

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA MENCIÓN GESTION
AMBIENTAL



INFLUENCIA DE LA PENDIENTE EN EL ALMACENAMIENTO DE
CARBONO EN EL SUELO EN BOSQUE PRIMARIO DE CERRO ESCALERA,
PROVINCIA Y REGION SAN MARTÍN

Tesis

Para optar el Grado de

Maestro en Ciencias en Agroecología, Mención:

Gestión Ambiental

WILDER MACEDO CORDOVA

Tingo María – Perú

2019



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA**

I. DATOS GENERALES DE POSGRADO

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
Escuela de posgrado	:	Recursos Naturales Renovables
Maestría	:	Ciencias en agroecología
Mención	:	Gestión ambiental
Título de tesis	:	Influencia de la pendiente en el almacenamiento de carbono en el suelo en bosque primario de cerro escalera, Provincia y Región San Martín
Autor	:	Ing. Wilder Macedo Córdova
Asesor de tesis	:	Dr. Raúl Natividad Ferrer
Programa de investigación	:	Gestión de bosques y plantaciones forestales
Eje temático de investigación	:	Evaluar y valorar los procesos ecológicos
Lugar de ejecución	:	Tarapoto – San Martín
Duración	:	Fecha de inicio : 01/12/2017 Fecha de término : 31/05/2018
Financiamiento	:	Monto: S/ 6,539.00 nuevos soles FEDU : No Propio : Si Otros : No

ACTA DE SUSTENTACION



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Nro. 007-2019-EPG-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 4 P.M. del día Marzo 16 de abril del 2019, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"Influencia de la pendiente en el almacenamiento de carbono en el suelo
en bosques primarios de Cerro Escalera, provincia y Región San Martín."

A cargo del candidato al Grado de Maestro Química en Agroecología, mención Certificación Ambiental nombre Wilder Moredo Córdova

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando APROBADO con el calificativo de MUY BUENO.

Acto seguido, a horas 5:34 P.M. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Presidente del Jurado

Miembro del Jurado

Miembro del Jurado

Asesor

DEDICATORIA

A mí adorada Madre que en paz descansa, que desde el cielo me iluminó la mente para llevar siempre el espíritu de superación y así culminar mis anhelados estudios.

A mi Padre, que, con sus consejos y enseñanzas, hizo de mi un hombre consecuente en los estudios para ser lo que soy.

A todos mis hermanos, quienes siempre estuvieron apoyándome moralmente para culminar los estudios superiores.

A mis hijos Xioxana Giomira, Wilder, Abrahán, Wilma y Donato, por acompañarme y darme la fortaleza para seguir este camino de superación y poder ser una motivación para ellos en sus vidas.

A Olga. por estar siempre a mi lado como compañera, amiga y esposa; apoyándome en los momentos más difíciles de mi vida y mi formación profesional.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Escuela de Posgrado, por acogerme en sus aulas y brindar nuevos conocimientos científicos.

Al Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP), con la Gerencia del Ing°. MSc. Luis Arévalo López, por su asesoramiento científico y darme las facilidades para realizar este trabajo de investigación.

Al Dr. Raúl Edgardo Natividad Ferrer, por asesoramiento científico en la conducción del trabajo de investigación y apoyo incondicional en el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

A los miembros integrantes del jurado, por sus orientaciones y valiosos consejos.

ÍNDICE TEMÁTICO

	Pág.
I. INTROUCCION.....	14
II. REVISION DE LITERATURA.....	16
2.1. Conceptos generales.....	16
Carbono fijado, almacenamiento de carbono, sumidero.....	16
Reservorio o depósito de carbono.....	16
2.2. El dióxido de carbono.....	16
2.3. Efecto Invernadero.....	17
2.4. Causas del cambio climático	17
2.5. Efectos del cambio climático o calentamiento global	19
2.6. Dióxido de carbono (CO ₂) y su rol en el efecto de invernadero	20
2.7. Gases de efecto invernadero (GEI).....	20
2.8. Cambio climático	21
2.9. Medidas de mitigación.....	21
2.10. Diferente escenarios de captura de carbono.....	22
2.11. El Carbono en ecosistemas forestales tropicales.....	23
2.12. Función de los bosques en el ciclo global del carbono.....	23
2.13. El carbono en los sistemas agroforestales.....	24
2.14. Papel de los suelos en el ciclo del carbono.....	25
2.15. Cuantificación del carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra (SUT) en la Amazonía Peruana.....	26
2.16. Proyectos forestales en el MDL.....	29
2.17. Área de conservación regional cordillera escalera (ACR-CE).....	30

2.18. Caracterización ambiental y social del ACR-CE.....	30
2.19. Zona de protección estricta (PE).....	31
III. MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1. Lugar de ejecución.....	33
Características de la zona de estudio	33
Selección del sitio.....	33
3.2. Metodología.....	34
3.2.1. Determinación del efecto pendiente del terreno sobre el almacenamiento del carbono en el suelo a diferentes profundidades.....	34
3.2.2. Relación del carbono con la Densidad Aparente (DA).....	35
Análisis de datos.....	36
IV. RESULTADOS.....	37
4.1. Determinación del efecto pendiente del terreno sobre el almacenamiento de carbono en el suelo a diferentes profundidades.....	37
4.2. Determinación de la Densidad Aparente.....	42
V. DISCUSIÓN.....	43
5.1. De la determinación del efecto de la pendiente del terreno sobre el almacenamiento de carbono en el suelo a diferentes profundidades.....	43
5.2. De la relación con la densidad Aparente.....	47

VI. CONCLUSIONES.....	48
VII. RECOMENDACIONES.....	49
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	50
ANEXOS.....	61

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1 Reservas de carbono (t C/ha) en la biomasa de la parte aérea y del suelo en diferentes SUT en Yurimaguas, Perú.....	27
Cuadro 2. Reservas de carbono (t C/ha) en la biomasa de la parte aérea y del suelo en diferentes SUT en Pucallpa, Perú.....	28
Cuadro 3. Cuantificación de carbono secuestrado en sistemas agroforestales y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú.....	29
Cuadro 4. Altitud, precipitación y temperatura de algunas localidades vecinas al ACR–CE.....	31
Cuadro 5 Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo capa 0 – 10 cm (t C ha ⁻¹).....	37
Cuadro 6. Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo capa superficial 10 cm – 30 cm (t C ha ⁻¹).....	38
Cuadro 7. Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo capa 30 cm – 60 cm (t C ha ⁻¹).....	38
Cuadro 8. Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo capa 60 cm – 100 cm (t C ha ⁻¹).....	39
Cuadro 9. Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono total almacenado en 100 cm de profundidad del suelo (t C ha ⁻¹)...	39

Cuadro 10.	Comparación de la cantidad de carbono almacenado en el suelo por tratamientos (t C ha ⁻¹).....	40
Cuadro 11.	Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo por repetición (t C ha ⁻¹).....	41
Cuadro 12.	Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo entre profundidades (t C ha ⁻¹).....	41
Cuadro 13.	Densidad aparente por profundidades.....	42
Cuadro 14.	Análisis Carbono capa 0 – 10 cm del suelo.....	62
Cuadro 15.	Análisis Carbono capa 10 – 30 cm del suelo.....	62
Cuadro 16.	Análisis Carbono capa 30 – 60 cm del suelo.....	63
Cuadro 17.	Análisis Carbono capa 60 – 100 cm del suelo.....	64
Cuadro 18.	Análisis Carbono total en 100 cm del suelo.....	65
Cuadro 19.	Análisis Carbono por tratamiento y repeticiones.....	66
Cuadro 20.	Densidad Aparente por profundidades.....	66
Cuadro 21.	pH del suelo por tratamientos.....	67
Cuadro 22.	pH del suelo por repetición.....	67

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Recibo de análisis de suelo.....	69
Figura 2. Bosque primario en estudio.....	70
Figura 3. Otra zona del bosque en estudio.....	70
Figura 4. Determinando las pendientes con la ayuda de un eclímetro...	71
Figura 5. Determinación de la pendiente en otra zona del terreno.....	71
Figura 6. Determinación de coordenados de la zona en estudio.....	72
Figura 7. Delimitación de área en estudio.....	72
Figura 8. Escalando pendiente para determinar punto de muestreo.....	73
Figura 9. Determinación de sitios de muerto.....	73
Figura 10. Determinación de otro sitio de muestreo.....	74
Figura 11. Determinación de punto de muestreo.....	74
Figura 12. Medición de calicata para iniciar muestreo.....	75
Figura 13. Calicata listo para sacar muestras.....	75
Figura 14. Sacando muestras de suelo para DA.....	76
Figura 15. Muestra de DA.....	76
Figura 16. Determinado el peso húmedo de la muestra en campo.....	77
Figura 17. Muestro de suelo en la balanza digital.....	77
Figura 18. Muestreo de suelo para determinar carbono.....	78
Figura 19. Transporte de muestras al laboratorio.....	78

RESUMEN

El estudio se realizó en el Área de Conservación Regional Cordillera Escalera, ubicado en el departamento de San Martín, comprende las partes más altas ubicados entre las cotas altitudinales de 1400 a 2000 m.s.n.m. El área de estudio se delimitó teniendo en cuenta el componente forestal (bosque primario), pendiente del terreno. Se utilizó el diseño bloques completamente al azar (DBCA), con 4 tratamientos (0%, 15 %, 30 % y 50 % de pendiente) y 5 repeticiones, para medir el carbono almacenado en el suelo, las muestras fueron tomadas a 0 -10 cm; 10 cm – 30 cm; 30 cm-60 cm y 60 cm -100 cm de profundidad. Se encontró que la cantidad de carbono almacenado en el suelo fue variable numéricamente entre las profundidades evaluadas en los diferentes tratamientos, no encontrándose diferencias estadísticas significativas. Las mayores reservas de carbono se encontraron en el T2 con 22.526 t C ha⁻¹ para la capa de 0 – 10 cm; T4 con 24.652 t C ha⁻¹ capa 10 cm – 30 cm; T3 con 23.884 t C ha⁻¹ capa 30 cm – 60 cm y T3 con 32.040 t C ha⁻¹ capa 60 cm – 100 cm. Respecto al carbono almacenado en 1 m de profundidad, el T3 92.206 t C ha⁻¹ almacenó la mayor cantidad de carbono. Las diferencias encontradas del carbono almacenado en las diferentes pendientes del terreno, podrían deberse a las diferencias en la velocidad de descomposición que tiene la materia orgánica de las especies dominantes en cada condición, indicando que las reservas de carbono cambian en función de la topografía, y con ello la disponibilidad de recursos en el sistema.

Palabras clave: Bosque primario, carbono, captura de carbono, pendiente, servicios ambientales.

ABSTRACT

The study took place in the regional conservation area of the Cordillera Escalera, located in the San Martín department, Peru, comprised of the highest parts, located, in dimensions of altitude, between 1400 and 2000 masl. The area in study was marked off, taking into account the forest component (primary forest), the incline of the land. The completely randomized block design (CRBD; DBCA in Spanish) was used, with four treatments (0%, 15 %, 30 % and 50 % incline) and five repetitions, to measure the stored carbon in the soil, the samples were taken at depths of 0 -10 cm; 10 cm – 30 cm; 30 cm-60 cm and 60 cm -100 cm. It was found that the quantity of stored carbon in the soil varied numerically between the different treatments at the evaluated depths, finding no significant statistical differences. The greatest reserves of carbon were found in T2 with 22.526 t C ac⁻¹ for the 0 – 10 cm layer; T4 with 24.652 t C ac⁻¹, 10 cm – 30 cm layer; T3 with 23.884 t C ac⁻¹, 30 cm – 60 cm layer and T3 with 32.040 t C ac⁻¹, 60 cm – 100 cm layer. With respect to the stored carbon at a depth of 1 m, T3, 92.206 t C ac⁻¹, stored the greatest quantity of carbon. The differences in the stored carbon that were found in the different inclines of the land could be due to the differences in the rate of decomposition of the organic matter for the dominant species in each condition, indicating that the carbon reserves change as a function of the topography and with it, the availability of resources in the system.

Keywords: Primary forest, carbon, carbon capture, incline, environmental services.

I. INTRODUCCION

La inquietud mundial respecto al calentamiento global, debido al efecto de invernadero, afirmado en 1990 por la Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC), es producto de acciones humanas, incrementándose significativamente en el presente siglo. Estas acciones afectan los desarrollos ecológicos, económicos y sociales que dirigen el planeta (IPCC, 2001). Estos gases (metano, óxido nitroso y el anhídrido carbónico), incrementan su porcentaje en la atmósfera; mientras el carbono atmosférico se incrementa por: tipo de uso de la tierra y quema de fósiles, este uso expelle $1,6 \pm 1,0$ Gt ($1 \text{ Gt} = 1 \times 10^9 \text{ t}$) de C por año y la quema de fósiles expelle $5,5 \pm 0,5$ Gt de C por año (Lal y Kimble et al., 1998). La situación ha empeorado estos últimos 100 años, obligando a la colectividad científica a priorizar investigaciones en estos temas y también es foco de discusión entre políticos. El suelo contiene la reserva mayor de C de la tierra, su contenido es tres veces más que en los vegetales; como lo menciona Oades (1988), dos veces a lo existente en la atmósfera y un tercio en combustibles fósiles (Gavenda, 2000). En sucesiones secundarias, el C se almacena donde la cobertura forestal fue eliminada, sin realización de actividades agrícolas y en pastoreo, teniendo en cuenta la intensidad y tiempo del uso anticipado (Silver et al., 2000).

En esta investigación, se cuantificó el carbono acumulado en el suelo de un bosque primario situado en una pendiente muy pronunciada, debido a que existe pocos estudios referente a este tema y porque el carbono está relacionado directamente con el ciclaje de nutrientes y la producción del

suelo, siendo la vegetación el medio para realizar el flujo de carbono entre la atmósfera y el suelo; con esto se podría valorar más estos bosques e incentivar su conservación y que sirvan como base para la realización de inventarios de carbono en el Área de Conservación Regional Cordillera Escalera (ACR-CE) y mantenerlos como sumideros que ayuden a aplacar el cambio climático que cada año es severo en todo el planeta, también acceder a mercados internacionales en ventas de bonos de carbono generando ingresos para el hombre de campo; debido a esto se planteó los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Determinar si el almacenamiento de carbono en el suelo de un bosque primario del ACR-CE, está en función a la pendiente del terreno.

1.2. Objetivo específico

Cuantificar el carbono almacenado en el suelo en cuatro pendientes (0; 15; 30 y 50 %) a diferentes profundidades (0 cm–10 cm; 10 cm–30 cm; 30 cm–60 cm y de 60 cm–100 cm) y asimismo determinar la relación con la densidad aparente del suelo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Conceptos generales

Carbono fijado.

Es la cantidad de carbono por área vegetación cubierta con capacidad de captar en un tiempo determinado (Segura, 1999).

Almacenamiento de carbono

Capacidad que tienen los bosques de retener una determinada cantidad de carbono por hectárea, que posteriormente es emitido poco a poco a la atmósfera por un espacio de tiempo. Se mide en mega gramo de carbono (Mg C), (Pérez et al., 2005).

Sumidero

Mecanismo que hace disipar del aire un gas de efecto invernadero. Un reservorio puede ser considerado un sumidero de carbono atmosférico, cuando la cantidad de carbono que entra sea mayor la que sale de él (Albiño y Vargas, 2014).

Reservorios o depósitos de carbono

Sistema que tiene la capacidad de almacenar o liberar carbono; se considera depósitos de carbono la biomasa forestal, productos de la madera, biomasa vegetal, suelos y la atmósfera (Albiño y Vargas, 2014).

2.2. El dióxido de carbono

Se produce de manera natural, por quema de combustibles fósiles y biomasa

vegetal, cambios de uso de tierra y actividades industriales; afectando la temperatura del planeta; representa un 0.036 % en la atmósfera (Pérez et al., 2005). Al incrementarse el CO₂ se esparce por todo el planeta, repercutiendo en el efecto del calentamiento global (Coronel, 2016).

2.3. Efecto invernadero

Este efecto permite que en la tierra mantenga la temperatura ya que, al mantener parte de la energía solar, se conserva suficientemente caliente para facilitar la vida en el planeta (Centro Hadley, 2002).

Batet y Rovira (2002), Sostienen que la radiación que ingresa a la superficie de la tierra, parte de ella se queda y otra va directo a la atmósfera en forma de calor. Este calor es tomado por el CO₂ y el vapor de agua atmosférico, ocasionando el efecto invernadero.

2.4. Causas del cambio climático

En los 70, las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Sociedad Mundial de Meteorología (SMM), advierten una radical variación climática como resultado de los GEI en el planeta, producto de prácticas industriales y la excesiva tala de árboles (IPCC, 2000). Asimismo, Batet y Rovira (2002), dicen el incremento de la temperatura en el planeta en los últimos 50 años es producto de las prácticas antropogénicas.

La población mundial crece alarmantemente, llegando a 6000

millones de habitantes, esta población vive en extrema pobreza, mientras que los grandes grupos de poder van en incremento y por ende mayor necesidad de recursos naturales, energía, alimentos y bienes; ocasionando en su proceso la producción grandes cantidades de gases y polución que varían el contenido de la atmosfera en la capacidad para regular la temperatura (Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional [ACDI], 2005).

Según Loguercio (2005), sostiene otra causa del calentamiento global, es la combustión del petróleo, carbón, gas, entre otros; desde la revolución industrial (1850), aumentando significativamente la concentración de CO₂ en el aire; estos combustibles representan 80% de la energía consumida en el planeta. Además, Depledge (2002), dice que temperatura de la tierra se incrementó un 0,6 °C en 1861 (siglo XX), siendo el 1990 y 1998 donde se registró las mayores temperaturas; como consecuencia del incremento de CO₂ y de otros gases en el aire.

El IPCC (2000), sostiene, en la revolución industrial, los GEI se incrementaron: 31 % CO₂, 15 % CH₄, y 17 % N₂O; como consecuencia de la combustión de fósiles y en grado menor otras prácticas antropogénicas. Para Marlan et al. (2003), el carbono total emitido en el siglo XX, fue producto de la quema de 261 233 millones de toneladas, representando el 82 % del total de las emisiones; siendo USA uno de los principales y Perú solo el 0,4 % del total mundial (Cárdenas, 2008).

Asimismo Loguercio (2005), manifiesta que los países del tercer mundo en menor grado son responsables de los GEI, como producto de la quema y variación en el uso de la tierra, uso de energía fósil, debido al incremento demográfico y económico. Consecuentemente Vidal (2007), manifiesta que el 25% de los GEI, lo genera el sector energético, 14 % transporte y la industria, mientras que la aviación 3%.

Moutinho et al. (2005), también menciona que la tala excesiva del medio tropical, causa de 20 a 25 % de las emisiones de CO₂; donde 2 millones de hectáreas taladas producen emisiones netas de 200 millones de t.C, (Houghton et al., 2000).

2.5. Efectos del cambio climático o calentamiento global

Loguercio (2005), menciona que el incremento de la temperatura tiene efecto en las sucesiones físicos-meteorológicos y del medio ambiente; ocasionando deficiencia de agua bebible y productos alimenticios, alto índice de mortalidad por inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor; influyendo también en los aspectos económicos y sociales. Siendo los países del tercer mundo los que sufrirán las consecuencias al no estar preparados para estos cambios rápidos (Global Climate Change Information Programme [GCCIP], 1997) y (Earth Day Network [EDN], 2006).

En el último siglo, la temperatura redujo el hielo polar, elevando el nivel de los océanos en 10 y 25 cm. volviéndose salinas las zonas costeras y

delta de ríos de uso agrícola. En otros lugares cuando la temperatura sube más que lo habitual, ocasiona pérdida del Permafrost, impactando directamente el componente biótico (Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional [ACDI], 2005). Asimismo, Leahy (2005), manifiesta que los últimos 50 años, en la Antártida la temperatura se incrementó cinco veces más que el promedio global, siendo en la actualidad 2,5 °C como promedio mayor que la registrada en 1940.

2.6. Dióxido de carbono (CO₂) y su rol en el efecto de invernadero

Los GEI (CO₂, CH₄, N₂O) provenientes de las acciones antrópicas, tienen su efecto en el calentamiento del planeta; de los cuales el CO₂ representa el 0.04 % (400 ppm) de la atmósfera (Millero, 1995); siendo su función principal, regularizar la temperatura terrestre por emisión de su radiactividad y el efecto invernadero (Petty, 2004).

Las plantas y animales contribuyen también en este proceso debido a la acción de respiración disminuyendo el oxígeno y aumentando el CO₂ en el aire (Hall et al., 1994).

La tala indiscriminada de plantas, está directamente relacionado al incremento de CO₂ en el aire, a través de la quema, desintegración de biomasa y de materia orgánica del suelo (Pérez et al., 2005).

2.7. Gases de efecto invernadero (GEI)

Estos son producidos de manera natural, antropogénicamente y vertidos a la

atmósfera reteniendo la radiación infrarroja; entre ellos tenemos: CO₂ que penetra en la atmósfera por quema de combustibles fósiles: carbón, gas natural y petróleo; CH₄ se vierte mediante la producción y el transporte de carbón, gas natural y petróleo, prácticas ganaderas y otras prácticas agrícolas; N₂O producido por prácticas agrícolas e industriales, quema de combustibles fósiles, residuos sólidos y mediante el tratamiento de aguas residuales; HFC; PFC y SF₆.

2.8. Cambio climático

Heller y Shukla (2003), manifiesta que el cambio climático; es la alteración del clima en el planeta, por factores comunes y antrópicas.

IPCC (2001), manifiesta que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) utiliza el término de cambio climático, “como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”; esta variación, es causada por el incremento de los GEI, debido a acciones antrópicas.

2.9. Medidas de mitigación

Según Loguercio (2005), para hacer frente al cambio climático se debe incorporar tecnologías menos contaminantes, (solar, eólica, etc); y asumir compromisos de los países industriales debido a su implicación a través del tiempo. Asimismo, Batet y Rovira (2002) indican que el H₂ es el combustible del futuro, debido a su

inocuidad y su utilización generaría vapor de agua; otra opción serían los biocarburantes.

El IPCC (2001), dice que las naciones del tercer mundo, deben cambiar su desarrollo económico respecto a los desarrollados, que lo hacen poniendo en riesgo las reservas naturales y el clima; estos deben hacerlo con el uso eficiente de energía menos contaminante, denomina desarrollo sostenible. Asimismo, Oyhantcabal (2005) afirma que la mitigación del cambio climático, es tomar medidas de reducción de emisiones, usando energía renovable y la absorción de CO₂ reemplazando el uso del suelo por prácticas forestales.

Además, Castro (2005) sostiene que el aplacamiento del calentamiento del planeta llegaría a representar el 2 % del PBI global. Esto nos obliga a buscar opciones para reducir los costos; usando los bosques para la captura de carbono, reduciendo la deforestación, preservación de reservas naturales e incrementando la plantación de árboles.

2.10. Diferentes escenarios de captura de carbono

Bolin et al. (1996), afirman que las plantas mediante la fotosíntesis y los mares acumulan carbono en cuantiosos volúmenes. También el (Fondo Nacional del Ambiente [FONAM], 2006), dice todos los ecosistemas tienen una gran capacidad para acumular el carbono. Asimismo, Salgado (2004) menciona que la CMNUCC, en la cumbre de Río de Janeiro en junio de 1992, sostienen que las actividades forestales se deben tener en cuenta para aplacar o reducir los GEI.

Márquez (2000), sostiene que entre otras prácticas que conllevan a la captura de carbono tenemos: preservación, rehabilitación de bosques y la agroforestería.

2.11. El carbono en ecosistemas forestales tropicales

Arévalo et al. (2003), sostiene que el carbono secuestrado es el producto de la acumulación continua por cambio de uso del suelo (zonas degradadas, reforestación y agroforestería). Además, el carbono acumulado está relacionado por: capacidad y heterogeneidad del bosque, tipo de suelo y clima. Loguercio y Delaney (2005) también manifiesta que en el suelo, tronco, ramas, corteza, hojas y raíces de las plantas se acumulan el carbono en proporciones grandes.

2.12. Función de los bosques en el ciclo global del carbono

Los bosques producen oxígeno y usan agua, luz y CO₂, calificándoles como “sumideros de carbono”, al dejar de crecer se les llama fuentes de carbono, por almacenar grandes volúmenes, cuando son quemados expelen gas carbónico convirtiéndose en reservorio de carbono y cuando la vegetación vieja es descompuesta se equilibra con la absorción de los árboles jóvenes que crecen en su reemplazo (Boukhari, 2000).

El IPCC (2001b), manifiesta que los próximos cien años los bosques serán un reservorio de carbono, reduciendo de 20 a 50 % de la emisión neta de CO₂ en el ambiente. Por otro lado Loguercio (2005), manifiesta lo que permitirá almacenar grandes volúmenes de carbono en la biomasa y el suelo, serán la

actividad silvicultural, generación bosques por intermedio de forestaciones y reforestaciones.

Catriona (1998), indica que el carbono oscila de 60 a 230 t.C/ha en bosques primarios y de 25 a 190 t.C/ha en bosques secundarios y se encuentran en sumideros superficiales de los trópicos. Asimismo, el IPPC (2001) dice que la vegetación natural y forestales almacenan de 4,79 a 1,65 t.C/ha/año. Woomeer et al. (1998) indican que en el ecosistema de la Amazonía se concentra 305 t.C/ha y el 28 % está en el suelo.

2.13. EL Carbono en los sistemas agroforestales

Sánchez et al. (1999) menciona, que la absorción de carbono es alta, debido que es efectuada por árboles y cultivos llegando de 2 a 9 t. C/ha. Schroeder (1994), también menciona que áreas tropicales almacenan de 21 a 50 t. C/ha en zonas húmedas y subhúmedas siendo incrementado por las raíces en un 10 %. Márquez (2005), dice que el carbono en plantaciones de café con sombra está en promedio de 64,35 t.C/ha. También Kanninen (2000), sostiene que el carbono almacenado en sistemas agroforestales es de 8,9 t.C/ha. en estado inicial y de 24,1 t.C/ha. a los 9 años.

Los cambios de suelos pobres en plantaciones agroforestales triplicarían el carbono de 23 a 70 t.C/ha. en un tiempo de 25 años, los cultivos de cobertura de 1 a 6 t.C/ha dependiendo de la cantidad y tipo (Lal, 1999) y en condiciones de laboreo tradicional el carbono se perdería de 40 a 50 % en pocos

años, con liberación alta los primeros cinco años.

2.14. Papel de los suelos en el ciclo del carbono

En el suelo el carbono se acumula considerablemente debido a diversas prácticas de manejo, incrementándose este en el suelo llegando tener una causa favorable en la retención del carbono. Catriona (1998), menciona que, el carbono en los trópicos, oscila de 60 y 115 t.C/ha, mientras que el IPCC (2000), indica que el carbono acumulado en el suelo es mayor que lo encontrado en la biomasa forestal. Se ha encontrado la mayor cantidad de carbono en zonas frías boreales y templadas, en menor cantidad en las tropicales. IPCC y Márquez (2000); FONAM, (2005), el principal factor de estas diferencias es por causa de la temperatura, influyendo en producción y desintegración de la materia orgánica.

El 29 % del bosque terrestre contiene el 60 % del carbono y el 36 % el suelo a un metro de profundidad. Dupouey et al. (1999), dice que en Francia el carbono es de 137 t.C/ha en los bosques en el suelo representa 71 t.C/ha, plantas superficiales 6%, raíces 6 %; los resultados son similares encontrados por IPCC (2000), en bosques de Tennessee; mientras en bosques tropicales cerca de Manaus, el total es de 447 t.C/ha. y el carbono orgánico en el suelo fue 162 t.C/ha. siendo un 36 % del total.

El (Food and Agriculture Organization [FAO], 2004) manifiesta que el carbono encontrado en el suelo en bosques naturales está en equilibrio, al darse la deforestación o reforestación este se ve afectado, debido que

actualmente se deforesta de 15 y 17 millones de ha, con mayor incidencia en los trópicos perdiéndose el carbono orgánico, dando lugar a altas emisiones de CO₂; mientras que la reforestación, en suelos pobres, la acumulación de carbono es lenta en biomasa y suelo.

Mientras que, en praderas, el almacenado de carbono es 70 t.C/ha, igual que los suelos forestales; haciendo que estas áreas de pastoreo, tengan los medios de secuestrar carbono (Trumbmore *et al.*, 1995).

2.15. Cálculo del carbono en diversos sistemas de uso de la tierra (SUT) en la amazonía peruana

Alegre et al. (2002), sostiene que los diversos SUT estudiados en Yurimaguas y Pucallpa; respecto a lo forestal y barbechos, en los dos sitios se obtuvieron altos niveles de carbono total en biomasa aérea y el suelo (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1 : Reservas de Carbono (t.C/ha) en la biomasa de la parte aérea y del suelo en diversos SUT en Yurimaguas, Perú

SUT	Árbol (a)	Soto- Bosque	Hojarasca	Raíz (b)	Suelo (c)	Total (t.C/ha)
FORESTA						
Bosque ligeramente desmontado de 40 años.	290,00	3,63	3,93	23,95	38,76	360,30
BARBECHOS						
Bosque secundario (15 años)	184,40	0,82	4,03	3,32	46,54	239,10
Bosque secundario (5 años)	42,10	1,89	2,96	1,66	47,27	95,80
Bosque secundario (3 años)	2,40	1,25	3,44	3,66	43,80	54,60
CULTIVOS						
Area recientemente Quemada.	46,00	0,00	0,00	48,70	50,36	133,70
Cultivo anual (arroz)	16,80	1,91	2,96	29,30	43,60	89,60
PASTOS						
Pastura degradada de 30 años (quemado anualmente)	0,00	4,83	5,73	1,50	54,50	63,60
Pastura mejorada de <i>Brachiaría Decumbes</i> (15 años)	0,00	1,76	2,36	0,96	72,60	77,70
SISTEMAS AGROFORESTALES						
Plantación de la palmera <i>Bactris Gasipaes</i> de 16 años.	0,40	82,69	2,16	7,49	56,10	148,80
Multiestrato con plantación de <i>Bactris/Cedrelinga/Inga/Colubrina</i> .	57,30	1,25	6,09	2,63	47,03	114,30

(a) Incluye palos parados muertos y caídos.

(b) Raíces de 0 a 20 cm de profundidad.

(c) Profundidad del suelo de 0 a 40 cm.

Fuente: ALEGRE *et al.* (2002).

Cuadro 2: Reservas de Carbono (t.C/ha) en la biomasa aérea y del suelo en diversos SUT en Pucallpa, Perú

SUT	Árbol (a)	Soto-Bosque	Hojarasca	Raíz (b)	Suelo (c)	Total (t.C/ha)
FORESTA						
Bosque primario (no tocado)	160,10	0,83	0,73	2,61	76,81	241,10
Bosque primario (extracción selectiva)	120,30	0,69	1,83	3,48	47,03	173,30
BARBECHOS						
Bosque secundario (15 años)	121,00	2,21	2,85	1,04	68,33	172,30
Bosque secundario (3 años)	13,20	1,83	5,90	0,28	19,63	40,80
CULTIVOS						
Area recientemente Quemada	68,33	0,00	0,00	3,27	29,71	101,30
Cultivo anual (maíz)	4,50	1,24	2,12	0,81	22,36	31,00
Cultivo anual (yuca o mandioca)	0,70	1,75	0,98	0,50	34,16	38,10
Cultivo bi-anual (plátano)	6,20	8,08	1,99	0,84	39,16	56,20
PASTOS						
Pastura degradada.	0,00	2,42	0,68	0,68	35,74	39,50
PLANTACION						
Plantación de <i>Hevea</i> de 30 años.	66,60	0,91	6,47	0,35	78,20	152,60
Plantación de palma aceitera.	0,00	37,24	4,14	0,71	57,15	99,22

(a) Incluye palos parados muertos y caídos.

(b) Raíces de 0 a 20 cm de profundidad.

(c) Profundidad del suelo de 0 a 40 cm.

Fuente: ALEGRE *et al.* (2002)

Callo et al. (2001), manifiesta que, en los tres pisos ecológicos de la Amazonía, el bosque primario retiene mayor carbono en la biomasa arbórea; en los demás SUT el mayor aporte de carbono es edáfico (Cuadro 3).

Cuadro 3: Cuantificación de carbono secuestrado en sistemas agroforestales y testigos, en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú

SUT	ÁP (% C)	ÁCM (%C)	AH (%C)	H (%C)	E (%C)	Total (t.C/ha)
Bosque primario	42,10	35,85	0,16	0,70	21,21	465,80
Bosque secundario	37,51	7,62	0,43	1,42	53,02	181,00
Café bajo sombra	23,44	16,73	0,33	0,88	58,62	193,70
Silvopastura	25,38	1,17	0,76	0,54	72,10	119,80
Pastura	2,36	0,00	1,32	0,72	95,59	97,30
Huerto casero	39,55	3,19	0,28	0,52	56,47	195,70

AP = Árboles en pie; ACM = Árboles caídos muertos; AH = Arbustivo y Herbáceo; H = Hojarasca; E = Edáfico. Fuente: CALLO *et al.* (2002)

Lapeyre et al. (2004), determinó, que el carbono almacenado en los bosques primarios está en la biomasa área con 485 t.C/ha; en cuanto a plantaciones de 4 años (café con inga) y de 15 años (cacao con árboles forestales), almacenan 19 y 47 t.C/ha.

Márquez (2005), menciona que los SAF asociado con café de 4 años en Tarapoto almacena 39,06 t.C/ha. Además, asimismo Torres (2005), dice que los sistemas agroforestales tradicionales almacenan 76,98 t.C/ha.

2.16. Proyectos forestales en el MDL

La FAO (2005) considera, para aplacar los GEI, son de prioridad implementar los proyectos forestales tales como: preservación, captura y sustitución del carbono:

Kyoto en su artículo 3.3, dice que las actividades de forestación y reforestación después del 31 de diciembre de 1989, es la alternativa para la reducir los GEI de la atmósfera; asimismo el artículo 3.4 plantea las demás

prácticas (preservación de suelos y bosques) serán posteriormente negociadas (Salgado, 2004).

Pedroni (2005) y FONAM (2007), sostienen que los proyectos de reforestación y forestación practicados en escala menor, la captura neta de GEI es de 2181,8 t.C/ha y por año 8000 t.CO₂; estos son desarrollados por las comunidades e individuos de recursos bajos, abarcando un área de 500 a 1000 ha.

2.17. Área de conservación regional cordillera escalera (ACR-CE)

El Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP, 2005) y el Gobierno Regional de San Martín (GRSM, 2005), mencionan que su ecosistema está formado mayormente por bosques nublados, generando cinco cuencas hidrográficas tributarias de los ríos Huallaga y Marañón. Esta ÁCR-CE está ubicada entre el Bosque de Protección Alto Mayo y el Parque Nacional Cordillera Azul, convirtiéndole en un corredor de conservación de nacional, abarcando gran territorio de la ecorregión Yungas Orientales Peruanas, que viene siendo amenazada por la deforestación.

2.18. Caracterización ambiental y social del ACR-CE

El IIAP y GRSM (2005), ha realizado la caracterización del ACR-CE de la siguiente manera:

Aspectos Físicos

Clima

En la parte oriental presenta precipitaciones de 2.500 a 3.500 mm, y la occidental de 1.500 a 2.000 mm. como se muestra en el cuadro 4 en las diferentes localidades teniendo en cuenta su altitud, precipitación y temperatura.

Cuadro 4: Altitud, precipitación y temperatura de algunas localidades vecinas al ACR-CE

Estaciones	Altitud (m.s.n.m)	Precipitación (Total anual media.mm)	Temperatura (0C)
Roque	830	841	22
El porvenir	356	1.090	26
Tabalosos	580	1.176	
Tarapoto	313	1.240	26
Lamas	772	1.546	23
Shanusi	280	1.772	
Chazuta	480	1.788	
San Antonio	480	1.812	
Pongo	300	3.256	

Fuente: Estudio justificatorio para el establecimiento del ACR-CE. CEDISA, 2002

2.19. Zona de protección estricta (PE)

Son ecosistemas sin intervención que refugian especies desconocidas y/o vulnerables, estas zonas requieren de protección para mantener las características fisiográficas y edafoclimáticas originales, en donde se pueda realizar trabajos de investigación para conocer más el funcionamiento de estos ecosistemas (IIAP y GRSM, 2005).

Características

El IIAP y GRSM (2005), mencionan que estas áreas comprenden las zonas de mayor altitud (1.400 a 2.000 m.s.n.m.) cubriendo una superficie de 51.034,13 ha. debido a sus particularidades fisiográficas, son una barrera natural impidiendo que el hombre lo ocupe, manteniéndose sus ecosistemas intactos, sus altas pendientes hacen que sus suelos sean altamente sensibles a la erosión, y que sus ecosistemas sean frágiles. Además, contiene a gran parte de las nacientes de las cuencas y de los ecosistemas de bosques de neblinas. Por estas razones ha sido considerada como de protección estricta.

La Zona de Protección Estricta contiene a los siguientes objetos de conservación: bosques nubosos, agua, oso de anteojos y animales de caza. (IIAP y GRSM, 2005).

Términos de uso

- No está permitido la extracción de recursos naturales renovables o no renovables, actividad turística y cualquier tipo construcción de infraestructura.
- Se permiten la práctica de investigación científica.
- Solo se está permitido el tránsito del personal del ACR-CE, para patrullajes y monitoreo ambiental. Las conservaciones de estos ecosistemas aplacan el cambio climático, almacenando el 15 % carbono.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Ejecución

El estudio se llevó a cabo, en el ACR-CE, ubicado en la Provincia y Región San Martín, se extiende por varios distritos desde Pinto Recodo y llegando hasta Chazuta (302 115 E, 9 266 810 N y 400 150 E, 9 342 954 N), llegando a tener una superficie de 149.870 hectáreas; con 24 °C de temperatura media anual, llegando en verano 31 °C y 18 °C en épocas de lluvias; su floresta es nublado montano con abundante variabilidad biológica, da origen a cinco cuencas tributarias del río Huallaga y el Marañón.

Características de la zona de estudio.

Fue determinado de acuerdo a la zonificación establecida por el Plan Maestro 2007-2011 del ACR-CE; comprende la parte más alta (1.400 a 2.000 m.s.n.m) con una extensión de 51.034,13 hectáreas.

El área de estudio se delimitó de acuerdo al componente forestal (bosque primario), pendiente del terreno, cubriendo un área de (10 000 m²) de la zona "Cordillera Escalera".

Selección del sitio.

Se ha seleccionado un área de 10.000 m², considerando las características topográficas del terreno, en donde se ubicaron 4 tratamientos y 5 repeticiones: T1 = Pendiente 1 (0 %), T2 = Pendiente 2 (15 %), T3= Pendiente 3 (30 %) y T4=

Pendiente 4 (50 %); para la determinación de las pendientes se usó un Clinómetro.

3.2. Metodología

3.2.1. Determinación del efecto pendiente del terreno sobre el almacenamiento del carbono en el suelo a diferentes profundidades

Para determinar la pendiente del terreno, se realizó con la ayuda de un clinómetro; se buscó un lugar plano hasta encontrar donde da la visual horizontal, para eso se empleó un jalón más alto que el observador; ubicado la visión horizontal (0 %); posteriormente se retiró el jalón hacia arriba del terreno hasta ubicar en la marca las pendientes de 15 %, 30 % y 50 %.

Para la cuantificación del carbono orgánico se definieron cinco puntos de muestreo por tratamiento teniendo en cuenta la pendiente del terreno; en donde se realizaron calicatas de 1 m x 1 m x 1 m, delimitando capas de suelos a diferentes profundidades en las calicatas de 0 cm–10 cm; 10 cm–30 cm; 30 cm–60 cm y de 60 cm–100 cm; de donde se tomaron muestras de suelo de 500 g en promedio, los cuales fueron remitido al laboratorio de suelos de la UNALM-Lima (Figura 1), en donde se estimó la concentración del carbono propuesta por (Walkley y Black, 1934).

Para determinar el carbono total presente en el suelo, se determinó primero el volumen del suelo por cada capa, utilizando la metodología descrito en el Manual: Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes

sistemas de uso de la tierra en Perú (Arévalo et al., 2003) aplicando la fórmula siguiente.

$$PVs \text{ (t/ha)} = DA \times Ps \times 10000$$

Donde:

PVs = Peso del volumen del suelo (t/ha)

DA = Densidad aparente

Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo (m)

10000 = Constante

Una vez obtenido el volumen de suelo y la DA, se procedió a cuantificar el carbono acumulado en el suelo mediante la ecuación:

$$CS \text{ (t/ha)} = (PVs \times \%C)/100$$

Donde:

CS = Carbono en el suelo (t/ha)

PVs = Peso del volumen del suelo

%C = Resultados de carbono en porcentaje analizados en laboratorio

100 = Factor de conversión

3.2.2. Relación del carbono con la densidad aparente (DA)

Las muestras fueron tomadas al mismo tiempo que las de carbono, a distintas profundidades de 0 cm–10 cm; 10 cm–30 cm; 30 cm–60 cm y de 60 cm–100 cm de profundidad del suelo, con cilindros de 345 cm³ (Uhland, 1950).

Para determinar la (DA), se tomó el peso fresco en el campo y luego fueron secados en la estufa a 105°C en el laboratorio del IIAP, para tomar posteriormente el peso seco y hacer los cálculos respectivos de este índice, que está dado en gr/cm^3 , utilizando la fórmula propuesta por (Arévalo et al., 2003).

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

Donde:

DA = Densidad aparente (g/cc)

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen del cilindro (constante)

Análisis de datos

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), distribuidos en 4 tratamientos y 5 repeticiones, con $p < 0,05$ de nivel de significancia, con la finalidad de determinar las diferencias entre tratamientos (Padrón, 1996); posteriormente al ANVA, estos datos se sometieron a la prueba Tukey también con $p < 0,05$ de nivel de significancia; luego se almacenaron y analizaron los datos en el software SAS.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación del efecto pendiente del terreno sobre el almacenamiento de carbono en el suelo a diferentes profundidades

En la capa 0 – 10 cm, el tratamiento T1 acumuló 22.204 t C ha⁻¹; T2 22.526 t C ha⁻¹; T3 18.118 t C ha⁻¹ y T4 16.558 t C ha⁻¹ (cuadro 5).

Cuadro 5: Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo capa 0 – 10 cm (t C ha⁻¹).

Carbono (t C ha ⁻¹)		
Tratamiento	Carbono	Significancia
T1 = Pendiente 0%	22.204	a
T2 = Pendiente 15%	22.526	a
T3 = Pendiente 30%	18.118	a
T4 = Pendiente 50%	16.558	a

Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Promedios, con igual letra por fila, no muestran diferencia estadística.
C.V = 37.086%

En la capa 10 – 30 cm; T1 acumuló 20.298 t C ha⁻¹; T2 21.762 t C ha⁻¹; T3 18.164 t C ha⁻¹ y T4 24.652 t C ha⁻¹ (cuadro 6).

Cuadro 6: Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo capa superficial 10 cm – 30 cm (t C ha⁻¹)

Carbono (t C ha ⁻¹)		
Tratamiento	Carbono	Significancia
T1 = Pendiente 0%	20.298	a
T2 = Pendiente 15%	21.762	a
T3 = Pendiente 30%	18.164	a
T4 = Pendiente 50%	24.652	a

Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Promedios, con igual letra por fila, no muestran diferencia estadística.
C.V = 67.5616%

En la capa 30 – 60 cm; T1 acumuló 18.578 t C ha⁻¹; T2 22.136 t C ha⁻¹; T3 23.884 t C ha⁻¹ y T4 17.132 t C ha⁻¹ (cuadro 7).

Cuadro 7: Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo capa 30 cm – 60 cm (t C ha⁻¹)

Carbono (t C ha ⁻¹)		
Tratamiento	Carbono	Significancia
T1 = Pendiente 0%	18.578	a
T2 = Pendiente 15%	22.136	a
T3 = Pendiente 30%	23.884	a
T4 = Pendiente 50%	17.132	a

Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Promedios, con igual letra por fila, no muestran diferencia estadística.
C.V = 46.632%

En la capa 60 – 100 cm; T1 acumuló 11.286 t C ha⁻¹; T2 19.724 t C ha⁻¹; T3 32.040 t C ha⁻¹ y T4 19.988 t C ha⁻¹ (cuadro 8).

Cuadro 8: Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo capa 60 cm – 100 cm (t C ha⁻¹)

Carbono (t C ha ⁻¹)		
Tratamiento	Carbono	Significancia
T1 = Pendiente 0%	11.286	a
T2 = Pendiente 15%	19.724	a
T3 = Pendiente 30%	32.040	a
T4 = Pendiente 50%	19.988	a

Prueba de Tukey (p<0.05). Promedios, con igual letra por fila, no muestran diferencia estadística.
C.V = 77.5176%

Respecto al carbono total en 100 cm; T1 acumuló 72.364 t C ha⁻¹; T2 86.152 t C ha⁻¹; T3 92.206 t C ha⁻¹ y T4 78.332 t C ha⁻¹ (cuadro 9).

Cuadro 9: Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono total almacenado en 100 cm de profundidad del suelo (t C ha⁻¹)

Carbono (t C ha ⁻¹)		
Tratamiento	Carbono	Significancia
T1 = Pendiente 0%	72.364	a
T2 = Pendiente 15%	86.152	a
T3 = Pendiente 30%	92.206	a
T4 = Pendiente 50%	78.332	a

Prueba de Tukey (p<0.05). Promedios, con igual letra por fila, no muestran diferencia estadística.

C.V = 40.7387%

En cuanto al carbono almacenado por tratamiento; T1 acumuló 22.297 t C ha⁻¹; T2 23.342 t C ha⁻¹; T3 24.182 t C ha⁻¹ y T4 22.795 t C ha⁻¹ (cuadro 10).

Cuadro 10: Comparación de la cantidad de carbono almacenado en el suelo por tratamientos (t C ha⁻¹)

Carbono (t C ha ⁻¹)		
Tratamiento	Carbono	Significancia
T1 = Pendiente 0%	22.297	a
T2 = Pendiente 15%	23.342	a
T3 = Pendiente 30%	24.182	a
T4 = Pendiente 50%	22.795	a

Prueba de Tukey (p<0.05). Promedios, con igual letra por fila, no muestran diferencia estadística.
C.V = 37.16330%

En cuanto al carbono almacenado por repetición; R1 acumuló 28.268 t C ha⁻¹; R2 25.645 t C ha⁻¹; R3 22.652 t C ha⁻¹, R4 18.963 t C ha⁻¹ y R5 20.242 t C ha⁻¹ (cuadro 11).

Cuadro 11: Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo por repetición (t C ha⁻¹)

Carbono (t C ha ⁻¹)		
Repeticiones	Carbono	Significancia
R1	28.268	a
R2	25.645	ab
R3	22.652	ab
R4	18.963	b
R5	20.242	ab

Prueba de Tukey (p<0.05). Promedios, con igual letra por fila, no muestran diferencia estadística.

C.V = 37.16330%

En cuanto al carbono almacenado entre profundidades; la profundidad 0 – 10 cm acumuló 22.401 t C ha⁻¹; 10 cm – 30 cm 26.708 t C ha⁻¹; 30 cm – 60 cm 22.169 t C ha⁻¹, 60 cm – 100 cm 21,338 t C ha⁻¹ y 20.242 t C ha⁻¹ (cuadro 12).

Cuadro 12: Efecto de la pendiente sobre la cantidad de carbono almacenado en el suelo entre profundidades (t C ha⁻¹).

Carbono (t C ha ⁻¹)		
Profundidad (cm)	Carbono	Significancia
0 – 10	22.401	a
10 – 30	26.708	a
30 – 60	22.169	a
60 – 100	21.338	a

Prueba de Tukey (p<0.05). Promedios, con igual letra por fila, no muestran diferencia estadística.

C.V = 37.16330%

4.2. Determinación de la Densidad Aparente.

La DA del suelo entre profundidades (cuadro 13); en donde la profundidad 0 – 10 cm (T1 0.924; T2 0.968; T3 1.142; T4 1.080); 10 cm – 30 cm (T1 1.232; T2 1.262; T3 1.282; T4 1.202); 30 cm – 60 cm (T1 1.446; T2 1.444; T3 1.364; T4 1.340) y 60 cm – 100 cm (T1 1.480; T2 1.856; T3 1.502; T4 1.502).

Cuadro 13: Densidad Aparente por profundidades.

Tratamiento	Densidad Aparente (DA) g/cc			
	0-10 cm	10 cm - 30 cm	30 cm - 60 cm	60 cm - 100 cm
1	0.924 a	1.232 a	1.446 a	1.480 a
2	0.968 a	1.262 a	1.444 a	1.856 a
3	1.142 a	1.282 a	1.364 a	1.502 a
4	1.080 a	1.202 a	1.340 a	1.502 a

Tukey ($p < 0.05$). Promedios, con igual letra en cada columna, no muestran diferencia estadística.

V. DISCUSION

5.1. De la determinación del efecto de la pendiente del terreno sobre el almacenamiento de carbono en el suelo a diferentes profundidades se tiene lo siguiente

El carbono almacenado de 0 – 10 cm de profundidad, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos a la prueba de Tukey; pero si diferencias numéricas (cuadro 5), siendo el T1 y T2 que almacenaron la mayor cantidad de carbono ($22.204 \text{ t C ha}^{-1}$; $22.526 \text{ t C ha}^{-1}$); T3 $18.118 \text{ t C ha}^{-1}$ y T4 $16.558 \text{ t C ha}^{-1}$ en menor proporción, encontrándose una diferencia numérica entre el T2 y T4 de $5,968 \text{ t C ha}^{-1}$ carbono almacenado; estos resultados fueron inferiores a lo obtenido por Avilés et al. (2009), con 72.16 t. C/ha

Estas variaciones en el almacenamiento de carbono del T1 y T2, con respecto a los demás tratamientos, se debe a que están ubicados en pendientes más bajas (0 % y 15 %) y además, es esta capa es donde se concentra el carbono del suelo. Similares comportamientos reportan Van Cleve y Powers (1995), en California y Sureste de Oregón en EEUU en una publicación respecto a la cantidad de m.o presente en el suelo.

Lo mismo sucedió a la profundidad de 10 cm – 30 cm del suelo, no encontrándose diferencias estadísticas significativas a la prueba de Tukey, solo se puede apreciar diferencias numéricas (cuadro 6); los menores valores tuvieron T3; T1 Y T2 con $18.164 \text{ t C ha}^{-1}$; $20.298 \text{ t C ha}^{-1}$ y $21.752 \text{ t C ha}^{-1}$

respectivamente; encontrándose mayor carbono en el T4 con 24.652 t C ha⁻¹; estos resultados también fueron inferiores a lo obtenido por Avilés et al. (2009), con 43.72 t. C/ha.

En la capa 30 cm – 60 cm de profundidad, no mostraron también diferencias estadísticas significativa a la misma prueba estadística, encontrándose solo diferencias numéricas entre tratamientos (cuadro 7), el menor valor se encontró en el T4 con 17.132 t C ha⁻¹; T1 18.578 t C ha⁻¹; T2 22.136 t C ha⁻¹ y T3 con 23.884 t C ha⁻¹; estos resultados fueron inferiores a lo obtenido por Avilés et al. (2009), con 38.11 t. C/ha.

En la profundidad de 60 cm - 100 cm, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (cuadro 8), pero si se encontró diferencias numéricas; el menor valor se encontró en el T1 con 11.286 t C ha⁻¹; seguido del T2 y T4 con 19.724 t C ha⁻¹ y 19.988 t C ha⁻¹ respectivamente, reportando una mayor cantidad de carbono el T3 con 32.040 t C ha⁻¹ respecto al T1 de 20.754 t C ha⁻¹.

Respecto al carbono total, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, solo diferencias numéricas (cuadro 9), reportando la mayor cantidad de carbono el T3 con 92.206 t C ha⁻¹ y con menor cantidad el T1 con 72.364 t C ha⁻¹ mientras el T2 y T4 tuvieron valores intermedios de 86.152 t C ha⁻¹ y 78.332 t C ha⁻¹; iguales cantidades fueron obtenidos por Dupouey et al. (1999), en suelos forestales con 71 t. C/ha. y Alegre

et al. (2002), en un bosque primario de Pucallpa con 76.81 t. C/ha; pero inferiores a lo obtenido por IPCC (2000) en bosques tropicales de Manaus con 162 t.C/ha. y esto es similar obtenido por Avilés et al. (2009), con 153.99 t C/ha. respectivamente; esta variación se debe a la capacidad del suelo de retener nutrientes (intercambio catiónico). También, la acumulación abundante hojarasca o mantillo por parte de los árboles, puede ser una de las razones de que haya menos evaporación del agua del suelo bajo sombra, acelerando el reciclaje de nutrientes (Rapidel et al., 2015).

En la comparación del carbono almacenado en el suelo por tratamiento, tampoco se encontró diferencias estadísticas significativas (cuadro 10), las variaciones numéricas fueron mínimas encontrándose que el T1, T2, T3 y T4 tuvieron valores de 22.297 t C ha⁻¹; 23.342 t C ha⁻¹; 24.182 t C ha⁻¹ y 22.795 t C ha⁻¹ respectivamente; al ser un bosque primario existe una baja compactación del suelo, favoreciendo el crecimiento radicular de las plantas de los diferentes estrados del bosque, permitiendo la aeración, fluidez del agua y nutrientes (Fassbender, 1993; Arshad y Martín, 2002).

Al realizar la comparación del carbono almacenado en el suelo por repetición, se encontraron diferencias estadísticas significativas a la prueba de Tukey (cuadro11); la repetición R1 superó con 28.268 t C ha⁻¹ a las repeticiones R2, R3 y R5 que obtuvieron valores de 25.645 t C ha⁻¹, 22.652 t C ha⁻¹ y 20.242 t C ha⁻¹ respectivamente y R4 que alcanzó el menor valor de 18.963 t C ha⁻¹. Este cambio puede deberse a la micro topografía del suelo, pero esto no afectó

el contenido de carbono en el suelo por profundidades, en el total y por tratamientos.

Al realizar el análisis de comparación del carbono del suelo por profundidades (cuadro 12), no se encontraron diferencias estadísticas significativas, se observó solo diferencias numéricas, encontrándose mayor cantidad de carbono de 10 cm – 30 cm, con 26.708 t C ha⁻¹; seguidos de las profundidades y menor cantidad de 60 cm-100cm, 30cm-60cm y 0-10cm, con 21.338 t C ha⁻¹; 22.169 t C ha⁻¹ y 22.401 t C ha⁻¹ respectivamente. Estas diferencias pueden deberse al relieve del terreno, el cual ha favorecido la circulación del agua, sales solubles, minerales coloidales y el almacenamiento de la materia orgánica (Campo, 2003). También el suelo mediante su actividad recicladora, secuestra el carbono por desnitrificación y descomposición de la m.o, almacenándolo por millones de años (Melillo et al., 1996).

Los resultados obtenidos y otras investigaciones concuerdan que el relieve del terreno contribuye a la acumulación de C, N y MO debido a los cambios en la microtopografía, variando el piso forestal y el suelo mineral (Lajtha y Schlesinger, 1988; Liechty et al., 1997).

También las reservas de carbono están directamente relacionadas por la cobertura y composición química de la vegetación de cada condición topográfica, para el caso del estudio la flora imperante fue un bosque primario heterogéneo en las diferentes pendientes.

Estas variaciones de la acumulación del carbono en estas condiciones topográficas, también obedeció a la rapidez de descomposición de la m.o de la floresta imperante, indicándonos que las reservas de carbono tienen que ver directamente con la topografía y los recursos del ecosistema.

5.2. De la relación del carbono con densidad aparente.

Otra causa de las variaciones numéricas del carbono en el suelo en las diferentes pendientes, puede deberse a los valores de la DA (cuadro 13), no se encontraron diferencias estadísticas significativas, debido que estos fueron bajos en la primera profundidad y se incrementó mínimamente en las demás profundidades no afectaron el desarrollo radicular de las plantas, si no favorecieron el ingreso de aire, circulación de agua y flujo de nutrientes; siendo la DA un medio para determinar la calidad de suelos.

Respecto al pH del suelo, es un parámetro a tener en cuenta debido a su influencia en cambios químicos y biológicos del suelo, influenciando también en el crecimiento de la floresta; para el caso de este estudio no se encontraron en los tratamientos y repeticiones diferencias significativas (cuadro 22 y 23).

Los resultados presentados en este estudio, sugieren que el C almacenado en el suelo, constituye un importante depósito para la fijar el C atmosférico; siendo el cerro escalera un importante sumidero de carbono con fines a ofrecer servicios ambientales en un futuro muy cercano.

VI. CONCLUSIONES

6.1. El efecto de la pendiente hizo que el carbono almacenado en el suelo fuera variable a nivel de profundidades (0-10 cm; 10 cm – 30 cm; 30 cm – 60 cm; 60 cm – 100 cm) del suelo, tratamientos y repeticiones. En la primera profundidad, el T2 reportó mayor cantidad de carbono con $22.526 \text{ t C ha}^{-1}$ siendo superior a los demás tratamientos; en la segunda profundidad fue el T4 con $24.652 \text{ t C ha}^{-1}$, en la tercera profundidad resalto el T3 con $23.884 \text{ t C ha}^{-1}$ y en la cuarta profundidad se encontró en el T3 con $32.040 \text{ t C ha}^{-1}$. En cuanto al carbono total acumulado en el suelo en 1 m^2 , el T3 reporto reportó el más alto valor con $92.206 \text{ t C ha}^{-1}$. Al realizar la comparación de carbono almacenado por tratamiento, el T3 reportó $24.182 \text{ t C ha}^{-1}$ siendo superior al resto. Al realizar la comparación del carbono almacenado por repetición, se encontró que R1 obtuvo valores de $28.268 \text{ t C ha}^{-1}$ siendo superior a las demás repeticiones. En la comparación por profundidades, la de 10 cm – 30 cm, destacó con $26.708 \text{ t C ha}^{-1}$.

6.2. Respecto a los valores de la densidad Aparente, estos fueron bajos en la primera profundidad, a medida que se incrementa estos valores, subieron mínimamente debido al material parental.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. Realizar evoluciones del carbono total (parte aérea, hojarasca o mantillo, raíces y suelo) del bosque primario del cerro escalera, debido a que representa un importante sumidero de C, con miras a prestar servicios ambientales y obtener bonos.

7.2. Realizar una caracterización de este bosque, antes de realizar estudios de estimación de carbono almacena en el suelo o parte aérea de la planta, para poder determinar las especies dominantes del ecosistema y las especies que secuestren mayor carbono atmosférico.

7.3. Realizar estudios de cuantificación de carbono en épocas de altas y bajas precipitaciones, para poder determinar las diferencias del carbono almacenado en estas dos épocas.

7.4. Hacer un monitoreo continuo de los niveles de nutrientes del suelo para asegurar un manejo adecuado de la fertilidad y una mejor sostenibilidad del sistema.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avilés et al., (2009). Valoración en Almacenes de Carbono en Suelos de una Toposecuencia. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco. Km. 36.5. montecillo, Estado de México (vavilesh@colpos.mx).
- Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI). (2005). Los Bosques Tropicales y Los Cambios Climáticos. Québec, Canadá. [En línea]: RCFA, (www.rcfa-cfan.org/spanish/s.issues.13.htm; 15 jun. 2007).
- Albiño, J. y Vargas, B. (2014). Medición de la huella de carbono y obtención de una metodología de cálculo para absorción de carbono en los 11 sumideros del D.M. de Quito. Universidad Politécnica Salesiana.
- Alegre, J.; Arévalo, L., Ricse, R. (2002). Reservas de Carbono con Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en dos Sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú. [En línea]: Virtual centre, (<http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>; 15 Nov. 2006).
- Arévalo, L., Alegre J., Palm, CH. (2003). Manual de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en Perú. Publicación de STC - CGIAR Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú. 24p.
- Arshad, M.A. & Martin, S.(2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 88, 153-160.

- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. (2000). Relationship of Soil Organic Matter Dynamics to Physical Protection and Tillage. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 06 Dic. 2006).
- Batet, S., Rovira, S. (2002). Cambio Climático. Departamento de Sostenibilidad del Centro UNESCO de Catalunya. [En línea]: One world, (<http://es.oneworld.net/article/archive/5728/>; 15 Ene. 2007).
- Bolin, B., Doos, B., Jager J., Warrick, R. (1996). The Greenhouse effect, Climate Change and Ecosistemas. [En línea]: Biomeso, (http://www.biomeso.net/bancoconocimiento/Cambio_climático.asp; 06 Dic. 2006).
- Boukhari, S. (2000). Bosques y Clima: Intereses en Juego. [En línea]: UNESCO, (http://www.unesco.org/courier/1999_12/sp/planete/txt1.htm; 29 Dic. 2006).
- Callo C, D. Crishnamurthy y Alegre, J. (2001). Cuantificación del Carbono Secuestrado por Algunos SAF y Testigos, en Tres pisos Ecológicos de la Amazonía del Perú. Simposio Internacional Monitoreo de la Captura de Carbono en ecosistemas Forestales del 18 al 20 de octubre del 2001. Valdivia, Chile. 23p.
- Campo A., J. (2003). Disponibilidad y flujos de nutrimentos en una toposecuencia con bosque tropical seco en México. *Agrociencia* 37: 211–219
- Cárdenas, J. (2008). Ministerio del Medio Ambiente debe absorber a órganos del sector. [En línea]: La República, (<http://www.larepublica.com.pe/content/view/197825/484/>, 02 Jun.

2008)

- Castro, R. (2005). El Mercado del Carbono: Los bosques, la mejor opción. [En línea]: CDM, (www.cdmcentral.com, 16 Feb. 2007).
- Catriona, P. (1998). Actualidad Forestal Tropical. Boletín de Manejo Forestal Producido por la Organización de Maderas Tropicales para Fomentar la Conservación y el Manejo Sostenible de los Recursos Forestales tropicales en la región de América Latina y el Caribe (Japón). Volumen 6, Número 4. 31p.
- CENTRO HADLEY. (2002). El Efecto Invernadero. [En línea]: BBC, (<http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/reduced.html>, 05 Ene. 2007).
- Coronel, A. (2016). Determinación de carbono en el suelo y biomasa del parámo de la comunidad Chocaví de la parroquia San Isidro. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from file:///C:/Users/WORKSIG/Downloads/236T0177 documento para realizar las comparaciones d carbono a mayor altura menos cantidad de carbono.pdf.
- Delaney, N. (2005). Medición de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial de Carbono. [En línea]: FONDEF, (<http://www.fondef.cl/bases/fondef/proyecto.html>, 05 Ene. 2007)
- Depledge, J. (2002). Climate Change in Focus: Report. [En línea]: INE, (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros.html>, 29 Dic. 2006).
- Dupouey, J., Siguand, G., Bateau, V., Thimonier, A., Dhole, J.F., Nepveu, G.

- (1999). Stocks et Flux de Carbone Dans les Forêts Françaises. C.R. Acad. Agric. Francia. 310p.
- EDN (Earth Day Network). (2006). El Problema: Cambio Climático. [En línea]: Earthday, (<http://www.earthday.net/programs/international/espanol.html>), 22 Nov. 2006).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2004). Carbon sequestration in drylands. Report on World Soil Resources, No.102. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. ISBN 92-5-105230-1. [[Links](#)]
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2005). Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra. Conceptos de clasificación y manual para el usuario. Versión 2 del programa. Environment and natural resources series. N° 8. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- FASSBENDER, H.W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales (2ª edición). Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 530 p.
- FONAM (Fondo Nacional del Ambiente). (2007). Portafolio de Proyectos Peruanos en el Mecanismo de Desarrollo en Limpio. [En línea]: FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/mdl/portafolio.php>, 15 Abr. 2007).
- FONAM (Fondo Nacional del Ambiente). (2006). El cambio climático. [En línea]: FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/cambio.asp>, 29 Dic. 2007)
- FONAM (Fondo Nacional del Ambiente). (2005). Boletín C02comercio. Dedicado a Informar Sobre las Oportunidades del Mercado de Carbono.

- FONAM/CONAM/Embajada de los Países Bajos/. [En línea]: FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/mdl/documentos/guia%20MDL.pdf>, 27. 11. 2007).
- Gavenda, B. (2000). Soils and carbon sequestration. In The Overstory # 66. Carbon sequestration: Storing carbon in soils and vegetation.
- GCCIP (Global Climate Change Information Programme). (1997). Cambio Climático. [En línea]: DOCMMU, (<http://www.docmmu.ac.uk/>, 24 Feb. 2007)
- Hall, D, O; Rao, K, K, (1994). Photosynthesis Cambridge University press 5ª Edición, 1-4 p.
- Heller, T. y SHUKLA, P. (2003). Development and Climate. Beyond Kyoto: Advancing the International Effort against Climate Change. (Working Draft). Washington: Pew Center. [En línea]: Fundación sustentable, (<http://www.fundacionsustentable.org/contentid-45.html>; 25 Nov. 2006).
- Houghton, R., Skole, D. y Nobre, C. (2000). Annual Fluxes of Carbon from Deforestation and Regrowth in the Brazilian Amazon. [En línea]: MME, (www.mme.gov.br; 06 Dic. 2006).
- IIAP y GRSM (Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana y Gobierno Regional de San Martín). (2005). Zonificación Ecológica Económica de la Región San Martín. Moyobamba, Perú.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2001). Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. In McCarthy, JJ; Canziani, OF; Leary, NA; Dokken, DJ; White, KS. eds. Resumen para responsables de

- políticas y Resumen técnico. Parte de la contribución del Grupo de trabajo II al Tercer Informe de Evaluación Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, CH, Cambridge University Press. 1000 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2001b). Los Sumideros de Carbono [En línea]: CESCYL, (www.cescyl.es/pdf/coleccionestudios/Pkioto.pdf; 14 Oct. 2007)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2000). Land Use, Change and Forestry. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. [En línea]: EIA, (<http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html>, 24 Feb. 2007).
- Kanninen, M. (2000). Secuestro de Carbono en Bosques: El papel de los Bosques en el Ciclo Global de Carbono. [En línea]: Virtual centre, (<http://lead.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/articulovb.pdf>, 15 ene. 2007).
- Lajtha, K., and W. H. Schlesinger. (1988). The biogeochemistry of phosphorus cycling and phosphorus availability along a desert soil chronosequence. *Ecology* 69: 24–39.
- Lal, R.; Kimble J. (1998). Pedospheric processes and the carbon cycle. In Lal, R; Kimble, KM; Follett, RF; Stewart, BA. eds. Soil processes and the carbon cycle. Estados Unidos, CRC Press. p. 1-8.
- Lal, R. (1999). Global Carbon Pools and Fluxes and the Impact of Agricultural Intensification and Judicious land Use. World Soil Resources Report 86.

FAO, Roma. p. 45 - 52.

- 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*. Volumen 3. Número 1 - 2. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 44p.
- Leahy, S. (2005). Cambio Climático: El pueblo Inuit acusa a los Estados Unidos. [En línea]: Nodo, (<http://www.nodo50.org/article.php3?idarticle1447>; 21 Feb. 2007).
- Liechty, O. H., F. M. Jurgensen, D. G. Mroz, and R. M. Gale. (1997). Pit and mound topography and its influence on storage of carbon, nitrogen and organic matter within an old-growth forest. *Can. J. For. Res.* 27: 1992–1997
- Loguercio, G. (2005). Cambio Climático: El rol de los bosques como sumideros de carbono. Secretaría Académica - CIEFAP. [En línea]: CIEFAP, (www.ciefap.org.ar/novedades/notas/nota1/default.html; 05 Ene. 2007)
- Marlan G., Boden T. y B. Andrés. (2003). Global, Regional and National CO2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). Oak Ridge National Laboratory, U. S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn. [En línea]: UNFCCC, (<http://www.unfccc.de/resources/index.html>; 21 Oct. 2006).
- Márquez, T. (2005). Cálculo de Biomasa y Captura de Carbono en Cuatro Sistemas Agroforestales de Café con Sombra, en Tarapoto. Informe de Prácticas Preprofesionales. Fac. Recursos Naturales Renovables: Mención Forestales. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria

de la Selva. 66p.

- Márquez, L. (2000). Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono, en Uso del Suelo. Fundación Solar. Guatemala. 31p.
- Melillo, J. M., D. O. Hall, and G. I. Ågren. (1996). Executive summary. pp.1-16. *In: Global change: effects on coniferous forests and grasslands*. John Wiley. New York, NY, USA.
- Millero, Frank J. (1995). «Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans». *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59** (4): 661-677. Bibcode:1995GeCoA..59..661M. doi:10.1016/0016-7037(94)00354-O
- Moutinho, P., Santilli, M., Schwartzman, S., Nepstad, D., Curran, L. y Nobre, C. (2005). Tropical Deforestation and Kyoto Protocol. [En línea]: MME, (www.mme.gov.br, 15 Ene. 2007).
- Oades, J. (1988). The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5(1):35-70.
- Oyhantçabal, W. (2005). El Mecanismo para un desarrollo limpio en el Uruguay: Hacia una Nueva Relación entre Ganadería y Silvicultura. Unidad de Proyectos Agropecuarios de Cambio Climático del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Uruguay. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/009/a0413s/a0413s04.htm>; 15 Feb, 2007).
- Pedroni, L. (2005). Aspectos a Tomar en Cuenta en Proyectos Forestales Bajo el MDL. Instrumentos Económicos y Medio Ambiente. [En línea]: Andeancenter, ([http:// www.andeancenter.com](http://www.andeancenter.com).; 06 Ene. 2007).
- Pérez, E. et al., (2005). Potencial de plantación y fijación de carbono. Tomo II.

MAGFOR. PROFOR. Pp. 15,16, 18, 165 p.

Petty, G.W. (2004). *A First Course in Atmospheric Radiation*. Sundog Publishing. pp. 229-251.

Rapidel B.; Allinne C.; Cerdan C.; Meylan L.; Virginio F.E.D.M.; Avelino J. (2015). *In: Montagnini F.; Somarriba E.; Murgueitio E.; Fassola H.; Eibl B. (Eds.). Sistemas Agroforestales: Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Colombia: CATIE, p. 5-20. (Serie técnica. Informe técnico CATIE, 402).

Salgado L. (2004). *El Mecanismo de Desarrollo Limpio en Actividades de Uso de la Tierra, Cambio de Uso y Forestería (LULUCF) y su Potencial en la Región Latinoamericana*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo. Santiago de Chile. 84p

Sanchez, P., Buresh, R., Leakey, B. (1999). *Trees, soils and food Security*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 05 Ene. 2007).

Schroeder, P. (1994). *Carbon Storage Benefits of Agroforestry Systems*. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 05 Ene. 2007).

Segura, M.A. (1999). *Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 115 p.

- Silver, W.L; Ostertag, R; Lugo, AE. (2000). The Potential for Carbon Sequestration Through Reforestation of Abandoned Tropical Agricultural and Pasture Lands. *Restoration Ecology* 8(4):394-407.
- Torres, H. (2005). Determinación de Biomasa Aérea y Estimación de carbono Almacenado en el Fundo "El Choclito", Tarapoto, San Martín. Informe de Prácticas Preprofesionales. Fac. Recursos Naturales Renovables: Mención Forestales. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 75p.
- Trumbmore, S.E., Davidson, E.A., P., Nepstad, D.D., Martinelli, L.A. (1995). Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*: [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 05 Ene. 2007).
- Uhland R.E.(1950). propiedades físicas del suelo modificados por cultivos y manejo. *Sci Soc Amer Pro* 14: 361-366.
- Van Cleve, K., and R. F. Powers. (1995). Soil carbon, soil formation and ecosystem development. *In*: Mc Free, W. W., and J. M. Kelly (eds). Carbon forms and functions in forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. USA*. pp: 155–199.
- Vidal M. (2007). Si Perdemos los Bosques, Perdemos la Lucha Contra el Cambio Climático": La Deforestación es la Segunda Causa de Emisiones de CO₂, por encima del Transporte. Londres. Global canopy, (<http://www.globalcanopy.org/vivocarbon/ForestsFirst.pdf>; 10 Jun. 2007).

Walkley A, Black A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37.29-38.

Woomer, L., Palm, C, Qureshi, J., Kotto, J. (1998). Carbon Sequestration and Organic Resource Management in African Smallholder Agriculture. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep.htm>; 29 Jul. 2006).

ANEXOS

Cuadro 14. Análisis Carbono capa 0 – 10 cm del suelo.

Tabla ANOVA para Carbono por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	132.697	3	44.2323	0.79	0.5176
Intra grupos	897.118	16	56.0699		
Total (Corr.)	1029.81	19			

Resumen Estadístico para Carbono

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	5	22.204	4.45168	20.049%	18.74	29.94
2	5	22.526	5.22327	23.1877%	16.99	30.6
3	5	18.118	8.05149	44.4392%	7.57	28.0
4	5	16.558	10.5997	64.0154%	4.12	32.78
Total	20	19.8515	7.36212	37.086%	4.12	32.78

Tratamiento	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
1	11.2	1.75221	1.80865
2	13.61	0.863239	0.419568
3	20.43	-0.110613	-0.500015
4	28.66	0.700546	0.598335
Total	28.66	-0.435169	0.0921462

Pruebas de Múltiple Rangos para Carbono por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	5	16.558	X
3	5	18.118	X
1	5	22.204	X
2	5	22.526	X

Contraste	Sig.	Diferencia +/- Límites
1 - 2		-0.322 13.5555
1 - 3		4.086 13.5555
1 - 4		5.646 13.5555
2 - 3		4.408 13.5555
2 - 4		5.968 13.5555
3 - 4		1.56 13.5555

* indica una diferencia significativa.

Cuadro 15. Análisis Carbono capa 10 – 30 cm del suelo.

Tabla ANOVA para Carbono por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	111.308	3	37.1027	0.16	0.9240
Intra grupos	3793.54	16	237.096		
Total (Corr.)	3904.84	19			

Resumen Estadístico para Carbono

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	5	20.298	11.1513	54.9381%	2.49	30.57
2	5	21.762	14.2239	65.3611%	0.85	35.84
3	5	18.164	6.89099	37.9376%	9.29	27.55
4	5	24.652	23.963	97.2053%	5.25	64.75
Total	20	21.219	14.3359	67.5616%	0.85	64.75

Tratamiento	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
1	28.08	-1.09598	0.646719
2	34.99	-0.585918	-0.0918579
3	18.26	0.140496	-0.0514676
4	59.5	1.44257	1.21042
Total	63.9	2.38431	3.16165

Pruebas de Múltiple Rangos para Carbono por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	5	18.164	X
1	5	20.298	X
2	5	21.762	X
4	5	24.652	X

Contraste	Sig.	Diferencia +/-	Límites
1 - 2		-1.464	27.8748
1 - 3		2.134	27.8748
1 - 4		-4.354	27.8748
2 - 3		3.598	27.8748
2 - 4		-2.89	27.8748
3 - 4		-6.488	27.8748

* indica una diferencia significativa.

Cuadro 16. Análisis Carbono capa 30 – 60 cm del suelo.

Tabla ANOVA para Carbono por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	145.736	3	48.5787	0.49	0.6927
Intra grupos	1579.17	16	98.698		
Total (Corr.)	1724.9	19			

Resumen Estadístico para Carbono

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	5	18.578	10.4425	56.2088%	2.63	31.11
2	5	22.136	7.63475	34.4902%	15.63	34.47
3	5	23.884	13.4584	56.3491%	10.51	44.42
4	5	17.132	6.80648	39.7296%	5.18	21.57
Total	20	20.4325	9.52808	46.632%	2.63	44.42

Tratamiento	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
1	28.48	-0.673743	0.653324
2	18.84	1.18098	0.758928
3	33.91	0.782184	0.236971
4	16.39	-1.85833	1.95585
Total	41.79	0.899536	1.19356

Pruebas de Múltiple Rangos para Carbono por Tratamiento
Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	5	17.132	X
1	5	18.578	X
2	5	22.136	X
3	5	23.884	X

Contraste	Sig.	Diferencia +/- Límites
1 - 2		-3.558 17.9847
1 - 3		-5.306 17.9847
1 - 4		1.446 17.9847
2 - 3		-1.748 17.9847
2 - 4		5.004 17.9847
3 - 4		6.752 17.9847

* indica una diferencia significativa.

Cuadro 17. Análisis Carbono capa 60 – 100 cm del suelo.

Tabla ANOVA para Carbono por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1093.32	3	364.441	1.52	0.2467
Intra grupos	3826.94	16	239.184		
Total (Corr.)	4920.26	19			

Resumen Estadístico para Carbono

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	5	11.286	9.84787	87.2574%	2.47	23.94
2	5	19.724	16.2193	82.2311%	3.36	43.74
3	5	32.04	9.12707	28.4865%	19.44	44.38
4	5	19.988	22.658	113.358%	3.9	59.25
Total	20	20.7595	16.0923	77.5176%	2.47	59.25

Tratamiento	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
1	21.47	0.476212	-1.13334
2	40.38	0.804258	-0.197704
3	24.94	-0.0634449	0.347175
4	55.35	1.733	1.74124
Total	56.78	1.49208	0.0604197

Pruebas de Múltiple Rangos para Carbono por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	5	11.286	X
2	5	19.724	X
4	5	19.988	X
3	5	32.04	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-8.438	27.9973
1 - 3		-20.754	27.9973
1 - 4		-8.702	27.9973
2 - 3		-12.316	27.9973
2 - 4		-0.264	27.9973
3 - 4		12.052	27.9973

* indica una diferencia significativa.

Cuadro 18. Análisis Carbono total en 100 cm del suelo.

Tabla ANOVA para Carbono por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1137.15	3	379.051	0.30	0.8248
Intra grupos	20202.2	16	1262.64		
Total (Corr.)	21339.4	19			

Resumen Estadístico para Carbono

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
1	5	72.364	27.7169	38.3021%	29.15	98.91
2	5	86.152	29.5963	34.3536%	63.68	136.45
3	5	92.206	15.2496	16.5386%	75.68	111.63
4	5	78.332	56.3369	71.9207%	33.11	175.94
Total	20	82.2635	33.5131	40.7387%	29.15	175.94

Tratamiento	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
1	69.76	-0.954728	0.382747
2	72.77	1.56326	1.44156
3	35.95	0.0175695	-0.866372
4	142.83	1.72397	1.76577
Total	146.79	1.96112	2.09739

Pruebas de Múltiple Rangos para Carbono por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	5	72.364	X
4	5	78.332	X
2	5	86.152	X
3	5	92.206	X

Contraste	Sig.	Diferencia +/-	Límites
1 - 2		-13.788	64.3265
1 - 3		-19.842	64.3265
1 - 4		-5.968	64.3265
2 - 3		-6.054	64.3265
2 - 4		7.82	64.3265
3 - 4		13.874	64.3265

* indica una diferencia significativa.

Cuadro 19. Análisis Carbono por tratamiento y repeticiones.

Tabla ANOVA para Carbono por Tratamiento

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Rep	4	938.383968	234.595992	3.17	0.0217
trt	3	39.088604	13.029535	0.18	0.9121
prof	3	349.339824	116.446608	1.57	0.2082
Rep*trt	12	2803.559553	233.629963	3.16	0.002
trt*prof	9	1245.331271	138.370141	1.87	0.0799

Cuadro 20. Densidad Aparente por profundidades.

Tratamiento	Densidad Aparente (DA) g/cc			
	0-10 cm	10 cm - 30 cm	30 cm - 60 cm	60 cm - 100 cm
1	0.924 a	1.232 a	1.446 a	1.480 a
2	0.968 a	1.262 a	1.444 a	1.856 a
3	1.142 a	1.282 a	1.364 a	1.502 a
4	1.080 a	1.202 a	1.340 a	1.502 a

Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Promedios, seguidos de la misma letra en cada columna, no son diferentes estadísticamente

Cuadro 21. pH del suelo por tratamientos.

Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	8	3.81375	X
1	8	4.0375	X
2	8	4.08625	X
4	8	4.20375	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-0.04875	0.5332
1 - 3		0.22375	0.5332
1 - 4		-0.16625	0.5332
2 - 3		0.2725	0.5332
2 - 4		-0.1175	0.5332
3 - 4		-0.39	0.5332

* indica una diferencia significativa.

Cuadro 22. pH del suelo por repeticiones.

Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Repetición

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Repetición	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	8	3.78625	X
3	4	3.9	X
5	4	4.0075	X
4	8	4.10625	X
2	8	4.295	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-0.50875	0.544911
1 - 3		-0.11375	0.667376
1 - 4		-0.32	0.544911
1 - 5		-0.22125	0.667376
2 - 3		0.395	0.667376
2 - 4		0.18875	0.544911
2 - 5		0.2875	0.667376
3 - 4		-0.20625	0.667376
3 - 5		-0.1075	0.77062
4 - 5		0.09875	0.667376

* indica una diferencia significativa.



FDA
FUNDACION PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Data de la factura
 Tipo de documento: FACTURA ELECTRONICA
 Serie y número de factura: FD 414 0001361
 Fecha: 00002017
 Forma de pago: EFECTIVO

Datos de la minor			Adquiriente		
RUC: 201005974			Identificación: RUC - REGISTRO UNICO DE CONTRIBUYENTES		
Nombre: FUNDACION PARA EL DESARROLLO AGRARIO			Número de identificación: 100000000		
Dirección: JR. CAMILO CARRILLO NRO. 325 - JESUS MARIA LIMA, DEPARTAMENTO LIMA.			Nombre: WILDER MACEDO CORDOVA		
			Dirección: TAMPICO - SAN MARTIN		

Cantidad	Unidad	Código	Descripción	Valor unitario	Importe
02.00	N/D	7	ANALISIS ESPECIAL EN SUELO - CARBONO	S/ 12.71	S/ 254.20
02.00	N/D	7	ANALISIS ESPECIAL EN SUELO - pH, TEXTURA	S/ 24.90	S/ 498.00

Información adicional

Totales e impuestos

Total IGV 18%: S/ 353.00

Total a pagar en esta

Total Operadas: S/ 1000.00
Importe total de la venta: S/ 2,322.00

Monto en letra: DOS MIL TRESCIENTOS VEINTE Y 000/100 SOLES



Figura 1. Recibo de Análisis de Suelos



Figura 2. Bosque primario en estudio



Figura 3. Otra zona del bosque en estudio



Figura 4. Determinando las pendientes con la ayuda de un eclímetro.



Figura 5. Determinación de la pendiente en otra zona del terreno.



Figura 6. Determinando las coordenadas



Figura 7. Delimitando el área de estudio.



Figura 8. Escalando la pendiente para determinar los puntos de muestreo



Figura 9. Determinación de sitios de muestreo



Figura 10. Determinación de otro sitio de muestreo



Figura11. Determinación de sitios de muestreo



Figura 12. Determinando las capas de muestreo en la calicata.



Figura 13. Calicata listo para sacar la muestras



Figura 14. Determinando la DA.



Figura 15. Sacando muestra de suelo para DA.



Figura 16. Determinando el peso húmedo de la muestra.



Figura 17. Muestra de suelo para cálculo de la DA



Figura 18. Muestreo de suelo para determinación de carbono.



Figura 19. Transporte de muestras al laboratorio