

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE UN
SISTEMA AGROFORESTAL (CAFÉ Y GUABA), EN DIFERENTES
ALTITUDES DEL SECTOR BOLSON CUCHARA – TINGO MARIA**

Tesis

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**

Presentado por:

RODRIGUEZ CLEMENTE, Henry Luis

Tingo María – Perú

2014

DEDICATORIA

A Dios por la fortaleza de siempre,
permitiéndome llegar a este momento
tan especial en mi vida. Por los
triumfos y momentos difíciles que me
han enseñado a valorar cada día más.

A mis queridos padres Félix
Rodríguez Baltazar y Liboria
Clemente Atavillos por haberme
apoyado en todo momento, por sus
consejos, sus valores, por la
motivación constante que me ha
permitido ser una persona de bien,
por el valor mostrado para salir
adelante.

A mis hermanos: Jhon S, Claudia I. y
Maricarmen, porque siempre he contado
con ellos, gracias a la confianza que
siempre nos hemos tenido; por el apoyo
y la amistad.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyó en mi formación profesional.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M.Sc. Ladislao Ruiz Rengifo, Ing. M.Sc. Luis A. Valdivia Espinoza, Ing. Mg. Wilfredo Alva Valdiviezo, Ing. Juan P. Rengifo Trigozo.
- Al Ing. M.Sc. Lucio Manrique de Lara, docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor del presente trabajo, por su labor como formador, su amistad, su apoyo desinteresado y supervisión de la presente tesis.
- Al Ing. M.Sc. Rafael Robles Rodríguez, docente de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor del presente trabajo, por su amistad, su apoyo desinteresado, su valiosa dirección y supervisión de la presente tesis.
- A mis amigos Randy Gonzales, Ulises Rivas, José Gaspar, quienes me apoyaron desinteresadamente en el transcurso de mi carrera profesional.
- A todas aquellas personas que en forma directa o indirecta colaboraron en la realización del presente trabajo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Los bosques naturales en el Perú	5
2.2. Dióxido de carbono (CO ₂)	6
2.3. Ciclaje de nutrientes.....	9
2.4. Carbono (C)	10
2.5. Almacenamiento de carbono.....	10
2.6. Inventarios de carbono.....	13
2.7. Monitoreo del almacenamiento de carbono	13
2.8. Los sistemas agroforestales con café	14
2.8.1. Efectos de los árboles en los cafetales	15
2.8.2. Materia orgánica del suelo (MOS).....	16
2.8.3. Densidad aparente.....	17
2.8.4. Influencia de las condiciones ambientales en el almacenamiento de carbono orgánico.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1. Lugar de ejecución	20
3.1.1. Ubicación geográfica.....	20
3.2. Características del área de estudio	21
3.2.1. Sistema agroforestal ubicado en el caserío Yurimaguas	21

3.2.2.	Sistema agroforestal ubicado en el caserío Mantaro	22
3.2.3.	Precipitación	23
3.2.4.	Humedad	23
3.2.5.	Temperatura	23
3.2.6.	Características ecológicas	23
3.2.7.	Fisiografía	24
3.2.8.	Suelos	24
3.2.9.	Hidrografía	25
3.2.10.	Vías de acceso	25
3.3.	Materiales y equipos	25
3.3.1.	Material cartográfico.....	25
3.3.2.	Material satelital	25
3.3.3.	Hardware y software	26
3.3.4.	Equipo y material de campo.....	26
3.4.	Metodología	26
3.4.1.	Selección de las parcelas experimentales	26
3.4.2.	Demarcación del área de estudio	27
3.4.3.	Recopilación de datos de campo	28
3.4.4.	Estimación del carbono orgánico del suelo.....	30
3.5.	Tipo de investigación.....	31
3.6.	Variables independientes	
3.7.	Variables dependientes.....	
3.8.	Análisis estadístico.....	32
IV.	RESULTADOS	33

4.1.	Análisis del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de los SAF de 662 m.s.n.m. y 1142 m.s.n.m. en estudio.....	33
4.2.	Comportamiento del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico entre los SAF de 662 m.s.n.m. y 1142 m.s.n.m. en estudio.....	35
4.2.1.	Contenido de materia orgánica en el suelo.....	35
4.2.2.	Densidad aparente (gr/cm^3) en el suelo.....	38
4.2.3.	Contenido de carbono orgánico (t/ha^1) en el suelo	41
V.	DISCUSIÓN.....	44
5.1.	Análisis del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de un sistema agroforestal (café y guaba), en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.	44
5.1.1.	Contenido de materia orgánica en el suelo en condiciones altitudinales de 662 y 1,141 m.s.n.m.	44
5.1.2.	Densidad aparente (gr/cm^3) en el suelo en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.	45
5.1.3.	Contenido de carbono orgánico (t.ha^{-1}) en el suelo en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.	45
5.2.	Comportamiento del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, por estratos de 0 – 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm, de un sistema	

agroforestal (café y guaba), en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.	48
5.2.1. Contenido de materia orgánica en el suelo a través de los estratos sucesivos.....	48
5.2.2. Densidad aparente (gr/cm ³) en el suelo a través de los estratos sucesivos.....	49
5.2.3. Contenido de carbono orgánico (t.ha ⁻¹) en el suelo a través de los estratos sucesivos	50
VI. CONCLUSIONES	51
VII. RECOMENDACIONES.....	52
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
IX. ANEXO	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Comportamiento de las propiedades químicas entre las unidades exploratorias (U.E.) en estudio	33
2. Contenido de la materia orgánica (%) por profundidad de horizontes entre las unidades exploratorias	36
3. Densidad aparente (g/cm^3) en el suelo por profundidad de horizontes entre las unidades exploratorias	39
4. Contenido de carbono orgánico en el suelo por profundidad de horizontes entre las unidades exploratorias.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Croquis de la parcela en estudio.....	28
2. Metodología de muestreo del suelo (según Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF,IUBS/UNESCO).....	29
3. Contenido de materia orgánica (%) de los estratos sucesivos (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm) entre las unidades exploratorias.....	37
4. Contenido de aparente (g/cm ³) en el suelo de los estratos sucesivos (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm) entre las unidades exploratorias.....	40
5. Carbono orgánico (t/ha) en el suelo de los estratos sucesivos (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm) entre las unidades exploratorias.....	43
6. Muestreo de suelo de la parcela del caserío Yurimaguas.....	62
7. Muestreo de suelo de la parcela del caserío Mantaro.....	62
8. Muestreo de suelo de la parcela del caserío Yurimaguas.....	63
9. Muestreo de suelo de la parcela del caserío Mantaro.....	63
10. Sr. Maximiliano, Q. E. posesionario de parcela- caserío Yurimaguas.....	64
11. Teodora P. A. posesionaria de parcela- caserío Mantaro	64

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en las parcelas agroforestales de los caseríos Mantaro y Yurimaguas, pertenecientes al sector Bolsón Cuchara, ubicadas al noreste de la ciudad de Tingo María, en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. El objetivo fue determinar el almacenamiento de carbono orgánico en suelos de un sistema agroforestal (café y guaba), en diferentes altitudes. La metodología consistió en la recopilación de datos de las propiedades físicas y químicas del suelo. Para el estudio se consideró dos unidades exploratorias: Sistema agroforestal (SAF) ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m y un SAF ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. Para la estimación del carbono orgánico del suelo (COS) se utilizó la fórmula sugerida por MACDICKEN (1997). De los resultados obtenidos no se encontró diferencia significativa (prueba estadística *tukey*), aún así se observó un efecto positivo (medias diferentes) en la incorporación de la materia orgánica, densidad aparente COS del SAF con una altitud de 1,142 m.s.n.m. En tal sentido, a medida que aumenta el nivel altitudinal, incrementa el contenido de la materia orgánica (2 a 2.21 %), densidad aparente (1.48 a 1.49 g/cm³), carbono orgánico en el suelo (17.11 a 19.73 t/ha). Así mismo respecto al comportamiento de las variables en evaluación a través de los estratos, se determinó que a medida que se profundiza en el horizonte del suelo, la materia orgánica, densidad aparente y el carbono orgánico del suelo tienden a disminuir, este comportamiento se repite en ambas unidades exploratorias. Del estudio realizado se concluye que la altitud no influye en el contenido de

materia orgánica, densidad aparente y en el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los principales problemas que enfrenta el mundo de hoy. Algunas manifestaciones de dicho cambio son un incremento de cerca de medio grado centígrado desde el siglo pasado (CIELSA, 1996) y cambios en los regímenes hídricos. La concentración de gases de invernadero (dióxido de carbono, metano y óxidos nitrosos) en la atmósfera ha aumentado. Así mismo, el dióxido de carbono (CO₂) es el gas que contribuye más al calentamiento global. Una forma de disminuir sus efectos es almacenarlo en la biomasa mediante la fotosíntesis de las plantas y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica. Los sistemas agroforestales (SAF) representan sumideros importantes al absorber el CO₂ y liberar oxígeno.

Los sistemas agroforestales pueden disminuir la producción de los cultivos principalmente cuando se utilizan demasiados árboles y/o especies incompatibles. Así mismo, ocasionar daños mecánicos eventuales a los cultivos asociados cuando se cosechan o se podan los árboles, o por caída de gotas de lluvia desde árboles altos. El microambiente puede favorecer algunas plagas y enfermedades. Aunado a todo ello, existen otros factores externos (precipitación, clima y altitud) que influyen en el ciclaje de los nutrientes del suelo y en el almacenamiento del carbono orgánico en el suelo.

No ajena a esta realidad, en la mayoría de los suelos con instalación del cultivo de café de la provincia de Leoncio Prado, se maneja bajo sombra arbórea mediante la asociación de especies forestales. Por otro lado, existe gran potencial para manejar y recuperar áreas degradadas. En este caso, el pago de servicio ambiental por fijación y almacenamiento de carbono orgánico representa un valor agregado a la producción, que podría tener un gran potencial e importancia para los productores.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación, busca obtener información de la cantidad de carbono almacenado en el suelo en sistema agroforestales (café y guaba) de dos parcelas de investigación. Con la finalidad de generar una nueva alternativa a los productores de café generándole un ingreso adicional mediante el servicio ambiental de almacenamiento de carbono orgánico y de esta forma también contribuir a la reducción de los gases de efecto invernadero; para lo cual se planteó la siguiente hipótesis: ¿La Altitud influye en el almacenamiento de carbono orgánico en los sistemas agroforestales (café y guaba)?

Bajo este contexto se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Determinar el almacenamiento de carbono orgánico en suelos de un sistema agroforestal (café y guaba), en diferentes altitudes del sector Bolsón Cuchara – Tingo María.

Objetivos específicos

- Realizar el análisis del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de un sistema agroforestal (café y guaba), en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.
- Evaluar el comportamiento del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, por estratos de 0 – 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm, de un sistema agroforestal (café y guaba), en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Los bosques naturales en el Perú

Los bosques naturales del Perú cubren más del 50% del territorio nacional. El Perú, con una superficie de bosques de 68 millones de hectáreas, ocupa el segundo lugar en extensión boscosa de América del Sur y el séptimo lugar en el mundo. La casi totalidad de estos bosques corresponde a la formación bosque húmedo subtropical y tropical, es decir, bosques con una composición florística muy compleja, con más de 2,500 especies diferentes (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2000).

Los bosques representa un enorme y valioso potencial que adecuadamente aprovechado puede significar un gran aporte al desarrollo socioeconómico del país. Sin embargo, este recurso no ha recibido la debida importancia en lo referente a su manejo, administración y protección; por el contrario, en las últimas décadas, tal como sucede en toda la región tropical y subtropical, el bosque natural está siendo víctima de un proceso acelerado de destrucción indiscriminada por un proceso de talas y quemas, principalmente por la agricultura migratoria (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2000).

Por otro lado, el mayor potencial de emisiones de gases de efecto invernadero del sector USCUS (uso de suelo, cambio de uso de suelo y

silvicultura) se debe, principalmente, a la emisión de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono por conversión de bosques y pastizales. Este cambio de uso de la tierra está específicamente referido a la agricultura migratoria, que en el Perú convierte actualmente enormes extensiones de ecosistemas forestales en tierras de cultivo y pasturas. Se estima que la mitad de la biomasa es quemada *in situ* y 5% *ex situ* el resto se descompone en el lugar (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2000).

En la provincia de Leoncio Prado de 494,982 ha se han deforestado 105,611 ha, es decir el 21% del territorio, observándose los impactos en la agricultura y el ambiente; además, los principales causantes de la alarmante situación que se vive en nuestros bosques, son los cultivos de hoja de coca ilegal en un 40% y la agricultura migratoria en un 60%. La deforestación con fines de uso agropecuario, en zonas con condiciones topográficas severas especialmente en Selva Alta, traen como consecuencia serios problemas de erosión (FLORES, 2003).

2.2. Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas que más contribuye al calentamiento global y es el principal gas de efecto invernadero. Este gas incrementó su concentración de 280 ppm en 1750 a 360 ppm en el 2000, y el uso de combustibles fósiles genera en la actualidad del 80 al 85% del CO₂ emitido (GÓMEZ-ECHEVERRI, 2000).

Una forma de mitigar el calentamiento global y sus efectos es almacenarlos en la biomasa (mediante la fotosíntesis) y en el suelo (a través de la acumulación de materia orgánica). Los sistemas agroforestales (SAF) representan sumideros importantes de carbono (ANDRADE, 1999).

De acuerdo a SENAYAKE y GAMBOA (2003) el carbono es un hecho viviente en nuestro sistema, y consecuentemente una parte viviente de la biosfera, el ciclo del carbono rota en alrededor de 10 mil años. Este ciclo consiste en que los árboles crecen, fijan el carbono, luego mueren y el carbono vuelve a la atmósfera. JANDL (2003) reporta que los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres. Contienen cuatro veces la cantidad de carbono que la vegetación. Por eso merecen atención cuando se buscan mecanismos del almacenamiento de carbono. Aumentar el nivel de C en el suelo podría ser un servicio ambiental. El carbono del suelo se encuentra en la hojarasca, en el sistema radicular vivo y muerto, y el “carbono negro”. En promedio, las moléculas orgánicas son mineralizadas en cuatro años; una parte de ellas es extremadamente recalcitrante y su tasa de mineralización es baja. La edad de esta fracción de la materia orgánica, ligada a óxidos y arcillas, es de algunos cientos a miles de años. Es necesario entender los procesos claves en el suelo y su relación con otros factores como la temperatura, la humedad del suelo, y los nutrientes particularmente nitrógenos.

El cambio climático global, es uno de los problemas ecológicos más severos, que se propician por el incremento de las emisiones de gases de

efecto invernadero (GEI). Los gases que provocan cambios en el clima, son los mismos que actúan como gases de efecto invernadero (VENEGAS, 2003).

Una forma de mitigar los problemas de CO₂ además de reducir las emisiones, es "secuestrarlo", o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos. En el primero; se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Los bosques son el principal sumidero de CO₂, sin embargo, según algunos estudios la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, principalmente por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad (ALBRECHT-KANDJI, 2003).

Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie de la tierra. PINEDA, ORTIZ y SÁNCHEZ (2005) indican que, los bosques almacenan una importante cantidad de carbono, tanto al nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de CO₂ entre la biosfera y la atmósfera. Estos ecosistemas funcionan como sumideros si capturan CO₂ y lo convierten en carbohidratos (mediante el proceso de la fotosíntesis), o como una fuente emisora de CO si es liberado a la atmósfera a través de su quema.

2.3. Ciclaje de nutrientes

Los nutrientes que son absorbidos por las plantas son devueltos rápidamente al suelo a través de la descomposición de los residuos vegetales como hojas, ramas, flores, frutos, raíces y tallos, que al descomponerse son incorporados al material mineral del suelo. Estos residuos orgánicos aportados por los árboles de sombra, constituyen una importante fuente de nutrientes (BEER, 1988; FASSBENDER 1993), lo que hace que los árboles en asocio tengan un importante papel en el reciclaje de nutrientes para los cultivos (YOUNG, 1999).

CHARLEY y RICHARDS (1983) establecen que la circulación de los minerales en los ecosistemas se produce siguiendo tres vías:

- Bioquímica: Circulación interna de los nutrimentos dentro de las plantas, respondiendo a procesos de traslocación interna ordenados por su mismo sistema metabólico.
- Geoquímica: Circulación de nutrimentos entre los distintos componentes abióticos del sistema, la que comprende procesos de meteorización, precipitación, equilibrio químico entre fases sólidas y líquidas, absorbidas y disueltas.
- Biogeoquímica: Circulación entre componentes bióticos y abióticos como la descomposición de la M.O., por parte de los microorganismos del suelo y la consecuente absorción de los elementos mineralizados por parte de las raíces.

2.4. Carbono (C)

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. Está relacionado con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos (Jackson, 1964; citado por MARTINEZ *et al.*, 2008).

El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Jackson, 1964; citado por MARTINEZ *et al.*, 2008).

2.5. Almacenamiento de carbono

FAO (1999) alude que los bosques desempeñan una función importante en la moderación del flujo neto de gas de efecto invernadero (GEI) entre la tierra y la atmósfera. Los bosques actúan como depósitos, almacenando carbono en la biomasa y los suelos. Actúan como sumideros de carbono cuando se aumenta su superficie o su productividad, dando origen a un incremento de la absorción de CO₂ atmosférico. Por el contrario, actúan como fuente de GEI cuando la quema y la descomposición de la biomasa y las alteraciones del suelo dan origen a emisiones de CO₂ y otros GEI. En la actualidad, el 20 por ciento aproximadamente de las emisiones antropógenas mundiales de CO₂ se deben a cambios en el uso de la tierra y sobre todo a la deforestación que tiene lugar principalmente en las zonas tropicales.

ANACAFE (1998) menciona que en Guatemala, un estudio realizado sobre la cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agrosistema Café, reporta cantidades de C orgánico en el suelo que oscilan de 47.18 a 67.60 t/ha de C en diferentes niveles altitudinales y se observa el incremento de almacenamiento de C en el suelo conforme aumenta la altitud.

ÁVILA *et al.* (2001), al realizar estudios en diferentes sistemas agroforestal o monocultivo de café en Costa Rica, encontró valores de almacenamiento de C en cantidad de 139 t/ha para el sistema Café-eucalipto (4 años), 161 t/ha para Café-eucalipto (6 años), 184 t/ha para Café-poró (más de 10 años) y 153.9 t/ha para café a pleno sol (0 - 25 cm). Obviamente estos resultados dependen de las condiciones de cada sitio (clima, suelo, tipología de cafeto, manejo, etc.). Al comparar sus datos encontrados en Costa Rica, indica que fueron semejantes a los reportados en la literatura respecto a sistemas agroforestales con café en varios lugares de América Central (FASSBENDER *et al.*, 1985), FOURNIER (1996); MÁRQUEZ (1997); (ALVARADO *et al.*, 1999.), en Turrialba, Costa Rica, se encontraron 164 t/ha de C almacenado en el suelo (0 - 45 cm) de Sistema Agroforestal de Café (SAF). Al efectuarse comparaciones sobre el almacenamiento de carbono en el suelo, indica que los efectos de almacenamiento de carbono se deben a varios factores: edad de las especies, textura de suelo, cambio de uso de suelo, manejo del cultivo, entre otros.

GAYOSO (2006) indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque. Destacan los

bosques siempre verdes adultos, donde el carbono total alcanza 606,80 t C/ha con la siguiente distribución: 283,75 t C/ha en la biomasa aérea; 79,92 t C/ha en raíces (diámetro >5 mm); 2,79 t C/ha en el sotobosque; 53,56 t C/ha en la necromasa; 5,87 t C/ha en la hojarasca; y 180,91 t C/ha en los primeros 30 cm de suelo. El carbono acumulado en los suelos supera en todos los casos estudiados a los 140 t C/ha tomado en cuenta que se consideraron los primeros 30 centímetros de profundidad de suelo ya que aunque se encuentra materia orgánica hasta los 120 cm se estima que los cambios que se puedan producir más allá de los 30 cm no son significativos.

Sostiene que los principales almacenes de carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis y su descomposición a través de la hojarasca (mantillo). Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo.

SEGURA y KANNINEN (2002) señalan que los sistemas forestales y agroforestales (SAF) pueden funcionar como sumideros de CO₂ almacenando en promedio 95 t C/ha en zonas tropicales, para un total de 2,1 billones de t de C/año en estas áreas; sin embargo, hay pocos estudios de estimación de C en la parte subterránea (raíz y suelo), mantillo y árboles muertos debido a la complejidad de los sistemas (BROWN, 1997).

2.6. Inventarios de carbono

Los inventarios de carbono son una fotografía del estado actual de cada componente de carbono (biomasa, hojarasca, raíces y suelo) en términos de cantidad. Esta metodología debería permitir la comparación entre la ubicación del cultivo, tipo de sistema sistemas, periodos y dependerá de la relación costo-beneficio. Así mismo, la gran variabilidad espacial de los sistemas agroforestales hace que los muestreos estratificados sean los más convenientes., por lo que el sistema total debe ser dividido en estratos (vegetación, suelo o topografía), los cuales se pueden definir empleando imágenes satelitales, fotografías aéreas, y mapas de vegetación, suelos o topografía (MACDIKEN, 1997).

El impacto de cualquier proyecto de almacenamiento de carbono debe estimar la diferencia del carbono almacenado en sitios con proyecto y sin él (línea de base) en un tiempo determinado. En proyectos agroforestales, el caso de referencia es el sistema existente de uso de la tierra (POWELL y DELANEY, 1998).

2.7. Monitoreo del almacenamiento de carbono

En el monitoreo del almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales, las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son una herramienta estadística importante para evaluar los cambios temporales, principalmente por que proveen datos más reales y fácilmente verificables del crecimiento de la vegetación Los cambios temporales de almacenamiento de carbono en las

PPM pueden ser considerados como flujos de carbono. Este mismo autor considera que las características de las PPM (forma, tamaño y número) constituyen un aspecto clave del monitoreo. La forma de las parcelas depende enteramente de la distribución espacial de los árboles. En plantaciones lineales se debería usar parcelas con la misma forma; mientras que si los árboles se distribuyen al azar (dispersos), la forma más aconsejable es la circular; en sistemas con árboles de distribución sistemática, recomienda las PPM rectangulares (MACDIKEN, 1997).

2.8. Los sistemas agroforestales con café

FASSBENDER (1993) define a los sistemas agroforestales como una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas y/o pastos, en función del tiempo y espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida. Por otro lado, SOMARRIBA (1992) lo define como una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales: 1) existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne, y 3) al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).

FOURNIER (1996) determinó que en la evolución del agroecosistema cafetalero se han presentado, por lo menos, los siguientes tres modelos básicos de producción: A) Cafetal con exceso de sombra y varios estratos arbóreos, con diversas especies de sombra, maderables y frutales. También se incluyen en este sistema las Musáceas; B) Cafetal con sombra

regulada, en especial con árboles de *Inga sp* y *Erythrina sp* y C) Cafetal a plena exposición solar y con labores intensas de cultivo y de fertilización.

ALPIZAR y OSES (1988) indican que la productividad y la biomasa en pie de estos agroecosistemas varía mucho de una región a otra, lo que depende en buena parte de las condiciones climáticas (temperatura, precipitación, altitud, etc.) y edáficas del sitio, así como del manejo que se haga del sistema.

2.8.1. Efectos de los árboles en los cafetales

En cafetales con árboles, las copas de los árboles reducen la radiación y la temperatura (BARRADAS y FANJUL, 1986). Al mismo tiempo, se aumenta la humedad del aire y se crea un microclima diferente cerca del árbol, lo cual puede ser beneficioso en tiempos de sequía. Los árboles pueden también causar efectos indirectos positivos y negativos a los cafetos a través de plagas y enfermedades. La incidencia de malezas puede ser manejada a través de la sombra y la hojarasca de los árboles asociados. La sombra reduce el crecimiento de las malezas, particularmente de gramíneas, y la hojarasca forma una barrera física encima del suelo que dificulta la germinación de semillas de malezas (MUSCHLER, 2000).

El mantenimiento de niveles altos de materia orgánica en el suelo es uno de los factores principales, tanto por su rol de mantener la estructura del suelo, como su importancia como fuente y sustrato de nutrientes. Sin embargo, los árboles pueden tener efectos negativos como la acidificación del suelo por la absorción de bases, una acumulación de sustancias tóxicas (alelopáticas)

para el cultivo en el suelo, y la competencia con el cultivo por agua y nutrientes (RAO *et al.*, 1998).

MUSCHLER (2000) menciona que algunos efectos de los árboles a través del suelo se notan a corto plazo (reducción de la temperatura del suelo, o un aumento en humedad), muchos tienen un impacto marcado solamente después de varios años o décadas.), así mismo afirma que un ejemplo son los incrementos del contenido de la materia orgánica o del carbono y de la capacidad de intercambio catiónico del suelo bajo mayores niveles de sombra e inclusive se ve influencia a medida que se incrementa la altitud.

Los efectos positivos de los árboles para mantener la fertilidad y estructura del suelo también se notan en una degradación rápida cuando se eliminan los árboles (RAO *et al.*, 1998).

2.8.2. Materia orgánica del suelo (MOS)

La materia orgánica del suelo está constituida por los compuestos de origen biológico y el humus por restos postmortales vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos a procesos de descomposición, transformación y resíntesis (FASSBENDER, 1993).

HARMAND (2003) define la MOS como la fracción orgánica del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, incluyendo tejidos y células de organismos que viven en el suelo, y sustancias orgánicas producidas por los habitantes del mismo (flora y fauna).

El contenido porcentual de materia orgánica en la primera capa del suelo es alto con respecto a las capas subsiguientes, lo que indica una disminución regular del contenido de carbono orgánico a mayor profundidad. Mientras que en el horizonte B, salvo excepciones como la de los suelos derivados de cenizas volcánicas, la disminución de la materia orgánica es notoria y se debe a que la acumulación de restos orgánicos y la actividad de los microorganismos se da en los primeros decímetros del suelo quedando cantidades menores en el horizonte B (FASSBENDER, 1993).

El ámbito de variación del contenido de materia orgánica en el suelo, ésta sujeto a diversos factores como el clima (Temperatura y precipitación en especial, altitud, etc.), acidez del suelo (pH), tipos de vegetación que cubren el suelo y su permanencia en el tiempo, población de macro y microorganismos, régimen de humedad del suelo, drenaje, microrelieve y el tipo de uso que se dé al suelo (FASSBENDER, 1993).

2.8.3. Densidad aparente

La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al afecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Por ejemplo, para suelos arenosos una densidad aparente de 1.759 Kg/m^{-3} limita el crecimiento de las

raíces de girasol, mientras que en suelos arcillosos, ese valor crítico es de 1.460 a 1630 Kg/m⁻³, para la misma especie (JONES, 1983).

La densidad aparente puede ser incluida dentro del grupo mínimo de parámetros a medir para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo. Así mismo, los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de muchos factores, que van desde la textura, contenido de materia orgánica la cual está directamente relacionada, hasta el manejo que se le da al suelo (DORAN, *et al.*, 1994).

2.8.4. Influencia de las condiciones ambientales en el almacenamiento de carbono orgánico

La temperatura y la precipitación modifican marcadamente la naturaleza y la rapidez de la descomposición del follaje (SINGH y GUPTA, 1977).

Un cambio en la temperatura puede alterar la composición de la flora activa e igualmente tener influencia sobre cada organismo vivo en la comunidad, afectando los procesos de descomposición y liberación de nutrientes. Estos dos factores afectan indirectamente la tasa de descomposición y en sí la mineralización de nutrientes (JONES, 1983).

DORAN, *et al.*, (1994) señalan que a medida que se incrementa el nivel altitudinal con respecto a la siembra del cultivo de café, se incrementa el almacenamiento de materia orgánica en el suelo, debido a los factores

climáticos y edafológicos. Así mismo, que el nivel óptimo de humedad para los organismos descomponedores que se hallan en el suelo es de 60-70%. Sin embargo el nivel óptimo puede variar dependiendo de la temperatura y altitud. Generalmente, el ritmo en la descomposición de la materia orgánica sigue siendo igual en las diferentes temperaturas, excepto que la velocidad de su descomposición y la evolución del CO₂ es mayor a altas temperaturas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se ejecutó en dos parcelas agrícolas con la asociación de especies agroforestales (*Coffea arábica* e *Inga edulis*) de los caseríos (Mantaro y Yurimaguas), pertenecientes al sector Bolsón Cuchara, ubicada al noreste de la ciudad de Tingo María, a través de la carretera Tingo María – Castillo Grande – Santa Marta. La ubicación política de los caseríos se define inmersos al distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, departamento Huánuco. Así mismo, el trabajo de gabinete se llevó a cabo en el laboratorio de análisis de suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.1.1. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica de los dos caseríos corresponde a las Coordenadas UTM (Zona 19 K, Datum WGS 84).

Caserío Mantaro

- Este : 383700 m
- Norte : 8977712 m
- Altitud : 1,141 m.s.n.m.

Caserío Yurimaguas

- Este : 382315 m
- Norte : 8981903 m
- Altitud : 662 m.s.n.m.

La Ubicación de los caseríos en evaluación se detalla mejor gráficamente (ver Anexo 1).

3.2. Características del área de estudio

3.2.1. Sistema agroforestal ubicado en el caserío Yurimaguas

El sistema agroforestal en estudio ubicado en el caserío Yurimaguas, se encuentra a una altitud de 662 m.s.n.m, pertenece en situación de posesionario al señor Maximiliano, Quispe Eduardo, identificado con documento nacional de identidad N° 23457812, la extensión del predio abarca 9 hectáreas, conformadas por 5 has de macorilla, 01 ha de cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*), 0.5 ha de cocal (*Erythroxylum coca*) y 2.5 has de sistema agroforestal café (variedad Catimor) con guaba (*Coffea arábica* e *Inga edulis*).

Como antecedente cronológico, el área en estudio (sistema agroforestal) hasta el año 2009 por un lapso de tiempo de 5 años fue destinado para albergar el cultivo de coca (*Erythroxylum coca*), cuyo sembrío se realizaba a favor de la pendiente, ocasionando pérdida de suelo por erosión hídrica. En tal sentido hasta este periodo no recibió ningún tipo de manejo de conservación de suelo de suelo. Posteriormente hasta inicios del año 2010 el predio era

cubierto en su totalidad por malezas, con predominancia de la macorilla, debido a la acidez particular de los suelos de selva alta. A inicios del año 2010 el propietario realiza la instalación del cultivo de maíz (*Zea mays*), siendo este cultivo por dos años el sustento para el ingreso familiar. Debido a la asistencia técnica realizada por el equipo técnico competente de la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA), el año 2012 el predio es convertido de un uso de cultivo anual al cultivo permanente, mediante la instalación del café (*Coffea arabica*) con la asociación de la guaba (*Inga Edulis*), leguminosa utilizada para la recuperación del suelo, precisamos en indicar que la instalación se ejecutó mediante el sistema del método cuadrado. En la actualidad el cultivo recibe el control fitosanitario respectivo.

3.2.2. Sistema agroforestal ubicado en el caserío Mantaro

El sistema agroforestal ubicado en el caserío Mantaro, se encuentra a una altitud de 1141 m.s.n.m, pertenece en calidad de posesionario a la señora Teodora, Pérez Aquino. Identificada con documento nacional de identidad N° 00982345, la extensión del predio comprende 04 hectáreas, conformadas por 01 ha de cocal (*Erythroxylum coca*) y 03 has de sistema agroforestal café (variedad Catimor) con guaba (*Coffea arabica* e *Inga edulis*). Como antecedente cronológico hasta el año 2011 el predio era cubierto en su totalidad por malezas, con predominancia de la macorilla. A inicios del año 2012 la propietaria realiza la instalación del sistema agroforestal mediante la asociación del café con la guaba, esto mediante el apoyo y asesoramiento de la asistencia técnica realizada por el equipo competente de la Comisión

Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA), precisamos en indicar que la instalación se ejecutó mediante el sistema del método cuadrado. En la actualidad el cultivo recibe el control fitosanitario respectivo.

3.2.3. Precipitación

La estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, hasta diciembre del año 2013 registra una precipitación promedio anual de 3936.8 mm y varía en intensidad, duración y frecuencia; muchas veces se manifiestan violentamente en forma de gotas gruesas, de poca duración y en pleno sol.

3.2.4. Humedad

La estación Meteorológica José Abelardo Quiñonez de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, hasta diciembre del año 2013 registra una Humedad Relativa media anual de 84.3%.

3.2.5. Temperatura

Así mismo hasta diciembre del año 2013 registra una temperatura máxima de 30.1 °C, temperatura mínima de 20.4 °C y una temperatura promedio de 25.2 °C.

3.2.6. Características ecológicas

Según Holdrige (1993) citado por Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995), el área estudiada corresponde a la zona de vida de transición:

Bosque Muy Húmedo – Pre montano Tropical (bmh-PT) a Bosque Muy Húmedo – Subtropical (bmh-S).

3.2.7. Fisiografía

El área de estudio comprende dos extensos territorios: un territorio montañoso colinoso, con características fisiográficas extremas con pendientes muy disectadas, presentando una composición florística particular con muchas epifitas, aunque también con algunas especies del llano, siendo estructuralmente de dosel bajo con pocas especies arbóreas de gran porte; y el llano amazónico, donde se presentaron una gran diversidad de hábitats y tipos de vegetación, fisiográficamente con relieves suaves y ondulados con predominio de la planicie aluvial (Proyecto Especial Alto Huallaga – PEAH, 2012).

3.2.8. Suelos

En esta zona existen suelos cuyas características edafológicas indican que son aluviales, aptas para cultivos temporales como; arroz(bajo riego),plátano(variedad Isla), frutales, pastos y perennes como el cacao así como especies forestales y nativas, dado que tienen un alto contenido de materia orgánica llegando hasta un 25%, un intercambio catiónico de 11,5% con una distribución promedio N-P-K de 8-10-12, en la zona Oeste se encuentran suelos con un pH de 6.0 e intercambio catiónico aceptables, propicios para el buen desarrollo de cultivos perennes (Proyecto Especial Alto Huallaga – PEAH, 2012).

3.2.9. Hidrografía

La zona en estudio presenta como afluentes a los ríos (Santa Marta, Cuchara y Aguaje) que desembocan al cauce principal que es el río Huallaga”.

3.2.10. Vías de acceso

Las vías de acceso hacia el sector del Bolsón Cuchara, es por la entrada del centro poblado de Castillo Grande, mediante camino carrozable y camino de herradura, hora. El tiempo determinado para llegar al caserío de Mantaro es aproximadamente 45 minutos y al caserío de Yurimaguas es de 30 minutos. La zona de mayor influencia está por el caserío Venenillo, que está a 1 hora y 20 minutos.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Material cartográfico

Carta Nacional digital a escala 1:100 000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

3.3.2. Material satelital

Imagen de satélite ICONOS - 2008.. Distrito de Rupa Rupa - Tingo María – Sector Bolsón Cuchara.

3.3.3. Hardware y software

Laptop ASPIRE 4732Z – 4251, programa ArcGis10 versión en español.

3.3.4. Equipo y material de campo

GPS (Sistema de Posicionamiento Global) marca Garmin, cámara digital marca Lumix, flexómetro (25 m), machetes, wincha (50 m), cilindro de densidad aparente, bolsas plásticas (10 x 20).

3.4. Metodología

3.4.1. Selección de las parcelas experimentales

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron dos parcelas con sistemas agroforestales (SAF) de asociación de café y guaba (*Coffea arábica* e *Inga edulis*); una en el caserío Mantaro, la otra en el caserío de Yurimaguas, la primera a una altitud mayor a 1141 msnm, y la segunda a una altitud menor 662 msnm, respectivamente. Ambas parcelas en estudio deberían cumplir rigurosamente los criterios de selección, siendo estos:

- Fisiografía uniforme, lo que aumenta la posibilidad de que los suelos sean uniformes.
- Pendientes menores al 30% para minimizar posible efectos de erosión de hojarasca y/o suelo, etc sobre las características del suelo.

- Edad de instalación de cultivo actual al menos de 2 años para garantizar que se maneja de manera rutinaria.
- Que sean árboles (guaba) de una edad promedio a 2 años, lo cual aumenta la posibilidad de encontrar algún efecto de la presencia del árbol el suelo.

3.4.2. Demarcación del área de estudio

La demarcación del área de estudio se realizó en ambas parcelas de sistemas agroforestales, por un área de 20 m x 50 m. cada subparcelas tiene 10 m. x 50 m. y se delimitó utilizando rafia de color. Se colocó 10 estacas verdes (rombos) de madera alrededor de toda el área de estudio, en ambas parcelas experimentales.

En el área de estudio los círculos amarillos representan los puntos a muestrear de cada parcela de suelo agroforestal, el círculo rojo determina el punto donde se georeferencio, siendo estos: caserío Mantaro (este: 383700 m, Norte: 8977712 m, altitud: 1141 m.s.n.m.); caserío de Yurimaguas (este: 382315 m, norte: 8981903 m, altitud: 662 m.s.n.m.

El croquis de la parcela en estudio se detalla mejor gráficamente (Figura 1).

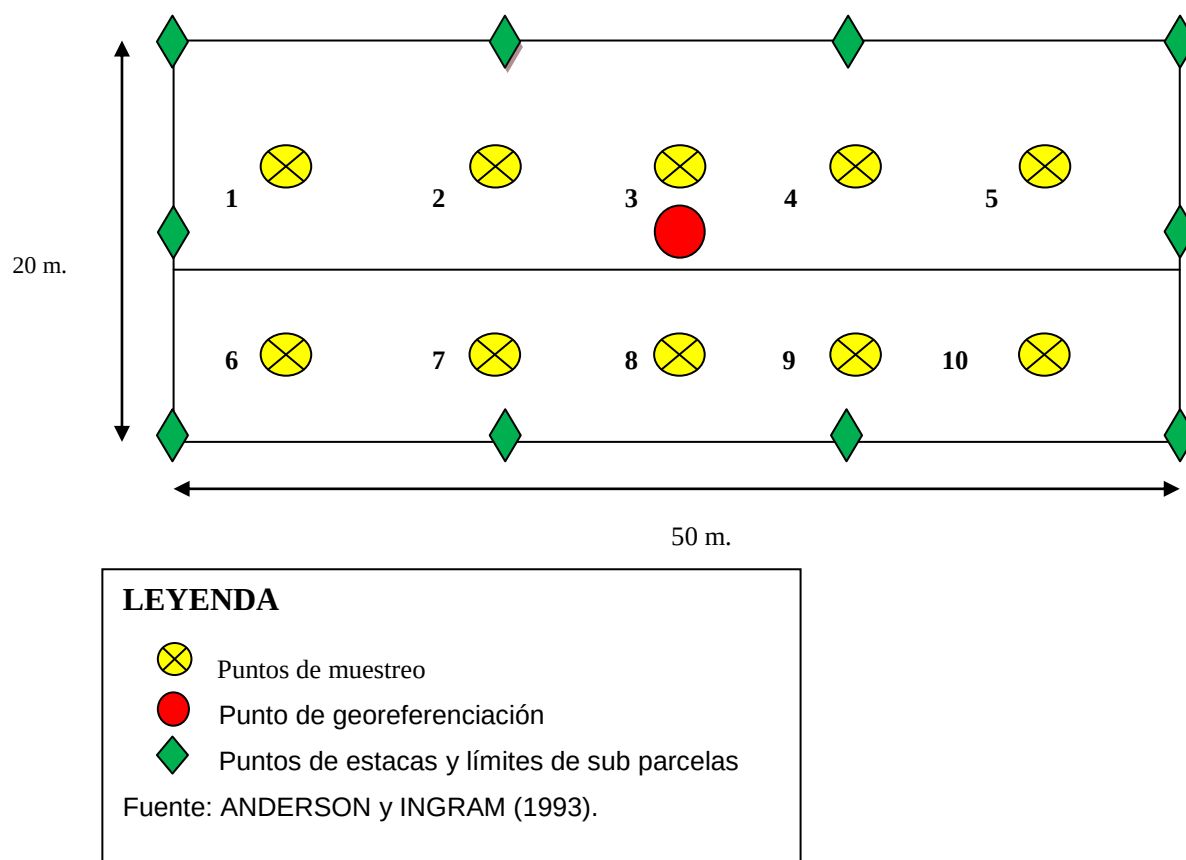


Figura 1. Croquis de la parcela en estudio.

3.4.3. Recopilación de datos de campo

Identificadas las dos parcelas de sistemas agroforestales (SAF), se procedió a recopilar los antecedentes del manejo de cultivo de cada uno de ellos. Por cada parcela de SAF descrita se tomó 10 muestras. En cada muestra que representa un monolito se separaron en tres estratos sucesivos (0-10, 10-20 y 20-30) cm., extrayéndose unas 30 submuestras por parcela de SAF, generando un total de 60 submuestras, para posteriormente ser analizadas en el laboratorio.

El método de muestreo del suelo a evaluar es similar al recomendado por el Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), (ANDERSON Y INGRAM, 1993), el área de la unidad básica de muestreo es un monolito de 25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidad, a lo largo de cada PCA.

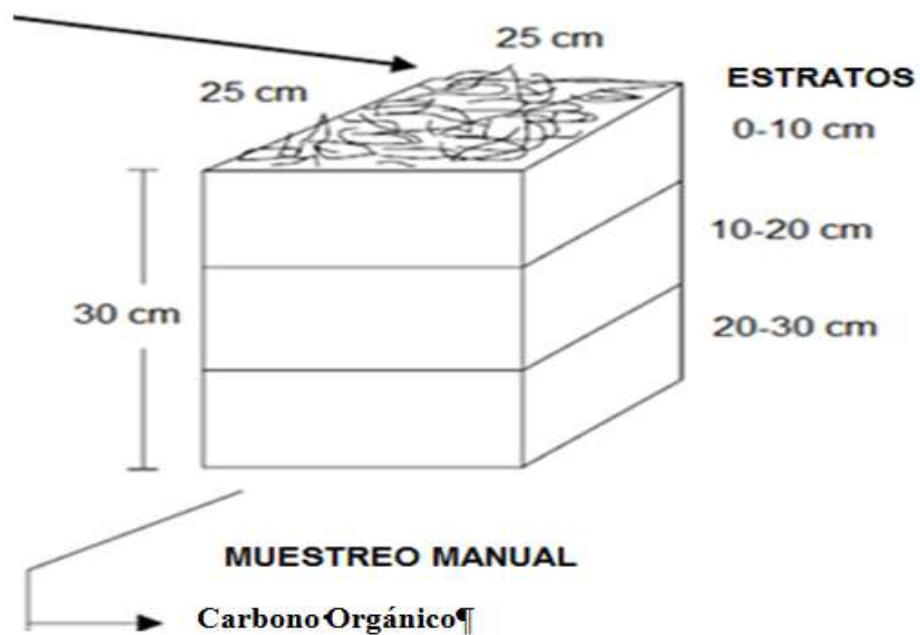


Figura 2. Metodología de muestreo del suelo (según Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF,IUBS/UNESCO).

Precisamos en indicar, respecto a la densidad aparente los cilindros muestreadores fueron introducidos de forma vertical en cada uno de los estratos sucesivos, obteniéndose 10 repeticiones por estrato, haciendo un total de 60 repeticiones entre ambas unidades experimentales.

3.4.4. Estimación del carbono orgánico del suelo

Para la estimación del carbono orgánico del suelo (COS), en cada estrato de evaluación (0 - 10 cm, 10 - 20 cm, y 20 - 30 cm), se utilizó la formula sugerida por MacDicken (1997). Tal como se detalla a continuación:

$i=n$

$$\text{COS (t ha}^{-1}\text{)} = \sum_{i=1}^n ([\text{CO}/100] * \text{Dap} * \text{Ps} * 10000)_{\text{profundidad}}$$

$i=1$

Dónde:

COS (t h-1): Carbono orgánico del suelo

i: profundidad evaluada.

n: tres profundidades

[CO] (%): Concentración de carbono orgánico en %.

%CO= 0,58 x %MO (según Walkley y Black, 1938)

Dap (t m⁻³): densidad aparente de la profundidad evaluada (t m⁻³)

Ps(m): profundidad de muestreo (m)

10000: área m⁻²

Para estimar el contenido de carbono orgánico del suelo, se utilizó la conversión sugerida por Walkley y Black (1938), citada por RÜGNTZ *et al.*, (2009) para determinar el contenido de materia orgánica. Se tomó muestras por cada estrato de suelo (0 - 10 cm.; 10 - 20 cm.; y 20 - 30 cm.) en las dos parcelas en estudio, luego se envió al laboratorio de suelos para obtener los datos de materia orgánica por profundidad.

Para calcular la densidad aparente se determinó por el método del cilindro, donde introducimos un cilindro metálico al suelo para extraer una muestra de volumen (502.66 cm^3) y secado al horno a 105°C por 72 horas, para determinar su peso seco (ms).

3.5. Tipo de investigación

El trabajo correspondió al tipo de investigación exploratorio, debido a que el estudio tomó como objeto describir las relaciones entre dos o más variables en un momento determinado, en función de la relación causa – efecto (causales), el diseño fue no experimental transectoriales correlacionales - causales (HERNÁNDEZ et al., 2006).

3.6. Variables independientes

Las variables independientes son:

Sistema agroforestal (café y guaba) a una altitud de 662 m.s.n.m.

- Sistema agroforestal (café y guaba) a una altitud de 1141 m.s.n.m.

3.7. Variables dependientes

Carbono orgánico de suelo, evaluado en tres estratos.

- E1 = (0 -10) cm, profundidad.
- E2 = (10 -20) cm, profundidad.
- E3 = (20 -30) cm, profundidad.

3.8. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron aplicando estadística descriptiva en un inicio para evaluar su comportamiento entre las dos unidades exploratorias, Altitud SAF de 662 msnm. y Altitud SAF de 1142 msnm.

Para encontrar diferencias estadísticas entre las dos unidades exploratorias con respecto a las variables dependientes se utilizó la prueba t para la inferencia basadas en dos muestras. Para describir los resultados se utilizaron cuadros y graficas de barras descriptivas.

IV. RESULTADOS

En cumplimiento con el primer objetivo específico, se realizó el análisis del contenido de la materia orgánica, densidad aparente y el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de las unidades exploratoria en estudio.

4.1. Análisis del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de los SAF de 662 m.s.n.m. y 1142 m.s.n.m. en estudio

El Cuadro 1, muestra los resultados obtenidos de la prueba T a un 5% de nivel de significancia para el contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, evaluada entre las unidades exploratorias:

Cuadro 1. Comportamiento de las propiedades químicas entre las unidades exploratorias (U.E.) en estudio

Propiedades químicas	UE (Altitud)	UE (Altitud)	p - valor
	662 m.s.n.m.	1,141 m.s.n.m.	
M.O (%)	2.00 ± 0.21 a	2.29 ± 0.21 a	0.3344
Densidad ap. (g/cm ³)	1.48 ± 0.03 a	1.49 ± 0.09 a	0.8341
COS (t/ha)	17.11 ± 0.20 a	19.73 ± 0.22 a	0.6284

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

Estadísticamente no se encontró diferencia significativa (p -valor = 0.3344) en lo referente al contenido de materia orgánica (%), entre las dos unidades exploratorias en estudio. Sin embargo, se evidencia mayor concentración del contenido de la materia orgánica (2.29%) en el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,141 m.s.n.m., a diferencia del contenido de la materia orgánica (2.00%) del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. este comportamiento se relaciona al grado de descomposición de la hojarasca y posterior incorporación de la materia orgánica al suelo influenciado directamente por los factores climáticos (temperatura, precipitación, altitud).

En lo concerniente a la densidad aparente, estadísticamente no se encontró diferencia significativa (p -valor = 0.8341) entre las dos unidades exploratorias en estudio. Más aun, de acuerdo al análisis físico de suelo, el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,141 m.s.n.m. presenta 1.49 (g/cm^3). Mientras que, el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. ostenta 1.48 (g/cm^3). de densidad aparente en el suelo.

Del contenido de carbono orgánico en el suelo está relacionado directamente con la densidad aparente, estadísticamente no existe diferencia significativa (p -valor = 0.6284) para el COS (t/ha) de ambas unidades exploratorias en estudio. Sin embargo, el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,141 m.s.n.m. presenta un almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (COS) de 19.73 (t/ha), siendo este nivel de almacenamiento mayor a

comparación del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. quien almacena 17.11 (t/ha) de COS.

4.2. Comportamiento del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico entre los SAF de 662 m.s.n.m. y 1142 m.s.n.m. en estudio

4.2.1. Contenido de materia orgánica en el suelo

Los resultados de la prueba T, según el Cuadro 2, muestra que no existe diferencia significativa (p -valor = 0.1836) a un 5% de nivel de significancia en el primer estrato (0 – 10 cm) entre ambas unidades exploratorias en estudio. Con medias que oscilan de 2.39 y 3.03%, encontrándose mayor contenido de materia orgánica en el suelo del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m.

Lo mismo ocurre en el segundo (10 - 20 cm), no existe diferencia significativa (p -valor = 0.7389), a pesar de que existe un ligero incremento de la materia orgánica (2.17%) en el suelo del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m.

Finalmente en el tercer estrato según la prueba T no existe diferencia significativa (p -valor = 0.9132) a un 5% de nivel de significancia, aun así a pesar de tener medias distintas se observa un ligero incremento del contenido de la materia orgánica (1.66%) en el suelo del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m.

Cuadro 2. Contenido de la materia orgánica (%) por profundidad de horizontes entre las unidades exploratorias

Profundidad del horizonte (cm)	UE (Altitud)	Materia Orgánica (%)
0 - 10 cm	662 m.s.n.m.	2.39 ± 0.33 a
	1,141 m.s.n.m.	3.03 ± 0.33 a
	p-valor	0.1836
10 - 20 cm	662 m.s.n.m.	2.00 ± 0.36 a
	1,141 m.s.n.m.	2.17 ± 0.36 a
	p-valor	0.7389
20 - 30 cm	662 m.s.n.m.	1.60 ± 0.35 a
	1,141 m.s.n.m.	1.66 ± 0.35 a
	p-valor	0.9123

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

En el primer, segundo y tercer estrato se observa mayor contenido de la materia orgánica en el suelo del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m. a diferencia del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. así mismo del grafico se observa, que a mayor profundidad del

suelo, el contenido de materia orgánica para ambas unidades exploratorias empieza a decrecer.

El comportamiento de la materia orgánica (%) en los componentes estudiados se detalla mejor gráficamente (Figura 3).

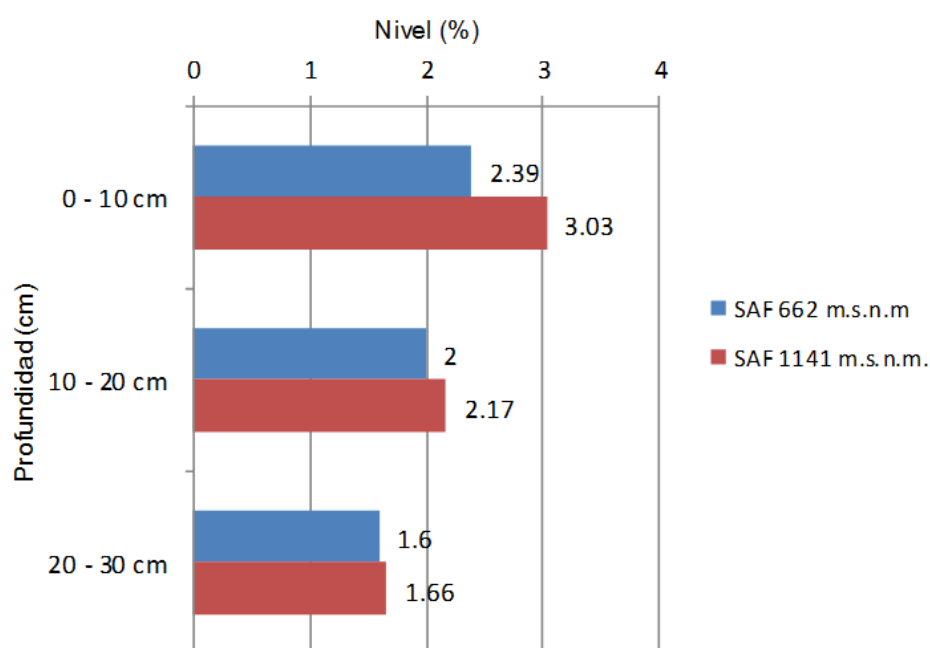


Figura 3. Contenido de materia orgánica (%) de los estratos sucesivos (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm) entre las unidades exploratorias.

La Figura 3, muestra que no existe diferencia estadística ($p = < 0.05$), en los estratos sucesivos (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm), para ambas unidades exploratorias evaluadas.

4.2.2. Densidad aparente (gr/cm^3) en el suelo

El Cuadro 3, muestra que para la prueba T no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ($p\text{-valor} = 0.1884$) con respecto a la densidad aparente (g/cm^3) del suelo en el primer estrato (0 - 10 cm), a pesar de presentar medias distintas 1.48 y 1.59 (g/cm^3) de densidad aparente del suelo. Siendo mucho mayor del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m.

En el segundo estrato (10 - 20 cm) no se repite el comportamiento anterior, debido a que se presenta una mayor densidad aparente en los suelos con el sistema agroforestal ubicado a 662 m.s.n.m. aun no existe diferencia significativa ($p\text{-valor} = 0.8107$), presentando medias distintas 1.44 y 1.45 (g/cm^3) de densidad aparente del suelo.

Finalmente en el tercer estrato (20 - 30 cm) no se encuentra diferencia significativa ($p\text{-valor} = 0.5187$). Aun así a pesar de tener medias distintas y repitiéndose el comportamiento del segundo estrato.

Cuadro 3. Densidad aparente (g/cm^3) en el suelo por profundidad de horizontes entre las unidades exploratorias

Profundidad del horizonte (cm)	UE (Altitud)	D. aparente (gr.cm^{-3})
0 - 10 cm	662 m.s.n.m.	1.48 ± 0.06 a
	1,141 m.s.n.m.	1.59 ± 0.06 a
	p-valor	0.1884
10 - 20 cm	662 m.s.n.m.	1.45 ± 0.05 a
	1,141 m.s.n.m.	1.44 ± 0.05 a
	p-valor	0.8107
20 - 30 cm	662 m.s.n.m.	1.51 ± 0.06 a
	1,141 m.s.n.m.	1.45 ± 0.06 a
	p-valor	0.5187

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

El comportamiento del contenido densidad aparente (g/cm^3) del suelo en los componentes estudiados se detalla mejor gráficamente (Figura 4).

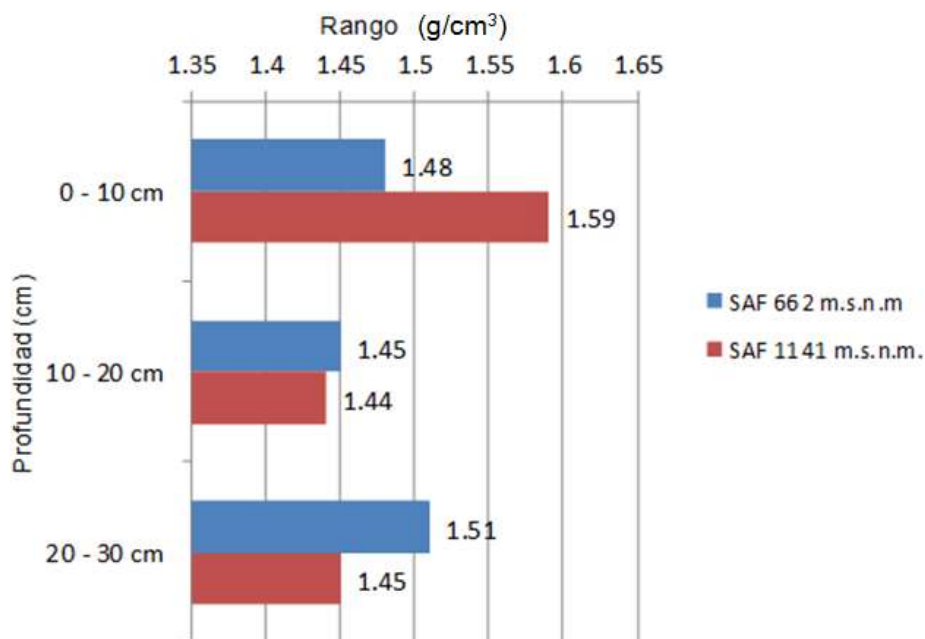


Figura 4. Contenido de aparente (g/cm^3) en el suelo de los estratos sucesivos (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm) entre las unidades exploratorias.

La Figura 4, ilustra el comportamiento de densidad aparente (g/cm^3) del suelo entre las unidades exploratorias a través de los estratos sucesivos. En el primer estrato (0 – 10 cm) para el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m. la densidad aparente (g/cm^3) del suelo es 1.59 (g/cm^3), decreciendo en el segundo y tercer estrato (1.44 y 1.45 g/cm^3 respectivamente).

Del mismo modo, el comportamiento anterior se repite en el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. ocurriendo que en el primer, segundo estrato la densidad aparente (g/cm^3) del suelo disminuye de

1.48 a 1.45 (g/cm^3) respectivamente. Mientras que, en el tercer estrato se incrementa la densidad aparente a 1.51 (g/cm^3).

4.2.3. Contenido de carbono orgánico (t/ha^1) en el suelo

El Cuadro 4, muestra que para la prueba T no existe razones suficientes para aceptar diferencia significativa ($p\text{-valor} > 0.05$) a un 5% de nivel de significancia entre las unidades exploratorias, a través de los estratos sucesivos (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm).

La suma de los tres estratos en cada unidad exploratoria, hace el total de carbono orgánico en el suelo. En tal sentido realizado la prueba T demostró que no existe diferencia significativa ($p\text{-valor} = > 0.6284$) a un 5% de nivel de significancia entre las unidades exploratorias en estudio.

A pesar de no existir razones suficientes para aceptar diferencia significativa, existiendo numéricamente medias diferentes (17.11 y 19.73 t/ha) y siendo mayor el almacenamiento de COS por parte del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,141 m.s.n.m. Por lo tanto, se observa un incremento no significativo del contenido de carbono orgánico en el suelo a mayor altitud en lo referente a las unidades exploratorias en estudio. En tal sentido, la altitud no influye significativamente en el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo.

Cuadro 4. Contenido de carbono orgánico en el suelo por profundidad de horizontes entre las unidades exploratorias.

Profundidad del horizonte (cm)	UE	COS (t/ha)
0 - 10 cm	662 m.s.n.m.	20.47 ± 0.30 a
	1,141 m.s.n.m.	26.50 ± 0.27 a
	p-valor	0.1765
10 - 20 cm	662 m.s.n.m.	16.91 ± 0.03 a
	1,141 m.s.n.m.	17.90 ± 0.09 a
	p-valor	0.8147
20 - 30 cm	662 m.s.n.m.	13.96 ± 0.29 a
	1,141 m.s.n.m.	14.81 ± 0.32 a
	p-valor	0.8619
0 – 30 cm	662 m.s.n.m.	17.11 ± 0.20 a
	1,141 m.s.n.m.	19.73 ± 0.22 a
	p-valor	0.6284

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey.

El comportamiento del carbono orgánico (t/ha) en los componentes estudiados se detalla mejor gráficamente (Figura 5).

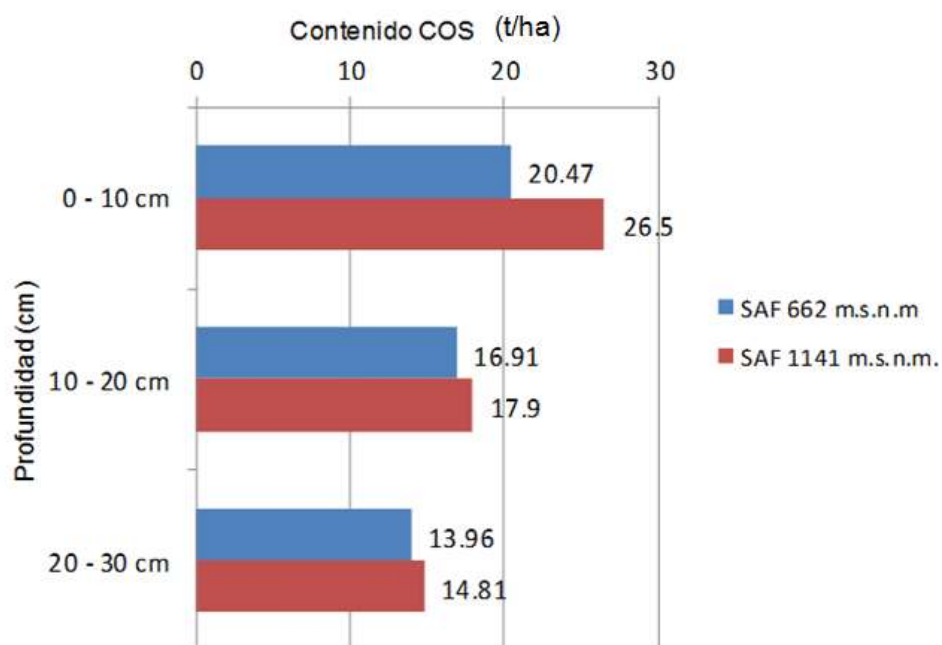


Figura 5. Carbono orgánico (t/ha) en el suelo de los estratos sucesivos (0 - 10 cm, 10 - 20 cm y 20 - 30 cm) entre las unidades exploratorias.

La Figura 5 ilustra el comportamiento del carbono orgánico del suelo entre las unidades exploratorias en estudio. Como se podrá apreciar en los primeros 10 centímetros no existe diferencia estadística, más aún se observa un mayor almacenamiento de COS en el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m. comportamiento que se repite en los estratos siguientes. Por otro lado, el almacenamiento de COS a través de los estratos de cada unidad exploratoria en estudio, presenta un valor decreciente a medida a que se incrementa la profundidad.

V. DISCUSIÓN

5.1. Análisis del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de un sistema agroforestal (café y guaba), en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.

5.1.1. Contenido de materia orgánica en el suelo en condiciones altitudinales de 662 y 1,141 m.s.n.m.

El contenido de materia orgánica entre las unidades exploratorias de 662 y 1,141 m.s.n.m. no presentó estadísticamente diferencia significativa. Sin embargo, se evidenció mayor concentración (2.29%) en el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,141 m.s.n.m., a diferencia (2.00%) del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. este comportamiento está directamente relacionado al grado de descomposición de la hojarasca y posterior incorporación de la materia orgánica al suelo. Esto influenciado directamente por los factores climáticos (temperatura, precipitación, altitud).

FASSBENDER (1993) menciona que el ámbito de variación del contenido de materia orgánica en el suelo, ésta sujeto a factores como el clima (Temperatura y precipitación en especial, altitud, etc.), y el tipo de uso que se

dé al suelo, lo cual se ha observado en el sistema agroforestal ubicado a 1,141 m.s.n.m. sobre el sistema agroforestal ubicado a 662 m.s.n.m.

5.1.2. Densidad aparente (gr/cm³) en el suelo en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.

Estadísticamente no se encontró diferencia significativa respecto a las densidad aparente del suelo entre las unidades exploratorias de 662 y 1,141 m.s.n.m. a pesar de presentar medias distintas 1.48 y 1.49 (g/cm³) respectivamente.

DORAN, *et al.*, 1994) indica que los valores que puede tomar la densidad aparente depende de muchos factores, entre ellas el contenido de materia orgánica la cual está directamente relacionada. El comportamiento de la materia orgánica en relación de la densidad aparente entre nuestras unidades en estudio corrobora lo mencionado por el autor, ya que se encontró mayor concentración de materia orgánica a una altitud de 1,141 m.s.n.m. y siendo esto también para la densidad aparente.

5.1.3. Contenido de carbono orgánico (t.ha⁻¹) en el suelo en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.

Los bosques maduros alcanzan 606,80 t C/ha de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, con 180,91 t C/ha en los primeros 30 cm de suelo (GAYOSO, 2006). De nuestros resultados, estadísticamente no existe diferencia significativa para el carbono orgánico en el suelo (COS) de ambas unidades exploratorias en estudio. Sin embargo, el sistema agroforestal

ubicado a una altitud de 1,141 m.s.n.m. presentó un mayor almacenamiento de COS (19.73 t/ha), a diferencia del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. quien almacenó 17.11 (t/ha) de COS. Este comportamiento puede haber ocurrido debido a ambos suelos en estudio se caracteriza por ser suelos de ex cicales, los cuales no recibieron técnicas de conservación de suelos y aunado a ello la degradación del suelo por instalaciones de cultivo a favor de la pendiente.

ALBRECHT-KANDJI (2003) menciona que el almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas. Mientras que, ALPIZAR y OSES (1988) indican que la productividad y la biomasa en pie de estos agroecosistemas varía mucho de una región a otra, lo que depende en buena parte de las condiciones climáticas (temperatura, precipitación, altitud, etc.).

De acuerdo a nuestros resultados la materia orgánica del suelo está directamente relacionada con el contenido del carbono orgánico del suelo, por ello, se muestra un comportamiento análogo entre ambos e inclusive en relación a la densidad aparente a medida que se incrementa el nivel altitudinal. Aunado a ello, MUSCHLER (2000) menciona que algunos efectos de los árboles a través del suelo se notan en el incremento del contenido de la materia orgánica o del carbono influenciado a medida que se incrementa la altitud.

ÁVILA *et al* (2001), encontró valores de almacenamiento de C en cantidad de 139 t/ha. para el sistema Café-eucalipto (4 años) y 153.9 t/ha para café a pleno sol (0 - 25 cm). Nuestros resultados (17.11 y 19.73 t/ha) difieren en gran medida a los del autor, este comportamiento puede haber ocurrido debido a que el sistema agroforestal en condiciones de diferentes niveles altitudinales en estudio se caracteriza por tener 2.5 años de instalación, así mismo como antecedente mencionado, la cobertura vegetal era de las especies de malezas como la macorilla siendo este un indicador de suelo con bajo contenido de materia orgánica y por ende ser suelos degradados.

GAYOSO (2006), menciona que un bosque verde en el suelo encontró 180.91 t.ha⁻¹ en los primeros 30 cm de profundidad, mientras que ANDRADE (1999), almacenamiento de carbono en las pasturas de 0,35 y 1,5 t.ha⁻¹ para *B. brizantha* asociada a *E. deglupta* o *A. mangium*, respectivamente. En nuestro estudio encontramos que el almacenamiento de COS en un sistema agroforestal en condiciones de diferentes niveles altitudinales, tiene la capacidad de almacenar entre 17.11 a 19.73 t.ha⁻¹. Comparando nuestros datos con los obtenidos por ANDRADE (1999), guarda relación por encontrarse bajos contenidos de COS en un sistema de pasturas, debido a que es sometido a la degradación constante, la compactación del suelo por el ganado. Por otro lado nuestra área en estudio es un suelo con características de pobre contenido de nutrientes por haber sido un suelo degradado.

ANACAFE, (1998), reporta cantidades de C orgánico en el suelo que oscilan de 47.18 a 67.60 ton/ha. de C en diferentes niveles altitudinales y

se observa el incremento de almacenamiento de C en el suelo conforme aumenta la altitud. De nuestros resultados corroboramos el estudio realizado por el autor, ya que se evidencia que a medida que aumenta el nivel altitudinal el almacenamiento de COS incrementa.

5.2. Comportamiento del contenido de materia orgánica, densidad aparente y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, por estratos de 0 – 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm, de un sistema agroforestal (café y guaba), en condiciones altitudinales de 662 y 1141 m.s.n.m.

5.2.1. Contenido de materia orgánica en el suelo a través de los estratos sucesivos

A pesar de no encontrarse estadísticamente diferencia significativa en las unidades exploratorias en estudio a través de los estratos sucesivos. En el primer, segundo y tercer estrato se observa mayor contenido de la materia orgánica en el suelo del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m. a diferencia del sistema agroforestal ubicado a una altitud de 662 m.s.n.m. así mismo se observa un comportamiento que a mayor profundidad del suelo, el contenido de materia orgánica para ambas unidades exploratorias empieza a decrecer.

GAYOSO (2006) sostiene que los principales almacenes de carbono en los ecosistemas son el suelo, la vegetación y el mantillo. De acuerdo a lo mencionado, el mantillo (hojarasca) se relación al grado de

descomposición de la hojarasca quien se encuentra en los primeros 5 cm del suelo, sucedido por los horizontes característico del suelo. Este factor asociado a las características físico químicas del suelo hace que el comportamiento de los nutrientes a través de los estratos de sucesivos del suelo empiece a decrecer.

5.2.2. Densidad aparente (gr/cm³) en el suelo a través de los estratos sucesivos

Estadísticamente no se encontró diferencias significativas en las unidades exploratorias en estudio a través de los estratos sucesivos con respecto a la densidad aparente (g/cm³) del suelo a pesar de presentar medias distintas, siendo mayor en el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m. para los tres estratos en estudio. Es preciso mencionar, el comportamiento de la densidad aparente a través de los estratos en ambas unidades exploratorias hasta el segundo estrato tiende a disminuir, mientras que en el tercer estrato ocurre lo contrario, este comportamiento se observa para ambas unidades en estudio. Conducta que no sucede en el contenido de la materia orgánica.

DORAN *et al.*, (1994) menciona que los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de la materia orgánica la cual está directamente relacionada. De acuerdo a nuestros resultados refutamos lo mencionado, debido a que la evaluación referente a la materia orgánica a través de los estratos en ambas unidades exploratorias tiende a disminuir a medida que se incrementa la profundidad del suelo, mientras que ocurre lo contrario con

respecto a la densidad aparente para ambas unidades en estudio. Esta variabilidad puede deberse a la composición y formación físico química del suelo.

5.2.3. Contenido de carbono orgánico (t.ha⁻¹) en el suelo a través de los estratos sucesivos

A través de los estratos sucesivos en ambas unidades en estudio, estadísticamente no existe diferencia significativa, más aun numéricamente se observa un mayor almacenamiento de COS en el sistema agroforestal ubicado a una altitud de 1,142 m.s.n.m. en los tres estratos sucesivos de ambas unidades en estudio. Así mismo se evidencia que a medida que se incrementa la profundidad del suelo, el contenido de carbono orgánico tiende a disminuir.

FASSBENDER (1993) menciona que la materia orgánica en la primera capa del suelo es alta con respecto a las capas subsiguientes, lo que indica una disminución regular de la materia orgánica a mayor profundidad, y se debe a que la acumulación de restos orgánicos y la actividad de los microorganismos que se da en los primeros decímetros del suelo. Nuestros resultados corroboran lo mencionado, ya que a medida que se profundiza en el suelo a través de los estratos sucesivos en estudio la materia orgánica tiende a disminuir y por ende tiene un efecto directo en el almacenamiento del carbono orgánico en el suelo.

VI. CONCLUSIONES

1. La altitud no influyen respecto al contenido de materia orgánica en el suelo, así mismo de acuerdo a su desplazamiento a través de los estratos sucesivos, en ambas unidades exploratorias se concluye que a medida que se profundiza en el suelo, la materia orgánica tiende a disminuir.
2. Respecto al comportamiento de la densidad aparente del suelo, se concluye que la altitud no influye en él. Así mismo, de su conducta a través de los estratos sucesivos, a medida que se profundiza el horizonte del suelo, la densidad aparente tiende a disminuir.
3. Respecto carbono orgánico en el suelo entre las unidades exploratorias en estudio, la altitud no afecta en su almacenamiento en el suelo. Así mismo, el comportamiento del COS a través de los estratos sucesivos se concluye que a medida que se profundiza en el horizonte del suelo, el almacenamiento de COS tiende a disminuir.

VII. RECOMENDACIONES

1. Continuar en el monitoreo de este trabajo de investigación, para determinar la variabilidad del COS, en aporte por décadas sucesivas, considerando este trabajo con datos del año inicial.
2. Realizar estudio del almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, con variables de evaluación concernientes a parámetros ambientales (temperatura, precipitación, intensidad de luz, etc)
3. Utilizar otras unidades exploratorias con relación a diferentes especies leguminosas a fin presentar otras opciones como cultivo de cobertura en diversos sistemas de explotación agrícola, pecuaria y forestal.
4. Realizar un análisis de suelo completo para conocer la riqueza de los elementos presentes y poder determinar convenientemente dosis de abonamiento o fertilización.

ABSTRACT

ORGANIC CARBON STORAGE IN SOIL OF A SYSTEM AGROFORESTAL (COFFEE AND guava), SECTOR IN DIFFERENT ALTITUDE BOLSON SPOON - Tingo Maria

This research was conducted in agroforestry plots of the Mantaro and Yurimaguas villages belonging to the sector Bolson Spoon, located northeast of the city of Tingo María, in the district of Rupa Rupa province of Leoncio Prado, Huanuco region. The objective was to determine the storage of organic carbon in soils of an agroforestry system (coffee and guava), at different altitudes. The methodology consisted in gathering information on the physical and chemical soil properties. Agroforestry System (SAF) located at an altitude of 1,142 meters and SAF located at an altitude of 662 meters: To study considered two exploratory units The formula suggested by MACDICKEN (1997) was used for the estimation of soil organic carbon (SOC). From the results, no significant difference (*Tukey* statistical test) was found, still one (different average) positive effect on the incorporation of organic matter, bulk density COS SAF with an altitude of 1,142 m was observed In this regard, as it increases the altitudinal level, increases the content of organic matter (2 to 2.21%), bulk density (1.48 to 1.49 g / cm³), organic carbon in the soil (17.11 to 19.73 t / ha) . Also regarding the behavior of the variables in evaluation through the strata, it was determined that as it delves into the horizon soil organic matter, bulk density and soil organic carbon tend to decrease, this behavior is repeated exploratory both units. The study conducted concluded that the

altitude does not influence the organic matter content, bulk density and organic carbon storage in soil.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, A. KANDJI. ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry system. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 99(1-3): 15-27.
- ANACAFE.1998. Cuantificación Estimada del Dióxido de Carbono Fijado por el Café en Guatemala. 9º Congreso de caficultura nacional. Guatemala.
- ANDRADE, H. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc: Turrialba, CR, CATIE. 70 p.
- ANDERSON Y INGRAM, 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Universidad de Michigan. EEUU. Michigan. Edit. Limusa S.A. 245 p.
- ALPIZAR, L; OSES, H. 1988. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba (IICA). 35(3):233-242.
- ALVARADO, J., COOPER, A., CHARLES, F. 1999. Effects of prescribed burning on the ecosystem. USDA Forest Service, Southeastern Forest

Experiment Station. Prescribed Burning Symposium proceedings. 160 p.

ÁVILA, G. 2001. Almacenamiento, Fijación de Carbono y Valoración de Servicios Ambientales en Sistemas Agroforestales en Costa Rica. Avance de Investigación. Agroforesterías en las Américas Vo. 8, No. 30 2001. CATIE, Costa Rica.

BARRADAS y FANJUL, 1986. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Edit. Monataner y Simón S.A. Barcelona, España. 760 p.

BEER, J. 1988. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. Agroforestry Systems. 75 p.

BROWN, 1997. Agroecología y desarrollo: aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agroecosistemas mediterráneos. Universidad de Extremadura. Cáceres–Madrid, España. Edit. Mundi-Prensa. 566 p.

CHARLEY y RICHARDS, 1983. Micrihabitat variation in an African savanna: effect of Woody cover and herbivores in Kenya. J.Trop. Ecol. 108 p.

CIELSA, WM. 1996. Cambio Climático, Bosques y ordenación forestal, Una visión en conjunto. Roma, IT, FAO. 147 p.

DORAN, J., COLEMAN, D., BEZDICEK, D., STEWART, B., 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, United States of America. Soil Science Society of America, Inc. 244p.

- FAO (1999). Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia [En línea] (<http://www.fao.org/docrep/011/i0350si0350s00.htm>, documentos, 02 May. 2014)
- FASSBENDER, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, CR, CATIE. 491 p.
- FASSBENDER, P., BARUREMA, E., STEINER, K., 1985. Soil suitability classification by farmers in southern Rwanda. *Geoderma* 75: 75-87. 98 p.
- FLORES, N. 2003. Restauración de bosques y manejo del agua. Foro – Planificación y gestión municipal para el desarrollo sostenible. 20 al 22 de Noviembre del 2003. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Perú.
- FOURNIER, K. 1996. Patterns of organic matter distribution in soils of the Semiarid Argentinean Pampas. 2 ed. Buenos Aires. 441 p.
- GAYOSO J. (2006). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. IN *Revista Forestal Iberoamericana* Vol 1, Nº 1. Universidad Austral de Chile.
- GOMEZ-ECHEVERRI, L. 2000. Cambio Climático y desarrollo. San José, CR. PNUD-Yale School of Forestry and Environment Studies, 465 p.

- HARMAND, J. 2000. Dynamics and soil nitrate retention in a Coffea arabica—Eucalyptus deglupta agroforestry system in Southern Costa Rica. Biogeochemistry 85(2):125-139.
- HOLDRIGE (1993), Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995)
- JANDL R. 2003. Almacenamiento de carbono en Bosques – El Papel del suelo, Revista Forestal Iberoamericana Vol. 1 N° 1. IUFRO. Centro de Investigación Forestal. Viena, Austria. [En línea] (<http://www.google.com.pe/search?q=carbono+en+el+suelo&hl=es&Start=40&sa=N>; 05 junio, 2010).
- JONES, C. A. 1983. Effect of Soil Texture on Critical Bulk Density for Root Growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 47 p.
- MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry Projects Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
- MARTINEZ, E., MOGOLLÓN, J. P., RODRÍGUEZ, N. 2008. Orgánico y propiedades del suelo. Scielo 8(1): 68-96. [En línea]: (<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>, 01 julio , 2010).
- MARQUEZ, N. 1997. Restauración de bosques y manejo del agua. Foro – Planificación y gestión municipal para el desarrollo sostenible. 20 al 22 de Noviembre del 2003. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Perú.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2000. Mapa de deforestación de la amazonia peruana. Lima. Peru. [En línea]: Minam, (<http://www.minam.gob.pe/opds/mapadedeforestacióndeamazonia-peruana/caracteristicas.pdf>. documentos, 19 Jul. 2014).

MUSCHLER, R. 2000. Calidad de Coffea arabica bajo sombra de Erythrina poeppigiana a diferentes elevaciones en Costa Rica. Agroforestería en las Américas 7(26): 40-42.

PINEDA, L., ORTIZ, C. Y SÁNCHEZ, V. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. Madera y Bosques 11(2):3-14. Veracruz, México.

POWELL, M; DELANEY, M. 1998. Carbon sequestration and sustainable coffee in Guatemala. Final report. Arlington, VA, US, Winrock International, 14 p.

PROYECTO ESPECIAL ALTO HUALLAGA (PEAH). 2012. Estudio de suelos del distrito Rupa Rupa – proyecto de reforestación de las 1600 has. Proyecto Especial alto Huallaga. Informe final. Tingo María, Perú. 125 p.

RAO, H., MONTERO, G., CISNEROS, O., CAÑELLAS, I. 2000. Manual de silvicultura para plantaciones de especies productoras de madera de calidad. INIA. Mundi-Prensa, Madrid, España. 284 p.

- RÜGNTZ et al. (2009). Economic impacts of carbono sequestration in reforestation: Example from boreal and moist tropical conditions. Research article. *Silva fennica* 30 (2 – 3): 269 – 278.
- SEGURA, M; KANNINEN, M. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In Orozco, L; Brumer, C. eds. *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. CATIE. p. 202-212. (Serie Técnica, Manual Técnico N° 50).
- SENAYAKE. R. GAMBOA L. 2003. Fortaleciendo de Relaciones Comunitarias: Intercambio Internacional para el Manejo de los Recursos Naturales. Taller de Desarrollo en la Economía Local desde un enfoque de Forestaría Análoga: Sri Lanka y Ecuador. Santa María Huatulco, México, 9 -15 de Noviembre 2003. 41 p.
- SINGH y GUPTA, 1977. Condiciones ambientales en el almacenamiento de carbono orgánico. Jujuy, Argentina. 3 p.
- VENEGAS S. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada. Universidad Centroamérica, Facultad de ciencia, Tecnología y ambiente. Managua – Nicaragua. 37 p.
- YOUNG, A. 1999. Agroforestry for soil conservation. CABI-ICRAF, Nairobi, Kenya. 65 p.

IX. ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 6. Muestreo de suelo de la parcela del caserío Yurimaguas



Figura 7. Muestreo de suelo de la parcela del caserío Mantaro



Figura 8. Muestreo de suelo de la parcela del caserío Yurimaguas



Figura 9. Muestreo de suelo de la parcela del caserío Mantaro



Figura 10. Sr. Maximiliano, Q. E. posesionario de parcela- caserío Yurimaguas



Figura 11. Teodora P. A. posesionaria de parcela- caserío Mantaro