formula $\sqrt{x+1}$.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de varianza (Tabla 7) para el contenido de MO del suelo obtenida en los cuatro tratamientos, indica que no existen diferencias significativas para los tratamientos en estudio, aceptándose por tanto que la MO en suelos de las provincias de Moyobamba y Lamas no son dependientes a los sistemas de siembra de café con guaba y especies forestales. Se obtuvieron una media de 5,146 % y un coeficiente de variabilidad de 4,89.

La figura N° 15 siguiente, gráfico en barras, se confeccionó sobre los valores originales del porcentaje de materia orgánica del suelo; pero los valores en letras minúsculas sobre las barras, se obtuvieron de la prueba de Tukey de los mismos valores transformados. Los tratamientos con igual letra no difieren estadísticamente entre si a un $p > 0,05$.

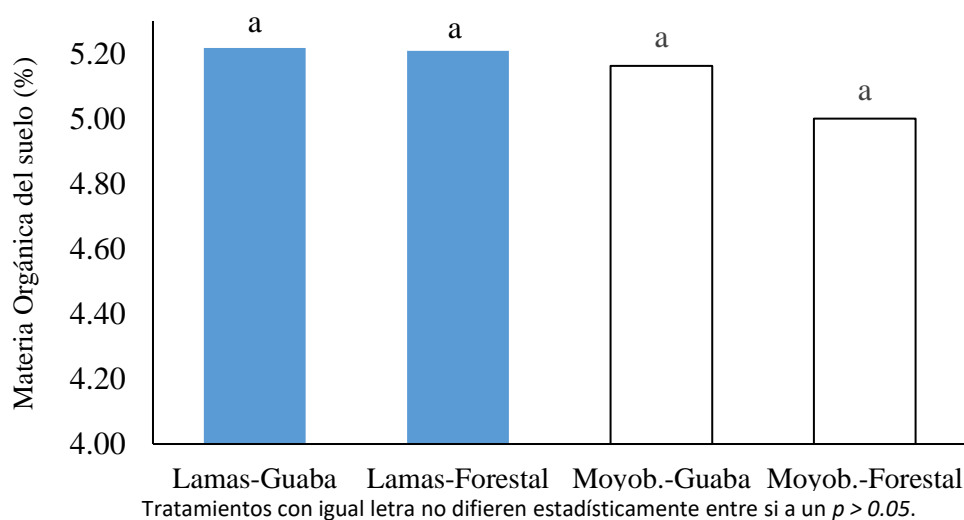


Figura 16. Prueba de Tukey del contenido de M.O. del suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles de guaba y especies forestales.

Fuente: Elaboración propia.

Según la prueba de Tukey (Figura 16) para el contenido de MO total en el suelo, no muestra diferencias significativas en los dos sistemas de siembra de café en las provincias de Moyobamba y Lamas, siendo el sistema de café con árboles de guaba quien mostró el valor más alto en materia orgánica en suelos con 5,217 %.

La prueba de Tukey muestra que no existe diferencia estadística entre los tratamientos (localidad x asociación) con respecto a la materia orgánica del suelo por el método de Walkley y Black en un SAF, la diferencia observada entre el mínimo y el máximo no supera el 5% sin diferencia estadística entre los tratamientos.

3.3.3 Contenido de nitrógeno (N) de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales

Tabla 8

Análisis de varianza del nitrógeno del suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles de guaba y especies forestales.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F calculado	F _{0.05}	
Tratamientos	3	0,2343	0,0781	30,877	8,81	*
Repetición	3	0,0132	0,0044	1,740	8,81	N.S.
Error	9	0,0228	0,0025			
Total	15	0,2703		C.V. =	1,99 %	

Datos originales en porcentaje transformados por la fórmula $\sqrt{x+1}$.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de varianza (Tabla 8) para el contenido de nitrógeno del suelo obtenida en los cuatro tratamientos, indica que existen diferencias significativas para para los tratamientos en estudio, aceptándose por tanto que el contenido de nitrógeno en suelos de las provincias de Moyobamba y Lamas son dependientes a los sistemas de siembra de café con guaba y especies forestales. Se obtuvieron una media de 0,368 % y un coeficiente de variabilidad de 1,99 %, resultados que están dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada 1982.

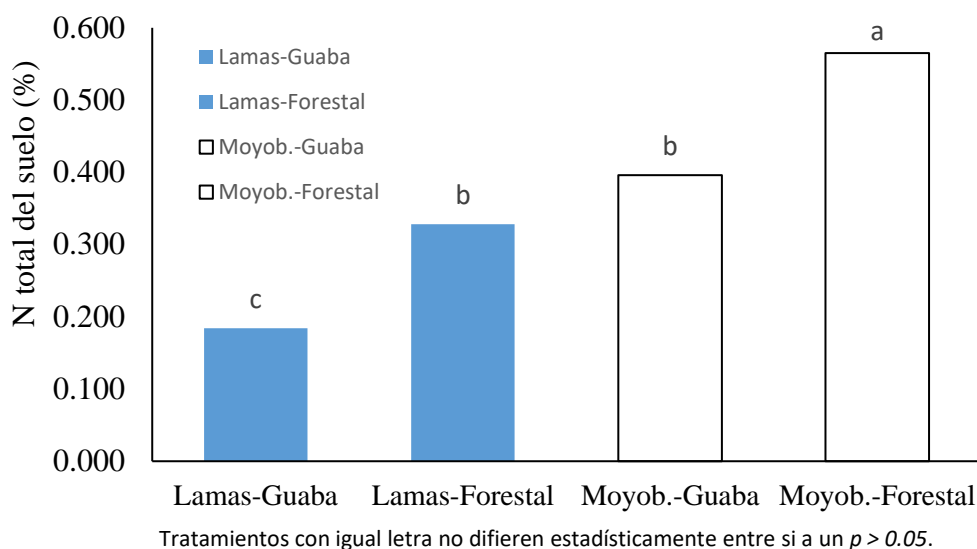


Figura 17. Prueba de Tukey del contenido de N del suelo de las provincias de Lamas y Moyobamba en los sistemas de siembra de café asociado a árboles de guaba y especies forestales. *Fuente:* Elaboración propia.

La figura N° 17, gráfico en barras, se confeccionó sobre los valores originales del porcentaje de N en el suelo; pero los valores en letras minúsculas sobre las barras, se obtuvieron de la prueba de Tukey de los mismos valores transformados. Los tratamientos con igual letra no difieren estadísticamente entre si a un $p > 0,05$.

Según la prueba de Tukey (Figura 17) para el contenido de nitrógeno del suelo, muestra diferencias significativas en tres grupos; un primer grupo conformado por el sistema de siembra de café con especies forestales en la provincia de Moyobamba quien obtuvo el mayor valor de N con 0,565 %; un segundo grupo conformado por las provincias de Moyobamba y Lamas con árboles de guaba y forestales respectivamente y un tercer grupo conformado por la provincia de Lamas con árboles de guaba.

CAPÍTULO IV: DISCUSION

El contenido de carbono total en suelos obtenidos en los cuatro tratamientos, evidencia que sí existen diferencias significativas para los sistemas de siembra de café con guaba en las provincias de Moyobamba y Lamas, esto debido a que el p-valor es muy menor al nivel de significancia ($p\text{-valor} < 0,05$) aceptándose por tanto que el contenido de carbono en suelos de café asociado a guaba si es dependiente entre ambas provincias, siendo el sistema de café de la provincia de Lamas quién mostro valor más alto en contenido de carbono en suelos con $78,68 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$. En comparación con otras especies estudiadas como el *Eucalyptus globulus* Labill, Gamarra (2001), determinó que el carbono en biomasa aérea para esta especie es $73,03 \text{ tC/ha}^{-1}$, siendo este valor mayor al del *Eucalyptus torelliana.*, esto puede ser debido a que el estudio para la especie *Eucalyptus globulus* se realizó en un bosque plantado compuesto solamente de esta especie, lo cual implica una mayor densidad de la misma y por tanto mayor potencial de captura de carbono. Se conoce que las propiedades físicas eran particularmente importantes para impulsar tanto el carbono del suelo como los nutrientes en los ecosistemas tropicales y templados (Jinquan *et al.*, 2020). El carbono del suelo y los nutrientes están regulados por procesos químicos y físicos, por lo que distinguir entre estos procesos puede ser arbitrario (Han *et al.*, 2016; Kramer y Chadwick, 2018).

El estudio en las provincias Lamas y Moyobamba de la región San Martín encuentra que los sistemas forestales son importantes para la mitigación del carbono. Qué se determinó los sistemas de café -guaba (frutal) y café-moena (forestal). Asimismo, la prueba de Tukey indica que existe diferencia estadística entre los tratamientos con respecto al carbono capturado por el suelo. El carbono obtenido en el suelo muestra diferencias significativas en los dos sistemas de siembra de café, siendo el sistema de café con especies forestales quien mostró en valor más alto en contenido de carbono en suelos con $86,42 \text{ t C}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Los sistemas de producción de café asociado a especies agroforestales proveen múltiples beneficios al productor agrario; además de proporcionar sombra y buena calidad y cantidad en las cosechas de los granos de café (Cerda *et al.*, 2016). En sistemas agroforestales con café, en el valle central de Costa Rica, Ávila (2001) determinó el mayor contenido de carbono en suelo (sección 0-30 cm), en un sistema poroso de café de 10 años de antigüedad (184 t ha^{-1}), determinaron que la cantidad de carbono almacenado, en el sistema cafetalero, en la sección transversal del suelo 0-30 cm, fue de $19,8 \text{ ha}^{-1}$, que es menor que la cantidad de carbono que se encuentra en los ecosistemas de bosques naturales (en la misma área). 32,8 toneladas. Estos valores son inferiores al contenido de carbono encontrado en el presente estudio en el sistema café y guaba donde los valores superan los $78,68 \text{ T Cha}^{-1}$. Los sistemas agroforestales, además de brindar diversos servicios ecosistémicos, no reducen el rendimiento del café de sombra (Cerda *et al.*, 2016). El contenido de carbono en la biomasa de café para Hager (2012) fue de $2,3 \text{ t C/ha}$ y $9,1 \text{ t C/ha}$ para Hergoulach *et al.*, (2012) con una densidad de café de $6\ 045 \text{ plantas. ha}^{-1}$ y $4\ 722 \text{ plantas ha}^{-1}$, respectivamente resultados muy inferiores a lo encontrado en este estudio.

Los cultivares de hoy en día es necesario cubrir el espacio con escasos o abundantes árboles de sombra, para ello se deben aplicar tecnologías que ayuden a mejorar los rendimientos en el cultivo de café bajo estrategias de manejo específicas de tal manera se logre también los múltiples servicios ecosistémicos, Power, (2010). Balaba y Byakagaba (2015), propone establecer fincas de cafés con asociación de árboles de sombra ya que estos ayudan al almacenamiento de carbono en los suelos. 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).

La densidad aparente del suelo fue de medio a alto, en el presente estudio se muestra diferencias, siendo el sistema de siembra de café con especies forestales en la provincia de Moyobamba quien obtuvo el mayor valor de densidad aparente con $1,49 \text{ g.cm}^{-3}$. La densidad aparente del suelo obtenida en los cuatro tratamientos, indica que existen diferencias

significativas para los tratamientos en estudio (Tabla 6), esto indica que los sistemas agroforestales y el componente vegetal desarrollado en los cafetales influyen sobre esta variable edáfica. Esto podría traer ventajas para la aireación, el movimiento del agua y el flujo de nutrientes (Fassbender, 1993). Arshad y Martin (2002) incluyen a la densidad aparente como un indicador de la calidad de suelos, por su importancia en la penetración radicular, porosidad y análisis ajustados a una base volumétrica.

Los cafetales tradicionales comparados con otros sistemas, principalmente con el manejo tecnificado, exhibieron las densidades más bajas de $1,02 \text{ g.cm}^3$, el cual contribuye al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo y reduce las pérdidas de la capa superficial por erosión. (Fassbender, 1993). Arshad y Martin (2002)

Las diferencias encontradas entre estudios podrían ser explicadas por la naturaleza de los suelos, principalmente debido a su origen. En el campo del servicio ambiental de la fijación de carbono atmosférico, un cambio positivo en carbono orgánico del suelo (COS) indica secuestro, mientras que una reducción de esta variable causa una emisión de CO_2 a la atmósfera, tal como ha sido reportado en otros estudios (Chen *et al.*, 2006; Andrade *et al.*, 2008; Polyakov y Lal, 2008; Guntiñas *et al.*, 2009).

El Carbono Orgánico del Suelo (COS) es un indicador indirecto de la calidad de los suelos, principalmente desde el punto de vista físico y biológico, ya que está íntimamente relacionado con la materia orgánica (Alvarado, *et al.*, 2013). Se observa también la excelencia de la incorporación de materia orgánica al suelo, para el mejoramiento de las propiedades físicas; para optimizar las circunstancias químicas y biológicas. Este material vegetal, al depositarse en el suelo, es objeto de procesos de descomposición o degradación por parte de los microorganismos, hasta llegar a los componentes elementales (Fassbender, 1993; Martínez *et al.*, 2008).

La materia orgánica del suelo (MOS) es un componente principal que consta de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo, que son esenciales para las plantas, y también

incluye compuestos orgánicos de los restos de organismos vivos como plantas y animales. y residuos en el medio natural. Es fundamental para beneficios tales como una mejor regulación, mayor actividad biológica y menor erosión y salinidad (Cristóbal., *et al* 2015). Asimismo, es un indicador de procesos microbianos que pueden aportar nutrientes a las plantas, y los suelos muestran consistencia en estructura, capacidad de transpiración y disponibilidad de agua para las plantas. Los métodos isotópicos, como el carbono 14 o la abundancia natural de carbono 13, se utilizan para calcular el tiempo de residencia de la materia orgánica del suelo.

En cuanto al contenido de nitrógeno orgánico, en ambos sistemas cafetaleros el promedio fue de 0,0565 %, y el contenido de nitrógeno orgánico durante el periodo de estudio no difirió significativamente en los sistemas agroforestales. La fijación de nitrógeno es un modelo de ciclo de nutrientes que se ha utilizado con éxito en la permacultura durante miles de años y puede integrarse en un sistema agroforestal. Las PFN (Plantas Fijadoras de Nitrógeno) son de especial interés en los sistemas agroforestales porque son una fuente de abono verde alto en nitrógeno, gracias a la simbiosis con las bacterias en las raíces y al aporte de materia orgánica en el suelo. o hojas caídas, flores, frutos, ramas y raíces que mueren estacionalmente, de forma natural o por inducción (cosecha).

Además, sus raíces pueden absorber nutrientes de capas profundas del suelo y traerlos a la superficie, haciéndolos disponibles para la pastura o para el cultivo agrícola asociado (Ramírez *et al.* 2015). La fertilización nitrogenada inorgánica en estos sistemas de producción podría reducir la relación C/N, al aumentar el N y no afectar significativamente el C; de esta manera se produce una mayor biomasa y potencialmente mayor fijación de carbono orgánico en suelos (Novelli *et al.*, 2009). Es importante considerar que las variaciones en el almacenamiento de COS obedecen a la influencia de factores edafoclimáticos que inciden en la acumulación de contenidos de materia orgánica (Cassman *et al.*, 2002; Galloway *et al.*, 2008) obstaculizando tanto la economía del sistema productivo como, así como el microambiente del suelo y la atmósfera a gran escala.

La hojarasca en la localidad de Moyobamba en especies forestales aporta mayor cantidad de Carbono en el suelo, y la especie con frontal menor cantidad, ambas presentan diferencias

estadísticamente significativas. Por otro lado, la localidad de Lamas (zona de clima) muestra menor cantidad de Carbono; las diferencias se deben a la mayor cantidad de hojarasca en especie forestal (moena) y la especie forestal en (shaina) se debe al clima especialmente su temperatura. Es evidente que lo hacen porque la descomposición de la hojarasca influye mucho en la disponibilidad de nutrientes, que es un determinante fundamental del crecimiento de los árboles y de la producción de madera (Cabrera, 2016).

El clima modifica notablemente la índole y la rapidez de la descomposición la materia orgánica se observa en condiciones de temperatura moderada (alrededor de 30°C) y con un contenido de humedad de alrededor del 60-80% de su capacidad máxima de retención de agua (Espinoza ,2010). Hay diferencias en el tiempo que tarda la descomposición a diferentes altitudes, debido a la variación de la temperatura (Cabrera ,2016). Los autores concluyen que la descomposición disminuye con el aumento del clima a mayor cantidad de carbono en la hojarasca la temperatura es más elevada.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Se evaluó la captura de carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con “guaba” (*Inga* sp.), su análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas para los sistemas de siembra de café con guaba en las provincias de Moyobamba y Lamas, se obtuvo una media de 77,970.43 t C. ha⁻¹ y un coeficiente de variabilidad de 1,97 %, la prueba de tukey no mostro diferencias significativas para la provincia de Lamas, siendo el sistema de café con árboles de guaba quien mostró en valor más alto en contenido de carbono en suelos con 78,68 t C.ha⁻¹.
- Se concluyó que el aporte de Carbono en la hojarasca es mal alto en la provincia de Moyobamba, el análisis de varianza indica que no existen diferencias estadísticamente significativas, se obtuvo una media de 81,13 t C.ha y un cociente de variabilidad de 1,76 %, la prueba de Tukey determina el sistema del café con especies forestales fue quien mostró valores más alto en C en el suelo con 86,42 t C. ha⁻¹.
- Se calculó la captura del carbono en el suelo bajo un sistema de producción de café con sistemas agroforestales , el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas para los tratamientos de carbono , se obtuvo una media de 84,30 t C.ha⁻¹ y un coeficiente de variabilidad de 1,76 %, la prueba de tukey para el contenido de C total en el suelo en t C.ha⁻¹, muestra diferencias significativas entre los dos sistemas de siembra, siendo, siendo el café con especies forestales quien mostró valores más alto en C en el suelo con 86,42 t C.ha⁻¹.
- Se determinó la densidad aparente de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales , el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas para los tratamientos en estudio es decir , son dependientes a los sistemas de siembra de café con guaba y especies forestales ; se obtuvo una media de 1,36 g/cm³ y un coeficiente de variabilidad de 1,15

%, la prueba de tukey indica que hay diferencias significativas para el sistema de siembra de café con especies forestales en la provincia de Moyobamba quien obtuvo el mayor valor de densidad aparente con $1,49 \text{ g/ cm}^3$.

- Se determinó la materia orgánica de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales, el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas para para los tratamientos en estudio, se obtuvo una media de $5,146 \%$ y un coeficiente de variabilidad de $4,89$.
- Se determinó el nitrógeno (N) total de un suelo cafetalero con sistemas agroforestales, el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas para los tratamientos en estudio, Se obtuvieron una media de $0,368 \%$ y un coeficiente de variabilidad de $1,99 \%$.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- Al margen de los tipos de suelo, es necesario propiciar árboles de sombra en los diferentes cultivares de café sobre todo aquellos arboles basados en especies forestales como shaina (*Colubrina glandulosa* P.), moena (*Aniba gigantiflora*), entre otras especies de rápido crecimiento.
- Los suelos evaluados en las provincias de Lamas y Moyobamba son los adecuados para asociar el cultivo de café con especies agroforestales, por lo tanto, es necesario propiciar la agroforestería en dichos suelos por el almacenamiento de carbono.
- A las municipalidades de San Roque de Cumbaza (Lamas) y Jepelacio (Moyobamba), realizar campañas de sensibilización sobre la importancia de la reforestación de árboles maderables en cuanto a los múltiples servicios ambientales, teniendo en cuenta el aporte ambiental de captura de carbono, cuya validez ha sido demostrada en esta tesis y por ende podría ser de gran apoyo a la generación futura.
- Realizar estudios de captura de carbono con otras especies forestales en sistemas de café de menor y mayor edad de plantaciones.
- La topografía y la temperatura son factores para determinar la semejanza que existe entre el porcentaje de humedad y la temperatura en las muestras de hojarasca en situ y la cantidad de carbono almacenado en el suelo en los diferentes puntos de muestreos.

REFERENCIAS

- Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, J. D. Etchevers-Barra y A. Velásquez-Martínez. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 6: 725-736.
- Alvarado, J; Andrade, H; y Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal* Vol. 16(1): 21 – 31.
<http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a02.pdf>
- Alvarado, A., y Forsythe, W. (2005). Variaciones de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29, 85-94.
- Andrade, H., y Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, 10, 109–116.
<http://www.fao.org/tempref/docrep/nonfao/lead/x6378s/x6378s00.pdf>
- Andrade, H.J., Brook, R., y Ibrahim, M. (2008). Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil*, 308 (1-2), 11-22.
- Arshad, M.A. y Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88, 153-160.
- Arias, J. L. (2020). *Proyecto de tesis, guía para la elaboración*. (1ra ed.): Biblioteca Nacional del Perú.
- 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.
- Ávila, G. (2001) Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 8:32–35.
https://www.researchgate.net/publication/288653502_Almacenamiento_fijacion_de_carbono_y_valoracion_de_servicios_ambientales_en_sistemas_agroforestales_en_Costa_Rica.
- Ayala, F., Maya, Y. y Troya, E. (2018). Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 93-104. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>.
- Balaba, S. y Byakagaba, P. (2015). Soil organic carbon stocks under coffee agroforestry systems and coffee monoculture in Uganda. *Agriculture, Ecosystems and*

Environment. 216 (2016), 188–193.
<https://www.rolex.org/en/rolex-awards/environment/laury-cullen-jr-agroforestry>

- Bastida, F.; Zsolnay, A.; Hernández, T. y García, C. (2008) Past, Present and Future of soil quality índices: A biological perspective. *Geoderma*. 147:159-171. [10.1016/j.geoderma.2008.08.007](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.007).
- Bolin, B. y Sukumar, R. (2000) Global Perspective. In: *land Use, LandUse change and Forestry*, R.T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, D. J. Dokken (eds.). Cambridge University Press. Cambridge. UK, pp 23-51.
- Boreux, V., Vaast, P., Madappa, L.P. Agroforestry coffee production increased by native shade trees, irrigation, and liming. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 42 (2016). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0377-7>
- Beenhouwer, M., Geeraert, L., Mertens, J., Van, M., Aerts, R., Vanderhaegen, K., y 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.
- Busch M, A La Notte, y V Laporte, M. (2012). Potencial de los enfoques cuantitativos y cualitativos para evaluar los servicios de los ecosistemas. *Indicadores ecológicos* 21: 89-103.
- Cabrera Tirabanti ., y M. L. (2016). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca. *Revista Científica Pakamuros*, 4(1), 12. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v4i1.42>
- Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G. M. Mace, D. Tilman, D. A. Wardle, A. P. Kinzig, G. C. Daily, M. Loreau, J. B. Grace, A. Larigauderie, D. S. Srivastava, y S. Naeem. 2012. Biodiversity loss y its impact on humanity. *Nature* 486: 59-67.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., y Walters, D.T., 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, y nitrogen management. *Ambio* 31, 132–140.
- Celaya-Michel, H., y Castellanos-Villegas, A. (2011). Mineralización de Nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356.
- Cerda, R., Allinne, C., Gary, C., Tixier, P., Harvey, C., Krolczyk, L., Mathiot, C., Clément, E., Aubertoti, J., y Avelino, J. (2016). Effects of shade, altitude y management on multiple ecosystemservices in coffee agroecosystems. *Agronomy*, 3(3).
- Cardoso, I.M.; Souza, H.N; y Mendonca, E.S. (2005). Biodiversidade, recurso genético e

cuidados fitosanitarios. R. Ação Ambiental. 31:18-20.

Chen, Y., Wu, C.Y., Shui, J.G., y Wang, J.Y. (2006). Emission y fixation of CO₂ from soil system as influenced by long-term application of organic manure in paddy soils. *Agricultural Sciences in China*, 5(6), 456-461.

Cristóbal, D., Hernández, E., Maldonado, R., y Álvarez, M. (2015). Variabilidad espacial de carbono en un suelo después de 10 años de retiro e incorporación de residuos de cosecha. *Terra Latinoamericana*, 33(3), 199-208.

Cueva, A., Robles, C., Garatuza, J y Yépez, E. (2016). Soil respiration in Mexico: Advances y future directions. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 253-269.

Espinoza, Y. (2010). Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y el tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro*, 22(3), 177-184.

De Beenhouwer M, Geeraert L, Mertens J, Van Geel M, Aerts R, Vanderhaegen K., y 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 Ecosystem y Environment* 222:193-199. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163139903>

Doerge T, Kitchen NR y Lund ED. (2015). Mapeo de Conductividad Eléctrica del suelo. Traducido y adaptado para Colombia por Alberto Lobo-Guerrero Sanz, LOGEMIN S.A. Fecha de consulta: 16/04/2015 en: http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/39_mapeo_conductividad_electrica.pdf

Domínguez, G. (2009). Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo serie ciencias forestales del ambiente*, 15(1), 59-64. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsfa/v15n1/v15nla7.pdf>.

Echeverri, D y Cols, C. (2005). Café para cardiólogos. *Revista Colombiana de Cardiología*, 11 (8). Ehrenbergerová, L., Cienciala, E., Kučera, A. *et al.* Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Peru. *Agroforest Syst* 90, 433–445 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9865-z>

Espinoza-Domínguez, W., y L. Krishnamurthy., A. Vázquez-Alarcón y A. Torres. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(1): 57-70. <http://www.redalyc.org/pdf/629/62924537005.pdf>

FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Propiedades del suelo. Fecha de consulta: 08/04/2015 en: www.fao.org/soilsportal

- FAO (13 de marzo de 2014). *Aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/news/story/es/item/218907/icode/>.
- Fassbender, H.W. (1993). Modelos edafológicos de sistemas agroforestales (2ª edición). Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 530p.
- Falcao, M. y Clement, C. (2000). Phenology and productivity of inga (*Inga edulis*) in Central Amazonia, *Acta Amazonica*. , 8.
https://www.researchgate.net/publication/342614073_Fenologia_floral_de_la_guaba_Inga_edulis_en_un_valle_interandino_del_Ecuador.
- FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MUNICIPIOS Y PROVINCIAS (FEMP). Sumideros de carbono a nivel local: Red española de ciudades por el clima [en línea]. España; 2012, pp.162. [Fecha de Consulta: 23 de noviembre del 2016].
- Fisher B, RK Turner, y P Morling. (2009). Definición y clasificación de los servicios ecosistémicos para la toma de decisiones. *Economía ecológica* 68 (3): 643-653.
- Flores DL y Alcalá MJ R. (2010). Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de suelos. Instituto de Geología. Departamento de Edafología. UNAM. Fecha de consulta: 16/04/2015 en: <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manualLFS.pdf>
- Foley, J. A., N. Ramankutty, K. A. Brauman, E. S. Cassidy, J. S. Gerber, M. Johnston, N. D. Mueller, C. O'Connell, D. K. Ray, P. C. West, C. Balzer, E. M. Bennett, S. R. Carpenter, J. Hill, C. Monfreda, S. Polasky, J. Rockström, J. Sheehan, S. Siebert, D. Tilman, y Y D. P. M. Zaks. 2014. Solutions for a cultivated planet. (2011). *Nature* 478: 337-342. [Links]
- FAO (13 de Marzo de 2014). *Aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/news/story/es/item/218907/icode/>
- FAO. (2007). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Pagos a los agricultores por servicios ambientales. *Agricultura - 38*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 255 p.
- FAO. (2000). Manual on integrated soil management and conservation practices. Land and water bulletin 8, FAO, Rome. 204 pp
- Gallardo, J., y Merino, A. (2007). El ciclo del carbono y la dinámica en los sistemas forestales. *ES. CSIC*, 22.
http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Honorio_Baker2010%20Manual%20carbono.pdf.

- Garzón, J., y Cárdenas., E (2013). Emisiones antropogénicas de amoníaco, nitratos y óxido nítrico: compuestos nitrogenados que afectan al medio ambiente en el sector agropecuario colombiano. *Rev. Med. Vet. Zoot.*, 60 (2), 121-138. <http://www.scielo.org.co> ›
- Galloway, J.N., y Cowling, E.B., (2002). Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. *Ambio* 31, 64–71.
- Ge, T., Chen, X., Yuan, H., Li, B., Zhu, H., Peng, P., Li, K., Jones, D., y Wu, J. (2013). Microbial biomass, activity, and community structure in horticultural soils under conventional and organic management strategies. *European Journal of Soil Biology*, 58, 122-128.
- Geissen, V., y Morales, G. (2006). Fertility of tropical soils under different land use systems- a case study of soils in Tabasco, México. *Applied Soil Ecology*, 31(1-2), 169-178.
- Gleick, P. H., y H. Cooley, Y M. (2010). The world's water 2008-2009: The biennial report on freshwater resources. Island Press. Washington, DC, USA.
- Grét-Regamey A., y A Walz, P.B (2008). Valoración de los servicios ecosistémicos para la planificación del paisaje sostenible en las regiones alpinas. *Investigación y desarrollo de las montañas* 28 (2): 156-165
- Graham, M., Y Haynes, R. (2005). Organic matter accumulation and fertilized-induced acidification interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long-term sugarcane management experiment. *Biology and Fertility of Soils*, 41(4), 249-256.
- Gutiérrez, R. C. L. (2017). Estimación de la Captura de CO2 en el Juncal del Área de Conservación Regional la Albufera de Medio Mundo (ACRAMM) – Huaura, Lima Perú.(Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huacho, Perú. Recuperado de http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/303/Gutierrez_Claudia_tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 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.
- Han L, Sun K, Jin J Y Xing B. (2016). Some concepts of soil organic carbon characteristics and mineral interaction from a review of literature *Soil Biol. Biochem.* 94 107–21.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Y Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850-853. doi: 10.1126/science.1244693.

- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. Y Nelson, W. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to nutrient Management*. Seventh Edition. Pearson/Prentice Hall. New Jersey, USA. 528 p.
- Hazelton P. y Murphy B. (2007). *Interpreting soil test results: what do all the numbers mean?* 2nd ed. CSIRO PUBLISHING. NSW Government, Department of Natural Resources, University of Technology Sydney. Australia. 160 pp.
- Hergoulach K., Blancart E., Skiba U., Henault, C., Y 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.
- Hernández, T.y García, C. (2003). Estimación de la respiración microbiana del suelo. En: García, C.; Gil-Sotres, F.; Hernández, T.; Trasar-Cepeda, M. (eds.). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en suelos. Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid (España). p.322-324.
- Hernández R, Fernández C. Baptista M.P. (1998). *Metodología de la investigación*. ISBN: 978-607-15-0291-9. México.
- Hidalgo C, Pierina G.(2016), resistencia la comprensión paralela y perpendicular al grano de madera mohena (mohena amarilla), como energía renovable, Ucayali. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_b00411d208728f94e9eb4c90d4d9b022.
- Huerta CHE. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Querétaro y su relación en el crecimiento bacteriano*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Juriquilla, México. Fecha de consulta 09/04/2015. en: <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tesisHilda1101.pdf>
- Hu Y, Su Z, Li W. (2015) Influence of Tree Species Composition and Community Structure on Carbon Density in a Subtropical Forest. *PLoS ONE* 10 (8): e0136984. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136984>
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Y Mora, J. (2005). Traditional and improved silvopastoral systems and their importance in sustainability of livestock farms. *Silvopastoralism and sustainable land management*. 13–18.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC para inventarios nacionales de GEI. Volumen 4: Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra*. IGES, Japon.

- Jassal, R., T. Black, T. Cai, K. Morgenstern, Z. Li, D. Gauymont-Guay y Z. Nestic. 2007. Components of ecosystems respiration and an estimate of net primary productivity of an intermediate-aged Douglas-Fir stand. *Agric. For. Meteorol.* 144: 44-57. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85730395004.pdf>
- Jezeer, R. E. y Verweij, P. A. (2015). *Café en Sistema Agroforestal – doble dividendo para la biodiversidad y los pequeños agricultores en Perú*. Hivos, The Hague, Holanda. <https://es.scribd.com/document/378404313/Cafe-en-Sistemas-Agroforestales-Ciuiu-Version-Espanola-de-Shade-Grown-Coffee-Report>
- Jinquan, Li., Ming, Nie., Jeff, P., Andrew, B. y Elise, P. (2020). Las propiedades físico-químicas del suelo son fundamentales para predecir el almacenamiento de carbono y la disponibilidad de nutrientes en Australia. *Environ. Res. Letón.* 15 (9) https://www.researchgate.net/publication/342397955_Soil_physico-chemical_properties_are_critical_for_predicting_carbon_storage_and_nutrient_availability_across_Australia
- Jhonson C. (2009). *Biology of Soil Science*. Oxford Book Company, Jaipur, India. 308 pp.
- Jordán, A. (2010). *Edafología*. Departamento de cristología, Mineralogía y química agrícola. Universidad de Sevilla. Sevilla España.
- Kramer M G Y Chadwick O A. (2018). Climate-driven thresholds in reactive mineral retention of soil carbon at the global scale *Nat. Clim. Change* 8 1104–8.
- Lal, R. (2003). Offsetting global CO₂ emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry. *Land Degrad. Develop.* 14: 309-322. [Links] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.562>
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Racines (2017). Adaptación al cambio climático de la producción de café en el espacio y el tiempo. *Cambio climático* 141, 47-62. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-016-1788-9>
- Lapeyre, T., Alegre, J. y Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3 (1,2), 35 - 44. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172622162004000100006
- León MCE. (2000). *Propiedades de los suelos*. CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). Programa Nacional de Transferencia de Tecnología

Agropecuaria. Bucaramanga, Colombia. Fecha de consulta 09/04/2015 en: www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671995247_Propiedades%20de%20los%20suelos.pdf.

Ley Marco Sobre el Cambio Climático N° 30754. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 18 de abril del 2018. pp. 3-9.

Liu, X., Liu, X., Skidmore, A., y Garcia, C. (2017). Recovery of woody plant species richness in secondary forests in China: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 7(1), 10614. doi: [10.1038/s41598-017-10898-7](https://doi.org/10.1038/s41598-017-10898-7)

Loguercio, G. (2005). Cambio Climático: El rol de los bosques como sumideros de carbono. Obtenido de Secretaria Académica - CIEFAP: (www.ciefap.org.ar/novedades/nota1/default.html, 05 junio).

MacDiken, K. (1997) A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US. Winrock International. 87

Martínez, E., Fuentes, J. P., Y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.

Márquez, O. (2000). “Cálculo de Biomasa y Captura de carbono en Cuatro sistemas Agroforestales con Café. Universidad Nacional la Molina. Tarapoto, Perú.

Medina, C. (2006). Indicadores de Impacto de los sistemas forestales y agroforestales. En *POSAF II* (págs. 1,28.).

Medina, C. (2004). Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistemas de café con sombra (*Coffea arabica* L), hacienda Santa Maura Jinotega. En Medina, *Tesis* (pág. 108 p.). Managua, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/1103/>

Mena, E., Andrade, H., Y 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.

Meneses Cuellar, R. y Zamora Talaverano. (2018). Valoración económica del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en la cobertura forestal - Parque Nacional del Huascarán. DOI: <http://dx.doi.org/10.24039/cv201861255>. 8p.

Ministerio del Ambiente, (2013). *Política Nacional Forestal y de fauna silvestre*. Lima: (MINAM). http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/rm_026-2013-MINAM.pdf

Montagnini, F., Y Nair, P.K.R. (2004). Carbon sequestration: an underexploited

environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61-62(1-3), 281- 295.

MINAM (2005). Ley general del ambiente N°28611 , es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú ,publicada el 13 de octubre del mismo año.

<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>

Moreno-Cornejo, J., Zorzona, R., Doane, T., Faz, A., Y Horwath, W. (2015). Influence of cropping system management and crop residue addition on soil carbon turnover through the microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils*, 51(5), 839-845.

Mukul, S. A., Herbohn, J., Y Firn, J. (2016). Tropical secondary forests regenerating after shifting cultivation in the Philippines uplands are important carbon sinks. *Scientific Reports*, 6, 22483. doi: 10.1038/srep22483

Nath, A.J., Battacharyya, T., Ray, S.K., Deka, J., Das, A.K., Devi. (2016). Assessment of rice farming management practices based on soil organic carbon pool analysis. *Trop. Ecol.* 57 (3), 607–611.

Novelli, L., Melchiori, R., Y Cavigli, O. (2009). Efecto de la fertilización nitrogenada so bre el contenido de c y n en diferentes tamaños de agregados. *Revista Científica Agropecuaria*, 13(1-2), 25-32. <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939619002.pdf>

Oelbermann, M., Voroney, R.P., Y Gordon, A.M. (2004). Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and Southern Canada. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 104, 359–377.

Olguin, M. (2001). Incorporación de la captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral: Estudio de caso en una comunidad de la Meseta purépecha. En *Tesis de licenciatura* (págs. UNAM, 73).

ONU (1992). Cambio climático. Convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático, Rio de Janeiro. BR.P3.

Ortiz, A., Y Riascos, L. (2006). Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao y laurel en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica.

Ortiz, C. G. (2004). *El agroecosistema de café: crisis de mercado y sustentabilidad*. Tesis de Doctorado en ciencias, programa en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz, México.

Ordóñez, J. A. B. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago por servicios ambientales. *Ciencias* 90: 37-42.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S2007-1132201500060000700013&lng=en

- Parker RO. (2010). Plant y soil science: Fundamentals and applications. Clifton Park, Delmar Cengage Learning, NY. 480 pp.
- Pérez, E.*et al.* (2005). Potencial de plantación y fijación de carbono. Tomo II. MAGFOR – PROFOR. Pp. 15, 16, 18, 155 p. <https://repositorio.una.edu.ni/1103/1/tnp01c752.pdf>
- Plaster, E. J (2005). La ciencia del suelo y su manejo. Thompson editores. 2da.Reimpresion. Madrid, España.
- Polyakov, V.O., Y Lal, R. (2008). Soil organic matter and CO₂ emission as affected by water erosion on field runoff plots. *Geoderma*, 143, 216 – 222
- Porta, C., López, R y Roquero, L (2003). Edafología para la agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi-prensa. Madrid-España .917 pp.
- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Pill. Trans. R. Soc. B.* 365: 2959-2971. <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2010.0143>.
- Raich, J.W. y W.H. Schlesinger. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relation to vegetation and climate. *Tellus* 44B: 81-99.
- Ramírez, M. G., Chávez-García, M. A., Y Mejía-Carranza, J. (2015). Evaluación de un vermicompost y lixiviados en Solidago x hybrida, y mineralización de C orgánico en incubaciones aerobias. *phyton, Revista Internacional de Botánica Experimental*, 84.
- Ratkowsky DA (1990) Handbook of nonlinear regression. Marcel Dekker, New York.
- Reglamento de la Ley N°30215. (2014). Ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos (Perú). <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-reglamento-de-la-ley-n-30215-ley-de-mecanismos-de-decreto-supremo-n-009-2016-minam-1407244-4/>.
- Rodríguez Becerra, M. y Mance, H (2009). Cambio climático: lo que está en juego. Colombia: Foro Nacional Ambiental.
- Rosa, H.; S. Kandel y L. Dimas, 2004. Compensación por servicios ambientales comunidades rurales. PRISMA-INE-CCMSS. México. p. 21-23.
- 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.

Rügnitz, M., Chacón, M., y 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).

Ryals, R., Kaiser, M., Torn, M.S., Berhe, A.A., Silver, W.L. (2014). Impacts of organic matter amendments on carbon and nitrogen dynamics in grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 68, 52–61.

Sagan, E. (2001). *Desnitrificación*. Disponible en:
http://www.sagangea.org/hojared_biodiversidad/paginas/hoja9.html.

Salgado, S. (2010). Manejo de fertilizantes Quimicos y organicos. *Colegio de postgraduados Montecillos*. Mexico:Mundi-prensa Mexico: S.A Primera edicion.

Sánchez-Hernández, R., Ramos-Reyes, R., Geissen, V., Mendoza-Palacios, J., De la Cruz-Lázaro, E., Salcedo-Pérez, E., Y Palma-López, D. (2011). Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 211-229.

Solis R, Vallejos-Torres G, Arévalo L, Marín-Díaz J, Ñique-Alvarez M, Engedal T, Bruun TB (2020). Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon. *The Journal of Agricultural Science* 1–11. <https://doi.org/10.1017/S002185962000074X>

Scherr, S. (2006). *Degradación de Suelos, Una Visión al 2 020*. Documento de Trabajo N° 27. Departamento de Economía Agrícola y de Recursos Naturales, Universidad de Maryland, College Park. Maryland, USA.

Schimel, D. (1994) Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biochem Cycles*, 8(3):279–293.

Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S. Y Pappendick, R.I. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of American Journal*. Vol. 50, 1986, pp. 1031-1036.

Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Jiménez Ferrer, G., Y de Jong, B. (2010). Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78, 39–51. https://www.researchgate.net/publication/226161672_Carbon_Sequestration_through_Agroforestry_in_Indigenous_Communities_of_Chiapas.

- South Africa Department of Agriculture. (2007). Soil potential. Directorate Agricultural Information Services. South Africa. 7 pp.
- Suárez, A.D. (2002). Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 117 p.
- Tamhane RV, Motiramani DP, YP Bali y Donahue RL. (1986). Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Editorial Diana Técnico. México D.F. 483 pp
- Tian, K., Zhao, Y., Xu, X., Hai, N., Huang, B., Deng, W. (2015). Effects of long-term fertilization and residue management on soil organic carbon changes in paddy soils of China: a meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 204, 40–50.
- Timoteo, K., Remuzgo, J., Valdivia, L., Sales, F., Diego, G., y 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.
- United States Department of Agriculture (USDA). (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. USA. 88pp.
- Vera Velázquez, R., Maldonado Zúñiga, K., Batista Garcet, y., del Valle, W. J. (2020). Relaciones interdisciplinarias para el estudio del suelo en la parroquia rural La América. (Original). *Roca. Revista científico - Educativa De La Provincia Granma*, 16, 702-716. Recuperado a partir de <https://revistas.udg.co.cu/index.php/roca/article/view/16>
- Walkley, A y Black. IA. (1934). An examination of Degraff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Ciencia del suelo*, 37, 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- WINDSOR, H, DUNNE, K. 2002 Useful trees of the Peruvian Amazon ecology and propagation of species. Mother of God.. Edición Primera. 125 p. <http://pwt.pe/shaina-colubrina-glandulosa-ficha-tecnica/>

TERMINOLOGÍA

Biomasa de las raíces. Son buenos indicadores funcionales del ecosistema ya que constituyen gran parte de la biomasa viva del suelo y ejercen un control sobre los procesos de patogénesis, la producción de materia orgánica y la dinámica de los nutrientes (Medina, 2006).

Cambio climático. Es una modificación del clima formado por las condiciones de la atmosfera atribuido a la actividad humana que altera la composición de los ecosistemas y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (ONU, 1992).

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 y Cols, 2005).

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.*, 2005).

Carbono orgánico del suelo. Se conoce como materia orgánica (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. Por ende, incluye una fracción viva o biota que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Cabrera *et al.*, 2016).

Degradación. Es una transformación degenerativa que afecta negativamente la biosfera interna de la tierra y que reduce la capacidad actual o futura de los suelos para seguir desempeñando sus funciones; ocurre por procesos de degradación física o química (Salgado, 2010).

Ecosistema. El complejo sistema formado por las comunidades de plantas, animales, hongos y microorganismos. Los ecosistemas no tienen límites fijos, de modo que sus parámetros se establecen en función de la cuestión científica (FAO, 2014).

Secuestro del carbono. Se trata de la remoción del carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis de las plantas y su almacenamiento como formas de materia orgánica estables y de larga vida en lo cual alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación ($t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$) (Arévalo, 2003).

Servicio ambiental. Beneficios que la humanidad obtiene de los ecosistemas, tales como la protección del recurso hídrico y la biodiversidad, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, regulación del clima y reciclado de nutrientes, entre otros (MINAM, 2012).

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 y Riascos, 2006).

APENDICE. Resultados de los análisis de suelos de un suelo cafetalero bajo un SAF en la provincia de Lamas.



LABORATORIO DE ANÁLISIS AGRÍCOLAS DE SUELOS - ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE NUEVA CAJAMARCA
San Martín Av. Cajamarca Norte N° 1151, Los Olivos IV Etapa - Distrito de Nueva Cajamarca
 Provincia de Rioja, San Martín. Teléfono 556443
 GOBIERNO REGIONAL
¡El pueblo está primero!



RESULTADO DE ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION

NOMBRE : YOKSUNY BIBIANA MEDINA MACAS
PROCEDENCIA : San Roque de Cumbaza, Lamas
FECHA DE INGRESO : 20-Ene-2020

PROFUNDIDAD : 0 - 30 cm
FECHA DE REPORTE : 5-Feb-2020
CULTIVO : Café Orgánico
ATENCION : Boleta de Venta N° 0001-004337 del 20 de Enero

Nro	CLAVE LABORATORIO	CLAVE CAMPO	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis Físico						Análisis Químico												
				Textura			Clase Textural	Densidad Aparente	pH	Conductividad Eléctrica	Carbonatos	Materia Orgánica	Elementos Disponibles			Capacidad de Intercambio Cationico	Elementos Cambiables					
				Arena	Arcilla	Limo							N	P	K		Ca ⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺⁺⁺	Saturación de Al
%	%	%			1:1	dS / m	%	%	%	ppm	ppm	meq / 100 gr de suelo						%				
1	ASC20 - 0003	L1 SR1	Café + Huaba	44.56	35.32	20.12	Franco Arcillo Arenoso	1.33	4.53	0.00053	-	5.700	0.170	9.00	44.80	13.85	6.00	0.90	0.14	0.11	6.70	48.4%
2	ASC20 - 0004	L2 SR1	Café + Shaina	46.56	31.28	22.16	Franco Arcillo Arenoso	1.35	4.64	0.00055	-	5.300	0.188	8.04	33.00	11.52	5.20	0.78	0.16	0.08	5.30	46.0%
3	ASC20 - 0005	L1 SR2	Café + Huaba	34.60	41.32	24.08	Arcilloso	1.29	4.80	0.00049	-	4.324	0.190	6.90	48.20	11.48	6.40	0.96	0.10	0.12	3.90	34.0%
4	ASC20 - 0006	L2 SR2	Café + Shaina	36.60	37.24	26.16	Franco Arcilloso	1.31	4.72	0.00049	-	4.480	0.194	2.40	51.00	14.13	6.50	0.98	0.12	0.13	6.40	45.3%
5	ASC20 - 0007	L1 SR3	Café + Huaba	32.56	41.28	26.16	Arcilloso	1.29	4.90	0.00054	-	5.000	0.270	2.52	57.40	11.85	6.80	1.02	0.18	0.15	3.70	31.2%
6	ASC20 - 0008	L2 SR3	Café + Shaina	44.52	39.28	16.20	Arcillo Arenoso	1.32	5.25	0.00070	-	5.820	0.261	3.54	60.00	15.55	7.20	1.08	0.22	0.15	6.90	44.4%
7	ASC20 - 0009	L1 SR4	Café + Huaba	32.60	41.28	26.12	Arcilloso	1.29	5.23	0.00058	-	5.730	0.256	3.12	40.50	11.79	7.00	1.05	0.14	0.10	3.50	29.7%
8	ASC20 - 0010	L2 SR4	Café + Shaina	64.56	17.24	18.20	Franco Arenoso	1.48	4.75	0.00100	-	5.100	0.228	2.22	70.40	15.82	7.10	1.06	0.18	0.18	7.30	46.1%

METODOLOGIA EMPLEADA EN LOS ANALISIS:

Textura : Hidrómetro de Bouyoucos
 pH : Potenciómetro en suspensión suelo: agua
 Conductividad Eléctrica : Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1
 Carbonatos : Gasovolumétrico con calcímetro de Bernard

Materia Orgánica : Walkley y Black
 Nitrógeno : Micro Kjeldahl
 Fósforo : Olsen Modificado
 Capac. de Int. : Espectroscopia de Bases cambiabiles

Sodio y Potasio : Fotometría de Llama
 Calcio y Magnesio : Versenato E.D.T.A
 Aluminio cambiabile : Yuan, extracción con KCl 1N
 Acidez Activa : Yuan, extracción con KCl 1N

VºBº Ing. Carlos Egoávil De la Cruz
 C.I.P. N° 32743



Tco. Geoder Ruiz Flores
 Laboratorio de Suelos

APENDICE I. Resultados de los análisis de suelos de un suelo cafetalero bajo un SAF en la provincia de Moyobamba.



LABORATORIO DE ANÁLISIS AGRÍCOLAS DE SUELOS - ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE NUEVA CAJAMARCA

San Martín

GOBIERNO REGIONAL

¡El pueblo está primero!

Av. Cajamarca Norte N° 1151, Los Olivos IV Etapa - Distrito de Nueva Cajamarca
Provincia de Rioja, San Martín. Teléfono 556443



RESULTADO DE ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION

NOMBRE : YOKSUNY BIBIANA MEDINA MACAS
PROCEDENCIA : Jepelacio - Moyobamba
FECHA DE INGRESO : 20-Ene-2020

PROFUNDIDAD : 0 - 30 cm
FECHA DE REPORTE : 5-Feb-2020
CULTIVO : Café Orgánico
ATENCION : Boleta de Venta N° 0001-004341 del 24 de Enero

Nro	CLAVE LABORATORIO	CLAVE CAMPO	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis Físico						Análisis Químico												
				Textura			Clase Textural	Densidad Aparente	pH	Conductividad Eléctrica	Carbonatos	Materia Orgánica	Elementos Disponibles			Capacidad de Intercambio Catiónico	Elementos Cambiables					
				Arena	Arcilla	Limo							N	P	K		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺⁺⁺	Saturación de Al
				%	%	%	%	ppm	ppm	meq / 100 gr de suelo	%											
9	ASC20 - 0011	M1 JP1	Café + Huaba	38.56	29.20	32.24	Franco Arcilloso	1.35	6.34	0.00104	-	5.440	0.336	3.36	40.80	28.48	24.00	3.60	0.28	0.10	0.50	1.8%
10	ASC20 - 0012	M2 JP1	Café + Moena	44.56	13.28	42.16	Franco	1.48	5.30	0.00064	-	4.710	0.348	5.46	44.70	11.91	8.80	1.32	0.18	0.11	1.50	12.6%
11	ASC20 - 0013	M1 JP2	Café + Huaba	38.60	33.28	28.12	Franco Arcilloso	1.33	6.30	0.00093	-	5.224	0.324	4.14	54.70	26.56	22.00	3.90	0.22	0.14	0.30	1.1%
12	ASC20 - 0014	M2 JP2	Café + Moena	48.52	11.32	40.16	Franco	1.51	5.74	0.00082	-	5.420	0.288	13.08	68.70	13.76	11.20	1.68	0.20	0.18	0.50	3.6%
13	ASC20 - 0015	M1 JP3	Café + Huaba	20.52	45.20	34.28	Arcilloso	1.25	6.27	0.00104	-	5.100	0.363	4.80	70.40	30.14	25.60	3.84	0.22	0.18	0.30	1.0%
14	ASC20 - 0016	M2 JP3	Café + Moena	56.56	13.24	30.20	Franco Arenoso	1.50	5.99	0.00011	-	5.324	0.420	8.10	40.20	16.68	14.00	2.10	0.18	0.10	0.30	1.8%
15	ASC20 - 0017	M1 JP4	Café + Huaba	20.56	49.28	30.16	Arcilloso	1.24	6.49	0.00089	-	4.600	0.600	4.32	50.70	29.35	25.20	3.78	0.14	0.13	0.10	0.3%
16	ASC20 - 0018	M2 JP4	Café + Moena	48.56	15.24	36.20	Franco	1.46	5.24	0.00061	-	4.300	0.540	10.32	50.40	18.17	13.90	2.08	0.16	0.13	1.90	10.5%

METODOLOGIA EMPLEADA EN LOS ANALISIS:

Textura : Hidrómetro de Bouyoucos
pH : Potenciómetro en suspensión suelo: agua
Conductividad Eléctrica : Extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1
Carbonatos : Gasovolumétrico con calcímetro de Bernard

Materia Orgánica : Walkley y Black
Nitrógeno : Micro Kjeldahl
Fósforo : Olsen Modificado
Capac. de Intercambio Catiónico : Llama de Bases cambiables

Sodio y Potasio : Fotometría de Llama
Calcio y Magnesio : Versenato E.D.T.A
Aluminio cambiante : Yuan, extracción con KCl 1N
Acidez Activa : Yuan, extracción con KCl 1N

VºBº Ing. Carlos Egoávil De la Cruz

Tco. Gleoder Ruíz Flores

C.I.P. N° 3373



YOKSUNY BIBIANA MEDINA MACAS – Ing. Ambiental UCSS, Rioja: Tesis “Captura de carbono en suelos bajo dos sistemas de producción de café (*Coffea arabica* l.) con fines de mitigación ambiental en la región San Martín”.

FECHA INGRESO: 23-ENE-20

Lamas: San Roque de Cumbaza – SAF café-huaba y SAF café-shaina

HUMEDAD DE INGRESO DE LAS MUESTRAS:

Moyobamba: Jepelacio – SAF café-huaba y SAF café-moena

Descripción	Código	Identificación	Tara	Muestra Fresca	Peso Total	Peso Seco	Suelo Seco	% Humedad *
Lamas: Café + Huaba	ASC20 - 0003	L1 SR1	101.00 gr	20.0000 gr	121.0000 gr	114.15 gr	13.1500 gr	52.09 %
Lamas: Café + Huaba	ASC20 - 0004	L2 SR1	101.42 gr	20.0000 gr	121.4200 gr	114.80 gr	13.3800 gr	49.48 %
Lamas: Café + Huaba	ASC20 - 0005	L1 SR2	99.53 gr	20.0000 gr	119.5300 gr	112.24 gr	12.7100 gr	57.36 %
Lamas: Café + Huaba	ASC20 - 0006	L2 SR2	111.91 gr	20.0000 gr	131.9100 gr	127.56 gr	15.6500 gr	27.80 %
Lamas: Café + Shaina	ASC20 - 0007	L1 SR3	102.55 gr	20.0000 gr	122.5500 gr	114.97 gr	12.4200 gr	61.03 %
Lamas: Café + Shaina	ASC20 - 0008	L2 SR3	102.73 gr	20.0000 gr	122.7300 gr	117.02 gr	14.2900 gr	39.96 %
Lamas: Café + Shaina	ASC20 - 0009	L1 SR4	107.02 gr	20.0000 gr	127.0200 gr	121.57 gr	14.5500 gr	37.46 %
Lamas: Café + Shaina	ASC20 - 0010	L2 SR4	106.70 gr	20.0000 gr	126.7000 gr	119.81 gr	13.1100 gr	52.56 %
Moyob.: Café + Huaba	ASC20 - 0011	M1 JP1	101.06 gr	20.0000 gr	121.0600 gr	118.27 gr	17.2100 gr	16.21 %
Moyob.: Café + Huaba	ASC20 - 0012	M2 JP1	108.00 gr	20.0000 gr	128.0000 gr	118.93 gr	10.9300 gr	82.98 %
Moyob.: Café + Huaba	ASC20 - 0013	M1 JP2	105.46 gr	20.0000 gr	125.4600 gr	122.93 gr	17.4700 gr	14.48 %
Moyob.: Café + Huaba	ASC20 - 0014	M2 JP2	101.37 gr	20.0000 gr	121.3700 gr	116.81 gr	15.4400 gr	29.53 %
Moyob.: Café + Moena	ASC20 - 0015	M1 JP3	103.68 gr	20.0000 gr	123.6800 gr	115.44 gr	11.7600 gr	70.07 %
Moyob.: Café + Moena	ASC20 - 0016	M2 JP3	103.45 gr	20.0000 gr	123.4500 gr	116.04 gr	12.5900 gr	58.86 %
Moyob.: Café + Moena	ASC20 - 0017	M1 JP4	102.48 gr	20.0000 gr	122.4800 gr	113.58 gr	11.1000 gr	80.18 %
Moyob.: Café + Moena	ASC20 - 0018	M2 JP4	103.24 gr	20.0000 gr	123.2400 gr	118.55 gr	15.3100 gr	30.63 %

* La humedad se calcula como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra dividido por el peso de la muestra final, secado a 105 °C por 24 horas.

DETERMINACION DE LA MATERIA ORGANICA POR CALCINACION (400 °C por 4 horas):

Descripción	Código	Tara	Muestra Seca	Peso Total	Peso Seco	Peso Cenizas	M.O. total *	C.O. total **
Lamas: Café + Huaba	ASC20 - 0003	13.3000 gr	5.0000 gr	18.3000 gr	13.5200 gr	0.2200 gr	95.60 %	55.452 %
Lamas: Café + Huaba	ASC20 - 0004	12.0800 gr	5.0000 gr	17.0800 gr	12.5800 gr	0.5000 gr	90.00 %	52.204 %
Lamas: Café + Huaba	ASC20 - 0005	12.6300 gr	5.0000 gr	17.6300 gr	12.9100 gr	0.2800 gr	94.40 %	54.756 %
Lamas: Café + Huaba	ASC20 - 0006	15.7000 gr	5.0000 gr	20.7000 gr	16.1100 gr	0.4100 gr	91.80 %	53.248 %
Lamas: Café + Shaina	ASC20 - 0007	13.3000 gr	5.0000 gr	18.3000 gr	14.0000 gr	0.7000 gr	86.00 %	49.884 %
Lamas: Café + Shaina	ASC20 - 0008	16.4800 gr	5.0000 gr	21.4800 gr	17.0400 gr	0.5600 gr	88.80 %	51.508 %
Lamas: Café + Shaina	ASC20 - 0009	12.7700 gr	5.0000 gr	17.7700 gr	13.5800 gr	0.8100 gr	83.80 %	48.608 %
Lamas: Café + Shaina	ASC20 - 0010	12.8400 gr	5.0000 gr	17.8400 gr	13.4100 gr	0.5700 gr	88.60 %	51.392 %
Moyob.: Café + Huaba	ASC20 - 0011	11.9100 gr	5.0000 gr	16.9100 gr	12.4200 gr	0.5100 gr	89.80 %	52.088 %
Moyob.: Café + Huaba	ASC20 - 0012	11.8300 gr	5.0000 gr	16.8300 gr	12.3500 gr	0.5200 gr	89.60 %	51.972 %
Moyob.: Café + Huaba	ASC20 - 0013	12.6700 gr	5.0000 gr	17.6700 gr	13.1800 gr	0.5100 gr	89.80 %	52.088 %
Moyob.: Café + Huaba	ASC20 - 0014	12.3900 gr	5.0000 gr	17.3900 gr	13.0300 gr	0.6400 gr	87.20 %	50.580 %
Moyob.: Café + Moena	ASC20 - 0015	12.7900 gr	5.0000 gr	17.7900 gr	13.3400 gr	0.5500 gr	89.00 %	51.624 %
Moyob.: Café + Moena	ASC20 - 0016	15.8900 gr	5.0000 gr	20.8900 gr	16.7100 gr	0.8200 gr	83.60 %	48.492 %
Moyob.: Café + Moena	ASC20 - 0017	15.7400 gr	5.0000 gr	20.7400 gr	16.3700 gr	0.6300 gr	87.40 %	50.696 %
Moyob.: Café + Moena	ASC20 - 0018	12.4400 gr	5.0000 gr	17.4400 gr	13.2200 gr	0.7800 gr	84.40 %	48.956 %

* La materia orgánica total se calcula como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra dividido por el peso de la muestra inicial (peso inicial sin humedad)

** El carbono orgánico total se calcula dividiendo la MO total entre 1.724

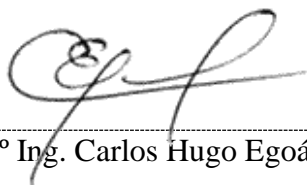
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Código Laboratorio	MO Oxidable *	% C.F.O. **	%N ***	Relación C/N
ASC20 - 0003	5.545%	3.216%	0.168%	19.11
ASC20 - 0004	5.220%	3.028%	0.383%	7.92
ASC20 - 0005	5.476%	3.176%	0.214%	14.83
ASC20 - 0006	5.325%	3.089%	0.314%	9.85
ASC20 - 0007	4.988%	2.894%	0.186%	15.60
ASC20 - 0008	5.151%	2.988%	0.328%	9.10
ASC20 - 0009	4.861%	2.819%	0.170%	16.62
ASC20 - 0010	5.139%	2.981%	0.286%	10.42
ASC20 - 0011	5.209%	3.021%	0.390%	7.74
ASC20 - 0012	5.197%	3.015%	0.548%	5.50
ASC20 - 0013	5.209%	3.021%	0.390%	7.74
ASC20 - 0014	5.058%	2.934%	0.490%	5.99
ASC20 - 0015	5.162%	2.994%	0.421%	7.12
ASC20 - 0016	4.849%	2.813%	0.627%	4.48
ASC20 - 0017	5.070%	2.941%	0.382%	7.70
ASC20 - 0018	4.896%	2.840%	0.597%	4.76

* Materia Orgánica Oxidable por Walkley y Black ** Carbono Fácilmente Oxidable (C.F.O.) = M.O. Oxidable / 1.724

*** Nitrógeno Total por Micro Kjeldahl

Nueva Cajamarca, 17 de febrero del 2020



VºBº Ing. Carlos Hugo Egoávil De la Cruz




Gerardo Ruíz Flores

APENDICE 2. Fotografías de las fases de campo y laboratorio



Imagen 1. Muestras
colectadas de Café +Guaba.



Imagen 2. Muestras
colectadas de café +
forestales.



Imagen 3. Muestra de suelo en laboratorio, listo para secado.



Imagen 4. Tamizado del suelo para analizar.



Imagen 5. Tamizado de muestras de suelo por el técnico encargado del PEAM ,el señor Gleoder Ruiz.



Imagen 6. Muestras tamizadas de las dos provincias de estudio Lamas (alto chontal) y Moyobamba (Jepelacio-sector codoyacu).



Imagen 7. Pesado de la tierra tamizada en la balanza eléctrica en el laboratorio de suelos PEAM.



Imagen 8. Evaluando el pH del suelo con ayuda del termómetro graduado.



Imagen 9. Observación de los cambios de color de los análisis.



Imagen 10. Laboratorio de suelos PEAM Nueva Cajamarca, Rioja, San Martín.



Imagen 11. Explicación del triángulo textural por parte del técnico encargado de los análisis de suelos PEAM.



Imagen 12. Ruta del análisis físico-químico de suelos



Imagen 13. Institución donde brinda servicios para poder realizar los análisis de suelo PEAM.



Imagen 14. Interpretación de resultados de acuerdo al triángulo textural.

APENDICE 3. Parámetros para la interpretación de las características generales de los resultados de análisis de suelos (Schoeneberger *et al.*, 1998).

1. Forma y grado de pendiente

Clases	Pendiente (%)	Definición
1	0-4	Llano
2	4.1-8	Ligeramente inclinado
3	8.1-12	Moderadamente inclinado
4	12.1-16	Inclinado
5	>16	Muy inclinado

2. Profundidad

Clase	Profundidad (cm)	Definición
MS	0-15	Muy superficial
S	15-30	Superficial
R	30-60	Regular
M	60-90	Mediana
P	90-150	Profunda
MP	>150	Muy profunda

3. Humedad

Código	Clase de Humedad	Criterio
D	Seco	15 bares de tensión, cerca del punto de marchitamiento.
M	Húmedo	1/3 a 15 bares de tensión (capacidad de campo y punto de marchitez).
W	Mojado	0 a 1/3 bares de tensión (capacidad de campo más saturado).
WN	Mojado no saturado	Partículas de agua visibles, pero no está presente agua libre.
WS	Saturado	El agua libre es fácilmente visible.

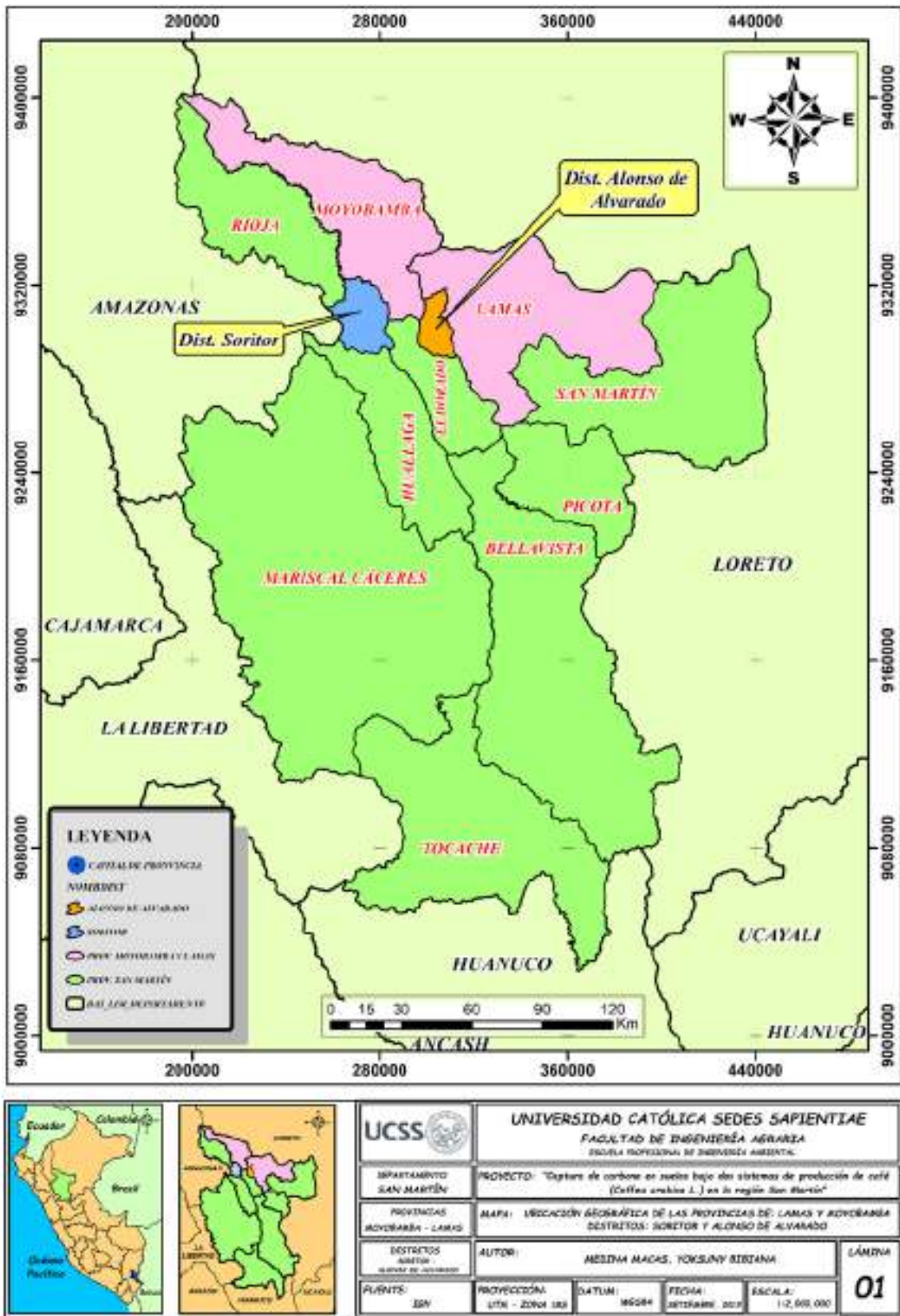
4. Tipos de texturas del suelo en base a la clase textural

Clase	Calificación	Clase Textural
F1	Muy fina	Mayor de 60% de arcilla.
F2	Fina	Franco arcillosa, franco arcilloso arenosa, franco arcilloso limosa, arcillo arenosa, arcilla.
M	Media	Franca, franco limoso, limosa.
G1	Moderadamente gruesa	Franco arenosa.
G2	Gruesa	Arena franca, arena.

5. Reacción del suelo

Valor del pH	Definición
< de 3.5	Ultra ácido
3.5 a 4.4	Extremadamente ácido
4.5 a 5.5	Muy fuertemente ácido
5.6 a 6.0	Moderadamente ácido
6.1 a 6.5	Ligeramente ácido
6.6 a 7.3	Neutro
7.4 a 7.8	Ligeramente básico
7.9 a 8.4	Moderadamente básico
8.5 a 9.0	Fuertemente básico
de 9.0	Muy fuertemente básico

APENDICE 4. Mapas de ubicación del área de estudio y parcelas de muestreo



Fuente: Elaboración propia

APENDICE 6: Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con frutales.

Nro	Tratamiento	Descripción	Carbono fácilmente oxidable	Relación carbono Nitrogeno	Carbono total en el suelo
			%		%
1	111	Lamas Café + Huaba	3.216	19.11	55.452
2	112	Lamas Café + Huaba	3.176	14.83	54.756
3	113	Lamas Café + Huaba	2.893	15.60	49.884
4	114	Lamas Café + Huaba	2.819	16.62	48.608
9	211	Moyob Café + Huaba	3.021	7.74	52.088
10	212	Moyob Café + Huaba	3.021	7.74	52.088
11	213	Moyob Café + Huaba	2.994	7.12	51.624
12	214	Moyob Café + Huaba	2.940	7.70	50.696

APENDICE 7: Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con forestales.

Nro	Tratamiento	Descripción	Carbono fácilmente oxidable	Relación Carbono Nitrógeno	Carbono total en el suelo
			%		%
5	115	Lamas Café + Shaina	3.028	7.92	52.204
6	116	Lamas Café + Shaina	3.088	9.85	53.248
7	117	Lamas Café + Shaina	2.987	9.10	51.508
8	118	Lamas Café + Shaina	2.981	10.42	51.392
13	215	Moyob Café + Moena	3.015	5.50	51.972
14	216	Moyob Café + Moena	2.934	5.99	50.380
15	217	Moyob Café + Moena	2.813	4.48	48.492
16	218	Moyob Café + Moena	2.839	4.76	48.956

APENDICE 8: Carbono en el suelo bajo un sistema de producción de “café” con frutales o forestales.

Valores originales:

Nro	Tratamiento	Descripción	Carbono fácilmente oxidable	Relación Carbono Nitrógeno	Carbono total en el suelo
			%		%
1	111	Lamas Café + Huaba	3.216	19.11	55.452
2	112	Lamas Café + Huaba	3.176	14.83	54.756
3	113	Lamas Café + Huaba	2.893	15.60	49.884
4	114	Lamas Café + Huaba	2.819	16.62	48.608
5	121	Lamas Café + Shaina	3.028	7.92	52.204
6	122	Lamas Café + Shaina	3.088	9.85	53.248
7	123	Lamas Café + Shaina	2.987	9.10	51.508
8	124	Lamas Café + Shaina	2.981	10.42	51.392
9	211	Moyob Café + Huaba	3.021	7.74	52.088
10	212	Moyob Café + Huaba	3.021	7.74	52.088
11	213	Moyob Café + Huaba	2.994	7.12	51.624
12	214	Moyob Café + Huaba	2.940	7.70	50.696
13	221	Moyob Café + Moena	3.015	5.50	51.972
14	222	Moyob Café + Moena	2.934	5.99	50.580
15	223	Moyob Café + Moena	2.813	4.48	48.492
16	224	Moyob Café + Moena	2.839	4.76	48.956

APENDICE 9: Propiedades fisicoquímicas del suelo (dap, M.O. y N total) bajo dos sistemas agroforestales.

Valores originales:

Nro	Tratamiento	Descripción	Densidad Aparente	% M.O. por W&B	% N por Kjeldahl
1	111	Lamas Café + Huaba	1.332	5.545	0.168
2	112	Lamas Café + Huaba	1.290	5.475	0.214
3	113	Lamas Café + Huaba	1.286	4.988	0.186
4	114	Lamas Café + Huaba	1.286	4.860	0.170
5	121	Lamas Café + Shaina	1.354	5.220	0.383
6	122	Lamas Café + Shaina	1.309	5.324	0.314
7	123	Lamas Café + Shaina	1.317	5.150	0.328
8	124	Lamas Café + Shaina	1.476	5.139	0.286
9	211	Moyob Café + Huaba	1.349	5.208	0.390
10	212	Moyob Café + Huaba	1.330	5.209	0.390
11	213	Moyob Café + Huaba	1.250	5.162	0.421
12	214	Moyob Café + Huaba	1.237	5.069	0.382
13	221	Moyob Café + Moena	1.476	5.197	0.548
14	222	Moyob Café + Moena	1.507	5.058	0.490
15	223	Moyob Café + Moena	1.500	4.849	0.627
16	224	Moyob Café + Moena	1.463	4.895	0.597

Fuente: Elaboración propia a partir de los análisis de suelos que se anexan.

Valores transformados:

Nro	Tratamiento	Descripción	Densidad Aparente	% M.O. por W&B	% N por Kjeldahl
		Factor de transformación estadística	$\sqrt{x + 1.0}$	ASENO(RAIZ(X))*180/PI()	
1	111	Lamas Café + Huaba	1.527	13.620	2.349
2	112	Lamas Café + Huaba	1.513	13.532	2.651
3	113	Lamas Café + Huaba	1.512	12.905	2.472
4	114	Lamas Café + Huaba	1.512	12.736	2.363
5	121	Lamas Café + Shaina	1.534	13.207	3.548
6	122	Lamas Café + Shaina	1.520	13.341	3.212
7	123	Lamas Café + Shaina	1.522	13.117	3.283
8	124	Lamas Café + Shaina	1.574	13.102	3.066
9	211	Moyob Café + Huaba	1.533	13.192	3.580
10	212	Moyob Café + Huaba	1.526	13.193	3.580
11	213	Moyob Café + Huaba	1.500	13.132	3.720
12	214	Moyob Café + Huaba	1.496	13.011	3.543
13	221	Moyob Café + Moena	1.574	13.178	4.245
14	222	Moyob Café + Moena	1.583	12.997	4.014
15	223	Moyob Café + Moena	1.581	12.721	4.542
16	224	Moyob Café + Moena	1.570	12.782	4.431

Fuente: Elaboración propia a partir de los análisis de suelos que se anexan.

Valores promedios a partir de los valores originales:

Nro	Tratamiento	Descripción	Densidad Aparente	% M.O. por W&B	% N por Kjeldahl
1 - 4	11	Lamas Café + Huaba	1.299	5.217	0.185
5 - 8	12	Lamas Café + Shaina	1.364	5.208	0.328
9 - 12	21	Moyob Café + Huaba	1.291	5.162	0.396
13 - 16	22	Moyob Café + Moena	1.487	5.000	0.566