

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



CONTRIBUCIÓN DE CARBONO DE LA HOJARASCA EN
DIECISEIS SISTEMAS DE USO DE TIERRA A LO LARGO
DE LA CARRETERA TARAPOTO-YURIMAGUAS

Tesis para optar el título de
INGENIERO AGRONOMO

presentado por:

Gabriela Marisol Castañeda Paredes

Lima-Perú

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**“CONTRIBUCIÓN DE CARBONO DE LA HOJARASCA
PRODUCIDA EN DIECISEIS SISTEMAS DE USO DE TIERRA A
LO LARGO DE LA CARRETERA TARAPOTO-YURIMAGUAS”**

Presentado por:

GABRIELA MARISOL CASTAÑEDA PAREDES

Tesis para Optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentado y Aprobado ante el siguiente jurado:

.....
Dr. Julio Toledo Hevía
PRESIDENTE

.....
Dr. Julio Alegre Orihuela
PATROCINADOR

.....
Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez
MIEMBRO

.....
Ing. Mg. Sc. Ruby Vega Ravello
MIEMBRO

Lima - Perú

2014

DEDICATORIA

A mis lindos padres Victor Castañeda y Raquel Paredes
y a mis hermanos por el apoyo incondicional y amor
durante todos estos años.
Gracias por confiar en mí.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor y maestro el Dr. Julio Alegre Orihuela por haberme dirigido a lo largo del proceso de investigación y por todos los conocimientos impartidos.

A mi co-asesora, maestra y amiga la Ing. Ruby Vega Ravello por el apoyo y motivación durante el desarrollo de esta investigación. Gracias por su amistad.

A la Ing. Ximena Tagle por toda la ayuda brindada durante la etapa de redacción. Eres una gran profesional.

A los señores William e Inuma por la ayuda brindada durante la etapa de campo.

A mis compañeros que forman parte del proyecto VLIR-UNALM; Paquita, Kevin y Linda por el esfuerzo y dedicación.

A mis grandes amigas Angela Martín y Andrea Hurtado de Mendoza por su amistad y cariño durante todo este tiempo.

A todas las personas que de una u otra manera aportaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación. Gracias a todos.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO.....	i
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN.....	viii
I.INTRODUCCION.....	1
1.1JUSTIFICACIÓN	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LOS RECURSOS NATURALES.....	4
2.1.1 Cobertura Terrestre:.....	4
2.1.2 Sistemas de uso de la tierra:	5
2.2 BOSQUES Y SU PAPEL EN LA CAPTURA DE CARBONO	6
2.3 MATERIA ORGÁNICA.....	7
2.4 EL SUELO Y LOS RESIDUOS VEGETALES	7
2.5 HOJARASCA	8
2.6 CICLO DEL CARBONO	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	11

3.1.1 Ubicación	11
3.1.2 Características generales del área de estudio	12
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS:	15
3.2.1 Materiales empleados:	15
3.2.2 Descripción de las unidades de muestreo.....	17
3.3 METODOLOGÍA	21
3.3.1 Fase de Campo	21
3.3.2 Fase de laboratorio.....	23
3.3.3 Fase de Interpretación.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	25
4.1 BIOMASA DE LA HOJARASCA	25
4.1.1 Biomasa total.....	25
4.1.2 Biomasa seca de la hojarasca de descomposición media	34
4.1.3 Biomasa seca de la hojarasca de descomposición alta.....	36
4.2 CARBONO TOTAL ALMACENADO EN LA BIOMASA SECA DE LA HOJARASCA	39
4.2.1 Carbono total.....	40
4.2.2 Carbono almacenado en la biomasa seca de la hojarasca de descomposición media	45
4.2.3 Carbono almacenado en la biomasa seca de la hojarasca de descomposición alta.....	47
4.3 PORCENTAJE RELATIVO DE CARBONO APORTADO POR LA BIOMASA DE LA HOJARASCA.....	49
4.3.1 Descomposición media de la hojarasca	49
4.3.2 Descomposición alta de la hojarasca	50
4.4 RELACIÓN C/N PARA LOS SISTEMAS DE USO DE TIERRA.....	51
4.4.1 Tarapoto	51

4.4.2 Yurimaguas	52
V. CONCLUSIONES	54
VI. RECOMENDACIONES	56
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	57
VIII. ANEXOS	64
ANEXO 1: ESTACIÓN EXPERIMENTAL ‘CHOCLINO’ - SISTEMAS DE CACAO.....	65
ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN DEL CACAO EN BOSQUE	66
ANEXO 3: BASE DE DATOS	67
ANEXO 4: CUADRO DE BIOMASA SECA DE LA HOJARASCA DE DESCOMPOSICIÓN MEDIA (TARAPOTO-YURIMAGUAS).....	73
ANEXO 5: CUADRO DE BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICIÓN ALTA DE LA HOJARASCA (TARAPOTO-YURIMAGUAS).....	74
ANEXO 6: CUADRO DE CARBONO ALMACENADO EN BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICIÓN MEDIA DE LA HOJARASCA (TARAPOTO-YURIMAGUAS).....	75
ANEXO 7: CUADRO DE CARBONO ALMACENADO EN BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICIÓN MEDIA DE LA HOJARASCA (TARAPOTO-YURIMAGUAS).....	76
ANEXO 8: CUADRO DE PORCENTAJES RELATIVOS.....	77
ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANZAS PARA LAS VARIABLES	78
ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZAS PARA LAS VARIABLES	83
ANEXO 11: FOTOGRAFÍAS DEL MUESTREO.....	88

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE LOS MUESTREOS (TARAPOTO-YURIMAGUAS).....	16
Cuadro 2: CARÁCTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE USO DE TIERRA EVALUADOS EN TARAPOTO.....	18
Cuadro 3: CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE USO DE TIERRA EVALUADOS EN YURIMAGUAS.....	19
Cuadro 4: PROMEDIO DE BIOMASA SECA TOTAL DE MUESTREO EN LOS SISTEMAS DE LA ZONA DE TARAPOTO.....	28
Cuadro 5: PROMEDIO DE BIOMASA TOTAL SECA DE MUESTREO EN LOS SISTEMAS DE LA ZONA DE YURIMAGUAS.....	30
Cuadro 6: PROMEDIO DE CARBONO TOTAL APORTADO EN LOS SISTEMAS DE LA ZONA DE TARAPOTO.....	41
Cuadro 7: PROMEDIO DE CARBONO TOTAL APORTADO EN LOS SISTEMAS DE LA ZONA DE YURIMAGUAS.....	43
Cuadro 8: RELACIÓN C/N DE LA HOJARASCA DE DESCOMPOSICION MEDIA Y ALTA EN TARAPOTO.....	52
Cuadro 9: RELACION C/N DE LA HOJARASCA DE DESCOMPOSICION MEDIA Y ALTA EN YURIMAGUA.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. MAPA DE UBICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE USO DE TIERRA A LO LARGO DE LA CARRETERA TARAPOTO-YURIMAGUAS	11
Figura 2. CLIMATOGRAMA-TARAPOTO.....	13
Figura 3. CLIMATOGRAMA-YURIMAGUAS.....	13
Figura 4. a) Bloqueo del área de investigación; b) Cuadrante 1m x 1m.....	22
Figura 5: a) Recolección de hojarasca; b) Pesado de las muestras; c) Registro de peso.....	22
Figura 6: SECADO DE LAS SUB-MUESTRAS EN ESTUFA DE AIRE RECIRCULANTE.....	23
Figura 7: BIOMASA SECA TOTAL DE LA HOJARASCA -TARAPOTO.....	27
Figura 8: BIOMASA SECA TOTAL DE LA HOJARASCA-YURIMAGUAS.....	29
Figura 9: SISTEMAS DE PASTOS, a) Pasto mejorado en Yurimaguas, b) Pasto degradado en Yurimaguas.....	32
Figura 10: SISTEMAS DE PALMERAS EN YURIMAGUAS, a) Pijuayo-kudzu, b) Palma aceitera-kudzu y c) Palmito.....	33
Figura 11: BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICIÓN MEDIA DE LA HOJARASCA-TARAPOTO.....	34
Figura 12: BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICION MEDIA DE LA HOJARASCA-YURIMAGUAS.....	36
Figura 13: BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICION ALTA DE LA HOJARASCA-TARAPOTO.....	37
Figura 14: BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICION ALTA DE LA HOJARASCA-YURIMAGUAS.....	38
Figura 15: CARBONO APORTADO POR LA HOJARASCA TOTAL EN LAS EPOCAS HÚMEDA Y SECA-TARAPOTO.....	42
Figura 16: CARBONO TOTAL APORTADO POR LA HOJARASCA TOTAL EN LAS EPOCAS HUMEDA Y SECA-YURIMAGUAS.....	44
Figura 17: CONTRIBUCION DE CARBONO DE LA HOJARASCA DE DESCOMPOSICION MEDIA-TARAPOTO.....	45

Figura 18: CONTRIBUCIÓN DE CARBONO DE LA HOJARASCA DE DESCOMPOSICION MEDIA-YURIMAGUAS.....	46
Figura 19: CONTRIBUCIÓN DE CARBONO DE LA HOJARASCA DE DESCOMPOSICION ALTA-TARAPOTO.....	47
Figura 20: CONTRIBUCIÓN DE CARBONO DE LA HOJARASCA DE DESCOMPOSICION ALTA-YURIMAGUAS.....	48
Figura 21: PORCENTAJES RELATIVOS DE CARBONO ALMACENADO EN HOJARASCA DE DESCOMPOSICION MEDIA.....	49
Figura 22: PORCENTAJES RELATIVOS DE CARBONO ALMACENADO EN HOJARASCA DE DESCOMPOSICION ALTA.....	50



El presente trabajo de investigación forma parte del **Programa de Cooperación Belga VLIR-UNALM**, PROYECTO 1: Investigación en Sistemas Agrarios, Subproyecto 1: Sistemas Agroforestales.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación buscó determinar la cantidad la biomasa de hojarasca separada en dos estados de descomposición en dieciséis sistemas de uso de la tierra ubicados en el área de influencia de la carretera Tarapoto-Yurimaguas y a su vez determinar la contribución de carbono aportado por la hojarasca en cada uno de sus estados.

Para ello, se evaluaron seis sistemas de uso de tierra en Tarapoto (región San Martín), y diez sistemas de uso de tierra en Yurimaguas (región Loreto), tomando muestras de hojarasca bajo de la copa y entre plantas; durante la época húmeda (Marzo) y época seca (Octubre), las áreas de muestreo se dividieron en bloques ya que presentaron pendiente y se procedió a la extracción del material en cuadrantes de 1m^2 . Luego se determinó la cantidad de carbono correspondiente en el laboratorio de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas en la biomasa de hojarasca según la posición de muestreo (entre plantas y bajo copa) en todos sistemas de uso de tierra. Sin embargo sí se encontraron diferencias entre la época húmeda y seca; estas diferencias fueron más marcadas en el nivel de descomposición media, dado que el material de descomposición alta es más estable y propenso a integrarse al suelo rápidamente.

Respecto a la contribución de carbono, se presentaron diferencias significativas en la hojarasca de los dos niveles de descomposición para ambas épocas de muestreo. La contribución de carbono representó aproximadamente el 50% del total de biomasa seca producida por la hojarasca en los dieciséis sistemas de uso de tierra para los dos niveles de descomposición.

Palabras clave: biomasa, descomposición, sistemas de uso de tierra, carbono, hojarasca, época húmeda y seca.

I.INTRODUCCION

La selva es la región del Perú cuya extensión abarca 75.66 millones de hectáreas y representan el 59% del país. De esta área total en la actualidad se han deforestado el 13.2% de los bosques naturales manteniéndose el 86.8% de bosques que nos anclan a la vida. Ellos protegen nuestros suelos del impacto directo de la lluvia, evitan la erosión y degradación física, química y biológica de los suelos (Alegre & Rao, 1996; Alegre & Cassel, 1996). Además regulan el clima y aseguran el agua que necesitamos. Nos dan de comer, curan nuestras enfermedades y secuestran el carbono que es emitido como gases de efecto invernadero cuando el suelo no es usado adecuadamente (MINAM-MINAG, 2011). Por efecto de la tumba y quema de la foresta y otras prácticas de explotación del suelo, anualmente se pierden más de 150 mil ha de bosques en la Amazonía y gran parte de esta deforestación es debido a inadecuadas prácticas agrícolas, degradación de los bosques por explotación maderera y no maderable, o contaminación por exploraciones, explotaciones de hidrocarburos y recursos minerales. (Dourojeranni, 2009). Por estas razones la pérdida del bosque amazónico se incrementa año tras año. Dentro de este contexto, se incluye el incremento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, un gas de efecto invernadero cuyo efecto ha ido alterando notablemente los procesos climatológicos. Se estima que las emisiones de carbono debido a la deforestación tropical representan aproximadamente 20% de las emisiones totales generadas por las acciones humanas (Denman *et al.*, 2007).

Los bosques tropicales contribuyen en la regulación de la concentración del CO₂ en la atmósfera; y por tanto, tienen efectos en el cambio climático. Las investigaciones se han orientado a entender su papel dentro del ciclo de carbono a nivel global, y los posibles impactos causados por el cambio climático. (Honorio y Baker, 2010).

El Carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo y subsuelo, los cuales son considerados depósitos

(reservorios) de carbono. El carbono circula de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos. Cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, tiene el potencial de alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido hacia la atmósfera (producido por la fotosíntesis, respiración y emisión de gases causados por la actividad humana), lo cual influye directamente en la dinámica climática de la tierra (Arévalo et al., 2003). La importancia del suelo dentro del ciclo de carbono recae en el comportamiento de éste como un gran almacén de CO₂, y la respiración del suelo es el componente más importante del ciclo, por lo que se estima que entre 50-84% del total de CO₂ emitido a la atmósfera está constituido por la respiración del suelo, lo que representa de 75 a 80 billones de toneladas de carbono cada año. (Metcalf *et al*, 2009). Además es la fuente de materia orgánica para los procesos de reciclaje que hace que los sistemas del uso de tierra puedan tener la disponibilidad de nutrientes y a su vez esta sirva para mejorar las propiedades físicas del suelo (Alegre y Cassell, 1996).

El presente trabajo de investigación busca hallar el aporte de carbono de la hojarasca de diferentes sistemas de uso de tierra a lo largo de la carretera Tarapoto-Yurimaguas, para proponer alternativas de manejo y conservación de suelos.

1.1 JUSTIFICACIÓN

El incremento de la agricultura migratoria (tumba y quema), el uso inadecuado de prácticas de manejo dentro de los diferentes sistemas de uso de tierra conjuntamente con la deforestación, el sobrepastoreo y el aumento de las actividades humanas generadoras de los gases de efecto invernadero, han propiciado la disminución de gran número de hectáreas de bosques presentes en nuestra Amazonia los cuales se degradan cada vez, pierden fertilidad y genera el agotamiento de las reservas de carbono presentes en el suelo. Sin embargo, existen diversos métodos de manejo para mejorar los suelos y evitar su degradación y pérdida de reservas de carbono. Una de las alternativas es el aporte natural de los restos vegetales derivados de las especies asociadas en estos sistemas.

Actualmente el Perú cuenta con muy pocos estudios de cuantificación del contenido de carbono en la biomasa, especialmente en sistemas agroforestales donde al combinar cultivos o frutales con especies arbóreas incrementan sus niveles de captura de carbono mejorando además su productividad (Lapeyre, 2003). Es por eso que el trabajo se enfoca en determinar la contribución de carbono de la hojarasca. Bajo esta premisa, se busca determinar el contenido de carbono presente en la hojarasca y su contribución al suelo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar el aporte de carbono de la hojarasca de diferentes sistemas de uso de tierra para proponer alternativas de manejo y conservación de suelos.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la cantidad de biomasa en diferentes estados de descomposición de la hojarasca en los diferentes sistemas de uso de tierra.
- ✓ Determinar la cantidad de carbono contenido en los diferentes estados de descomposición de la hojarasca en los diferentes sistemas de uso de tierra.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LOS RECURSOS NATURALES

La creciente preocupación que enfrentan las naciones sobre los efectos generados por el cambio climático son cada vez más complejas y preocupantes debido al desequilibrio entre el crecimiento poblacional y la capacidad de los recursos para sustentar el aumento en la demanda de servicios ecosistémicos (IPCC, 2007).

El clima de la tierra cambia continuamente bajo la influencia de una serie de fuerzas naturales. Sin embargo, actualmente se observan significativos y rápidos cambios en los regímenes climáticos en todo el mundo que están siendo impulsados por el calentamiento global causado por las actividades humanas que emiten gases que atrapan el calor, conocidos como gases de efecto invernadero (GEI). El calentamiento del planeta se asocia con un aumento de la variabilidad del clima y, por lo tanto, determina una mayor frecuencia de fenómenos extremos como las olas de calor, las sequías y las tormentas intensas, y se asocia también con el aumento de los niveles del mar. Se prevé que el cambio climático y el aumento de la variabilidad del clima tendrán amplios impactos económicos, sociales y ambientales. Es probable que la adaptación y mitigación del cambio climático requieran ajustes importantes en las prácticas de manejo (FAO, 2013).

2.1.1 Cobertura Terrestre:

La cobertura y el uso de la tierra representan los elementos integradores de la base de recursos. Cambios en la cobertura y uso de la tierra pueden afectar sistemas globales (Ej. la atmósfera, clima y nivel del mar) u ocurrir en sitios localizados pero suficientes para tener un efecto significativo (William, Meyer & Turner, 1992).

La cobertura de la tierra es la expresión de las actividades humanas y como tal, de los cambios con alteraciones en estas. De aquí que la cobertura de la tierra es un elemento geográfico que puede formar una base de referencia para diversas aplicaciones que van desde el monitoreo forestal y pastoril, pasando por la generación de estadísticas, planificación, inversión, biodiversidad, cambios climáticos hasta el control de la desertificación.

Lal, 2003 citado por Bhatti & Tarnocai, 2009; afirma que la conversión de ecosistemas de bosques a agricultura y uso urbanos de tierra dan como resultados pérdidas de carbono el agotamiento inicial que está asociado a la remoción natural de la vegetación y la subsecuente pérdida de suelo, a través de la mineralización, erosión y lixiviación.

2.1.2 Sistemas de uso de la tierra:

El uso de tierra está caracterizado por los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla. Esta definición establece un enlace directo entre la cobertura de la tierra y las acciones del hombre en su medio ambiente. (FAO, 2002).

1. Tierras Arables y Cultivos Permanentes: Esta categoría agrupa los datos sobre las categorías Tierras Arables o de Labranza y Cultivos Permanentes.

Tierras Arables o de Labranza: Comprenden las tierras bajo cultivos temporales (las que dan dos cosechas se toman en cuenta sólo una vez), las praderas temporales para corte o pastoreo, las tierras dedicadas a huertas comerciales o huertos, y las tierras temporalmente en barbecho por menos de cinco años. No se incluye la tierra abandonada como resultado del cultivo migratorio. La categoría no busca indicar el área potencialmente cultivable.

Tierras destinadas a cultivos permanentes: Se refieren a las tierras dedicadas a cultivos que ocupan el terreno durante largos períodos y no necesitan ser replantados después de cada cosecha, como el cacao, el café y el caucho; incluyen las tierras ocupadas por arbustos destinados a la producción de flores, árboles frutales, nogales y vides, pero excluyen las tierras plantadas con árboles destinados a la producción de leña o madera.

2. Praderas y Pastos Permanentes: Se refieren a los terrenos utilizados permanentemente (cinco años o más) para forrajes herbáceos, ya sean cultivados o silvestres (praderas o tierras de pastoreo silvestres). La línea divisoria entre esta categoría y la de terrenos forestales y montes abiertos” es bastante imprecisa, especialmente en el caso de terrenos cubiertos de maleza, sabana, etc., que podrían haberse notificado en una u otra de estas dos categorías.

3. Terrenos Forestales y Montes Abiertos: Se refieren a las tierras con masas de árboles naturales o plantadas, sean productivas o no. Se incluyen los terrenos de los que se han talado los bosques, pero que serán repoblados con árboles en un futuro previsible, y se excluyen los bosques utilizados con fines recreativos. La cuestión de los terrenos cubiertos de maleza, sabana, etc. plantea el mismo problema que en la categoría praderas y pastos permanentes.

4. Otras Categorías de uso de la tierra: incluye áreas urbanizadas, industriales, recreación, patrimonio cultural, áreas protegidas, vías de transporte, etc (MINAM, 2009).

2.2 BOSQUES Y SU PAPEL EN LA CAPTURA DE CARBONO

Los bosques son considerados como los almacenes más importantes del mundo, y son responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración. Aproximadamente el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica (Tipper, 1998). Estos almacenan una gran cantidad de carbono en la vegetación como en los suelos y tienen un papel muy activo en el intercambio de CO₂ entre la biósfera y la atmósfera, por este motivo juegan un papel clave en el ciclo del carbono, elemento químico precursor del CO₂ actualmente el gas que mayor incidencia podría tener en el cambio climático (Brown et al. 2000). En 1990, la superficie forestal mundial fue estimada en 3440 millones de hectáreas, el carbono almacenado en estos bosques alcanzaba 430 Gt C (giga toneladas de carbono) en la vegetación y 1050 Gt C en los suelos (Brown et al. 2000).

Según Urquiaga (2012), existen investigaciones sobre la concentración de CO₂ en bosques lluviosos y su relación con el clima global, las cual indicaron que las actividades de explotación forestal, agropecuaria, minera y de energía fósil acompañadas de quemadas sistemáticas de estos ecosistemas han contribuido al aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y por ende al calentamiento global que viene acentuándose mucho más, provocando el llamado cambio climático (Malhi et al. 2002).

Los bosques del mundo contienen aproximadamente 349 Pg (petagramos de carbono) de carbono en la vegetación y 620 Pg de carbono en el suelo, por eso es que los cambios en estos reservorios pueden tener un impacto considerable en el balance global de carbono. Los

bosques naturales son los principales secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de la tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, pasturas bien manejadas con sistemas silvopastoriles, que pueden secuestrar en promedio noventa y cinco toneladas de carbono por hectárea en quince años, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 hectáreas manejadas con sistemas tradicionales (Arévalo *et al.*, 2003).

2.3 MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica del suelo tiene una composición muy compleja y heterogénea y está por lo general mezclada o asociada con los constituyentes minerales del suelo; además, las partículas de materia orgánica son muy sensibles a los cambios en el uso de la tierra (FAO, 2002).

Es un componente clave en los ecosistemas terrestres, tanto en su concentración como en distribución, su contenido y calidad tienen un importante efecto en los procesos que ocurren dentro de los ecosistemas. En sistemas con pérdidas de materia orgánica superiores a las ganancias, rompe el equilibrio, en el suelo y puede actuar como fuente constante de CO₂ hacia la atmósfera (Sá, 2007).

2.4 EL SUELO Y LOS RESIDUOS VEGETALES

El suelo constituye un sistema abierto, con entradas de naturaleza atmosférica y salidas que pueden ser superficiales, en forma de escurrimiento y/o erosión. Por otro lado, en la estructura misma del suelo se produce una serie de transformaciones que involucran la presencia de microorganismos, agua, raíces, intercambio de gases, descomposición y neoformaciones entre muchos otros procesos (INE-SEMARNAT, 2007).

Los residuos vegetales influyen en las propiedades físicas y químicas de los suelos, en ese sentido, respecto a la desproporción entre las pequeñas cantidades de nutrientes presentes y la exuberante vegetación de los bosques tropicales, se considera que la fuente originaria de la materia orgánica del suelo proviene de los tejidos vegetales (Rojas, 1990).

Según Maberley (1983), la caída de hojarasca, constituye la mayor entrada de nutrientes en los niveles superiores del suelo, y el retorno de estos nutrientes es 3 a 4 veces más rápido en los bosques tropicales que en los bosques templados.

Se ha demostrado que solo el 7% de la biomasa de las hojas es consumida en forma de tejidos vivos, es decir un 0.85% de la productividad primaria. Las hojas muertas y demás residuos vegetales forman un horizonte orgánico, el que se transforma de forma lenta en humus. El humus por su naturaleza coloidal mejora la retención de agua en los suelos arenosos, mientras que la incompleta fragmentación mantendrá un suelo arcilloso más abierto y tratable, mejorando así el drenaje. Además, éste puede actuar como aislante y reducir la variación diaria de temperatura (Rojas, 1990).

FAO, 2002; mencionado por Porlles, 2011 detalla que los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados, por los cambios en el uso y el manejo de la tierra.

2.5 HOJARASCA

La hojarasca es uno de los más importantes y dinámicos componentes del ciclo de nutrientes en los ecosistemas del bosque (Attiwill&Adams, 1993).

Determina la estabilidad y el funcionamiento del ecosistema, pues constituye la fuente principal de circulación de materia orgánica, energía y nutrientes entre las plantas y el suelo; su contenido depende del balance entre los procesos de acumulación y descomposición, lo cual está determinado por la especie de planta y su composición química (Sanchez, Crespo y Hernandez; 2009), así como también de los efectos estacionales (Walker, 2007).

La descomposición del material orgánico que cae de los árboles hasta el suelo es una de las principales fuentes de carbono orgánico y de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y da origen al "ciclo de nutrientes" dentro del sistema suelo-planta. La descomposición de la hojarasca está definida como un proceso a través del cual el material orgánico muerto se descompone progresivamente en pequeñas partículas hasta que su estructura ya no es

reconocida y las moléculas orgánicas son mineralizadas en sus constituyentes primarios: H₂O, CO₂ y otros componentes (Cotrufo, 2009).

Todos los factores tendrán menor o mayor influencia, dependiendo de la etapa de descomposición de la hojarasca. Así, durante la descomposición y antes de la formación de humus se distinguen tres etapas: una primera, donde la descomposición es baja perdiéndose solo las sustancias solubles, celulosas y hemicelulosas, en la que las condiciones climáticas y el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio tienen alta influencia; en una segunda etapa, conocida como de media descomposición en la cual la influencia del clima disminuye y el contenido de N tiene alto impacto sobre la descomposición de ligninas y finalmente, una tercera etapa en la que la descomposición alcanza su máximo valor, donde el contenido de ligninas y N tienen efecto negativo y el clima un efecto nulo (Berg&McClaugherty, 2003).

De igual manera, Bray y Gorham (1964), señalaron que la producción de material vegetal está relacionada a la acción fotosintética del sistema, por tanto la cantidad de hojarasca que cae al suelo y que es fácil de medir, puede ser útil como un índice para estimar someramente la productividad de un bosque, ya que la hojarasca forma parte de la producción primaria neta. Además se determinó que un tercio y tres veces la mitad o más de la energía y carbono que se incorpora al bosque cada año, se encuentra en el suelo en forma de hojarasca.

2.6 CICLO DEL CARBONO

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados: la atmósfera, la biósfera terrestre (incluyendo los sistemas de aguas frescas), los océanos y los sedimentos (incluso los combustibles fósiles). Estos depósitos son fuentes que pueden liberar el carbono, o sumideros que son los que absorben carbono de otra parte del ciclo. Los mecanismos principales del intercambio del carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Ciesla, 1996).

El CO₂ es intercambiado entre la vegetación terrestre y la atmósfera. Se producen cambios en los balances netos entre el secuestro (también conocido como almacenamiento o fijación) y la liberación a lo largo de períodos de tiempo.

El carbono puede tomar diversos rumbos. En la mayoría de los años, el efecto anual neto de la fotosíntesis, la respiración y la descomposición es un incremento relativamente pequeño del carbono almacenado. Sin embargo, las ganancias acumuladas en algunos casos se pierden en los años de inundaciones o cuando el fuego consume la materia orgánica. El carbono también puede trasladarse fuera del lugar. Los productos orgánicos (como la madera, la resina, las semillas, los tubérculos) dejan el área de producción y pasan a formar parte de los flujos del comercio, usualmente concentrados en los sistemas urbanos y sus vertederos de residuos. Sólo pequeñas cantidades de reservas de carbono pueden filtrarse fuera de la tierra e ingresar en sumideros de largo plazo en ambientes de aguas dulces u oceánicas, o contribuir a la formación de turba.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La carretera Tarapoto - Yurimaguas está ubicada en la zona Nororiental del Perú y abarca parte de las provincias de San Martín, perteneciente a la Región San Martín y Alto Amazonas en Loreto.

3.1.1 Ubicación

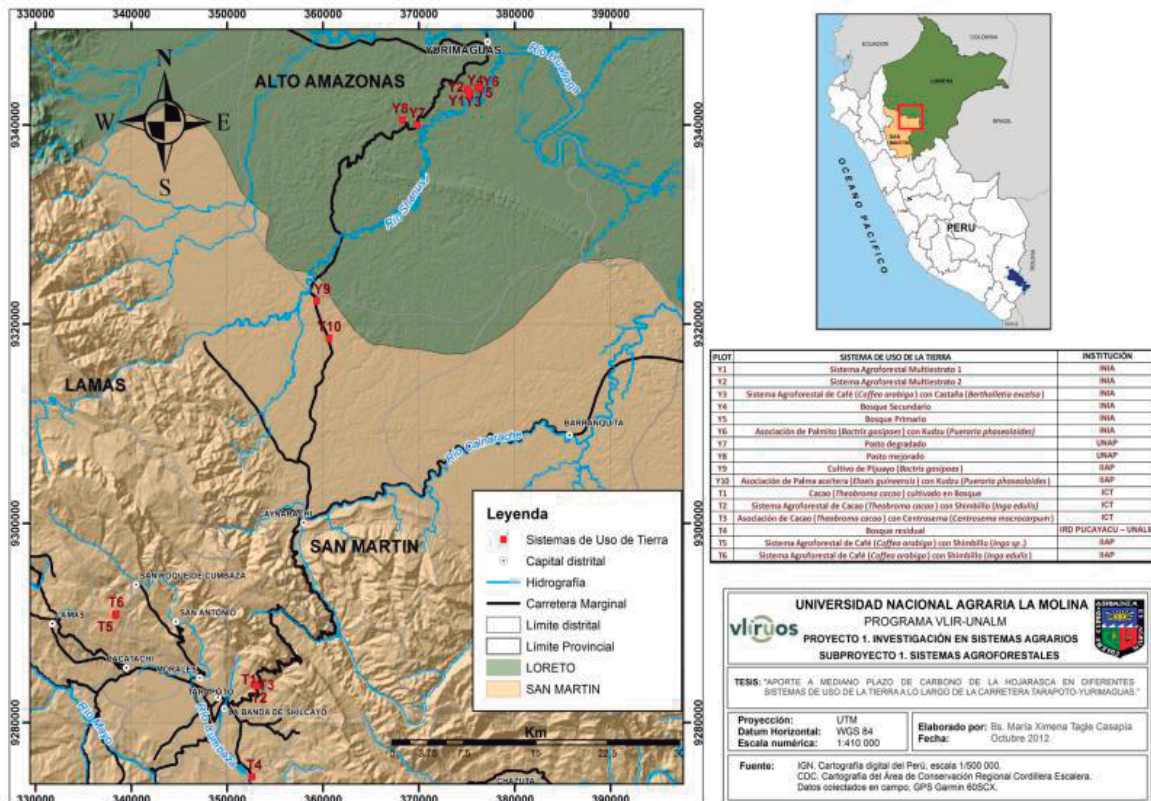


Figura 1. Mapa de Ubicación de los sistemas de uso de tierra a lo largo de la carretera Tarapoto-Yurimaguas

3.1.2 Características generales del área de estudio

3.1.2.1 Fisiografía

El paisaje tiene una topografía variable, sus altitudes oscilan entre 100 y 3800 m.s.n.m.; apreciándose terrazas altas, planicies altas disectadas, colinas bajas, colinas altas y hasta zonas montañosas del tipo I.

De acuerdo con el INGEMMET (1997) los sistemas de uso de tierra ubicados en Tarapoto pertenecen a las unidades geológicas de Formación Cushabatay (Ki-c), con cerros altos y escarpados a lo largo de la cadena Subandina entre Tarapoto y Cainarachi y en el Huallaga, en la parte sur. También constituye laderas o cuestas estructurales al sur de Cainarachi, al este de Tarapoto. La formación Yahuarango (P-y) se manifiesta a lo largo de toda la Cordillera Subandina en forma de extensas franjas continuas y alargadas. Se encuentra configurando los sistemas de colinas y montañas bajas afectadas por estructuras deformacionales, con pendiente relativamente suave.

También se encuentran los depósitos aluviales (Qpl-al) los cuales corresponden a sedimentos de origen aluvial de pie de monte. En esta zona se reportan depósitos subrecientes de tonalidades algo rojizas, las cuales se encuentran en contacto con las secuencias calcáreas del Grupo Pucará. Los sistemas de uso de tierra ubicados en Yurimaguas pertenecen a las unidades geológicas de depósitos Fluviales (Qh-fl), los cuales ocupan el lecho actual del río o áreas inmediatas, y que representan la acumulación debido a corrientes fluviales recientes. Y a la formación Ipururo (N-i), la cual corresponde a la llanura Amazónica con sedimentos fluvio-aluviales (Minpimentel, 2009).

3.1.2.2 Clima

A) Tarapoto

Predomina un clima subtropical y tropical, distinguiéndose dos estaciones: una seca de junio a setiembre y otra lluviosa de octubre a mayo. La temperatura varía entre 23°C y 27°C y la precipitación pluvial media anual es de 1 500 mm (Banco Central de Reserva del Perú, 2012). Ver Figura 2.

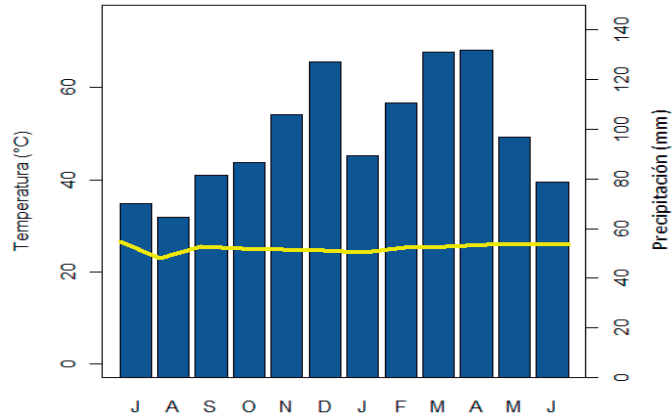


Figura 2: Climatograma –Tarapoto

Fuente: Datos meteorológicos de la Estación experimental Chocllino - ICT

B) Yurimaguas

Las temperaturas son constantemente altas y las medias anuales son superiores a 25°C. La temperatura media anual máxima es de 31 C° (88°F) y la media anual mínima de 21° C (70°F) Las épocas de vaciante (julio-noviembre) y de creciente (diciembre-julio). Precipitaciones anuales son superiores a 1 000 milímetros pero sin sobrepasar los 5 000 milímetros (MINCETUR, 2012) (Ver figura 3).

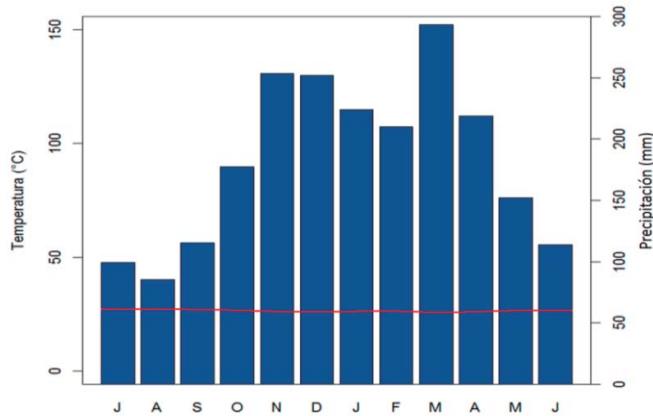


Figura 3: Climatograma –Yurimaguas

Fuente: Datos meteorológicos de la Estación Experimental Agraria “San Ramón” (INIA). Periodo (1972-2012)

3.1.2.3 Hidrografía

La carretera Tarapoto – Yurimaguas atraviesa principalmente la cuenca de Caynarachi, la cual posee dos subcuencas: la cuenca del Alto Caynarachi, que tiene como río principal al Caynarachi y abarca el 70% de la zona, caracterizándose por tener fuertes pendientes medias y poca sinuosidad. El río Caynarachi nace en la faja subandina drenando toda la zona sureste de la cordillera escalera, adoptando, en las nacientes, la forma de una red de drenaje arborescente, y una forma anastomosada al pasar al llano amazónico. El cauce del río está conformado principalmente de material rocoso. (Portillo, 2001).

La subcuenca de Yanayacu, cuenta con cabeceras de ríos de mayor desarrollo y menores pendientes, que aportan al Caynarachi a través del Yuracyacu y otros afluentes que recorren áreas aún poco intervenidas. Adicionalmente atraviesa la subcuenca del Río Cumbaza, la cual pertenece a la Cuenca del río Mayo, esta zona presenta cursos de agua más cortos, con características de torrentes en las épocas de lluvias, debido a las mayores pendientes (Plan Maestro Área de conservación regional-Cordillera Escalera, 2007).

3.1.2.4 Uso de suelos y actividades en área de estudio:

A) Llano amazónico

Las actividades desarrolladas en estas zonas son diversas. El trayecto de la carretera Tarapoto-Yurimaguas se combinan los cultivos de maíz, arroz, crianza de ganado, y algunos cultivos permanentes como el pijuayo y palma aceitera. Áreas aptas para cultivos permanentes de especies de alto valor agroindustrial o de gran demanda en el mercado regional y nacional como pijuayo palmito, palma aceitera, cacao, caña de azúcar, arazá, maracuyá, piña, plátano, etc., con cobertura de centrosema, kudzu y otras gramíneas nativas. En las áreas para pastos se deben usar especies resistentes al salvazo y al pastoreo de ganado.

Uso recomendable de técnicas agroforestales y agrosilvopastoriles en las unidades familiares, lo que implica la combinación de cultivos con árboles, con ganadería, o con ambos, ya sea en forma secuencial o simultánea en términos de tiempo y espacio.

B) Terrazas medias y altas

Alto potencial piscícola, y en ellas se puede promover la construcción de piscigranjas con fines comerciales, teniendo en consideración las condiciones favorables del mercado. Sin embargo, las actividades predominantes en esta zona son el cultivo y la crianza de ganado en pequeña escala y las limitaciones más importantes para el uso de estas tierras están relacionadas con la precaria condición socioeconómica de la población y el sistema de propiedades pequeñas que no permiten el desarrollo de actividades rentables(Gob. Regional San Martín, 2009)

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS:

3.2.1 Materiales empleados:

Todos los materiales y equipos utilizados en el proceso de investigación fueron financiados a través del convenio entre las Universidades Belgas Flamencas (VLIR) y la Universidad Nacional Agraria La Molina. A continuación el cuadro 1 detalla los materiales y equipos empleados.

Cuadro 1: Materiales y Equipos utilizados durante los muestreos (Tarapoto-Yurimaguas)

MUESTREO	1°- 2°	Cantidad	Unidad
MOVILIDAD - HOSPEDAJE – ALIMENTACIÓN			
Pasaje Aéreo Lima-Tarapoto/ Tarapoto-Lima	X	1	Pasaje
Movilidad local	X	7	Días
Hospedaje y Alimentación	X	7	Días
PERSONAL DE APOYO			
Jornales en Tarapoto (3 días)	X	3	Jornales
Jornales en Yurimaguas (4 días)	X	8	Jornales
MATERIALES Y EQUIPOS			
Bolsas blancas con asa	X	3	Cientos
Bolsas de papel N° 12	X	4	Cientos
Etiquetas	X	3	Cientos
Sacos	X	10	Unidades
Tijeras de podar	X	3	Unidades
Plástico de embalaje	X	1	Unidad
Wincha	X	3	Unidades
Balanza de campo		1	Unidades
Pilas	X	10	Unidades
Rafia	X	1	Unidad
Cuaderno de campo	X	1	Unidad
Lápiz	X	3	Unidades
Plumón	X	2	Unidades
Balanza digital		1	Unidad
SERVICIOS Y ANÁLISIS			
Servicios de secado	X	425	Unidades
Análisis foliares	X	425	Unidades

3.2.2 Descripción de las unidades de muestreo

Se muestrearon 16 sistemas de uso de tierra, 6 de ellos ubicados en Tarapoto y los diez restantes en Yurimaguas.

Cuadro 2: Características de los sistemas de uso de tierra evaluados en Tarapoto.

Parcela	Sistemas de Uso de Tierra	Socio Estratégico	Ubicación	Área (ha)	Año Instalación	Cobertura anterior	Distanciamiento de siembra/Especies	Observaciones
T1	Cacao (<i>Theobroma cacao</i>) cultivado en Bosque	ICT	Estación Experimental de Chocllino (Distrito: Banda de Shilcayo)	1.5	2004	Bosque secundario 25 años	<i>Theobroma cacao</i> (1666pl/ha) 3x2, maderables 12x12, <i>Callicophyllum spruceanum</i> (69 pl/ha), <i>Cedrelinga cateniformis</i> (69pl/ha), <i>Vitex pseudolea</i> (69pl/ha), [<i>Ficus sp.</i> , <i>Cupania latifolia</i> , <i>Quaribea cordata</i> y otros (193 pl/ha)]	presencia de <i>Commelina sp.</i>
T2	Sistema Agroforestal de Cacao (<i>Theobroma cacao</i>) con Shimbillo (<i>Inga edulis</i>)	ICT	Estación Experimental de Chocllino (Distrito: Banda de Shilcayo)	1.5	2004	Bosque secundario 25 años	<i>Theobroma cacao</i> (1666pl/ha)3x2, entre maderables 12x12 <i>Callicophyllum spruceanum</i> (69 pl/ha), <i>Cedrelinga cateniformis</i> (69pl/ha), <i>Vitex pseudolea</i> (69pl/ha), <i>Inga edulis</i> (185 pl/ha)6x6	presencia de algunas malezas
T3	Asociación de Cacao (<i>Theobroma cacao</i>) con Centrosema (<i>Centrosema macrocarpum</i>)	ICT	Estación Experimental de Chocllino (Distrito: Banda de Shilcayo)	0.1	2004	Bosque secundario 25 años	<i>Theobroma cacao</i> (1666pl/ha) 3x2, 97% con cobertura	
T4	Bosque residual	IRD PUCAYAC U – UNALM	Instituto Regional de Desarrollo (Distrito: Juan Guerra, Antes del Puente Pucayacu)	0.1	-	Bosque primario	Guazuma ulmifolia, <i>Cordia nodosa</i> , <i>Clavija sp.</i> , <i>Celtis iguanea</i> , <i>Morisonia oblongifolia</i> , <i>Albizia sp.</i> , <i>Coccoloba peruviana</i> , <i>Croton stenosepalus</i> (Endemica vulnerable)	Estuvo sometido a extracción selectiva hasta el 2009
T5	Sistema Agroforestal de Café (<i>Coffea arabica var. Catuai</i>) con Shimbillo (<i>Inga sp.</i>)	IIAP	Parcela San Agustín N°3 (Centro Poblado Chirapa, Sector Mojambal)	0.1	1999		Café (<i>Coffea arabica var. Catuai</i>) 2x1, Shimbillo (<i>Inga sp.</i>) (208pl/ha) 12x12. Al borde Pucaquiroy (<i>Sickingia williamsii</i>), Marupá (<i>Simarouba amara</i>), Paliperro (<i>Vitex pseudolea</i>)	El 20 de junio del 2010 fertilización con Guano de Islas, Roca fosfórica, Sulfato de potasio y Magnecal. Poda de formación.
T6	Sistema Agroforestal de Café (<i>Coffea arabica var. tradicional</i>) con Shimbillo (<i>Inga sp.</i>)	IIAP	Parcela San Agustín N°2 (Centro Poblado Chirapa, Sector Mojambal)	0.2	1999	Coca (<i>Erythroxylum coca</i>)	Café (<i>Coffea arabica</i>)2x1, Shimbillo (<i>Inga sp.</i>)6x6.	Sin fertilización. Poda. Hace tres años se aplicó Guano de Islas y Roca fosfórica. Mayor densidad

Elaboración: Tagle, X. Fuente: INGEMMET (1997); Entrevistas personales a los socios estratégicos.

Cuadro 3: Características de los sistemas de uso de tierra evaluados en Yurimaguas

Parcela	Sistemas de Uso de Tierra	Socio Estratégico	Ubicación	Área (ha)	Año Instalación	Cobertura anterior	Distanciamiento de siembra/Especies	Observaciones
Y1	Sistema Agroforestal Multiestrato 1	INIA	412	0.2	1985	Bosque secundario de 10 años	10x10 m con 97% de cobertura Centrosema	Suelo de textura Franca arenosa, 10% de arcilla. Árboles con mayor dap.
Y2	Sistema Agroforestal Multiestrato 2	INIA	412	0.2	1985	Bosque secundario de 10 años		Suelo de textura Franca arenosa, 4% de arcilla.
Y3	Sistema Agroforestal de Café (<i>Coffea arabica</i>) con Castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>)	INIA	412	0.2	1987	Bosque secundario.	Castaña (12 x 8 m) y café (2 x 1 m)	No hubo manejo durante varios años.
Y4	Bosque Secundario	INIA	412	0.3	1984*	Campo de arroz, yuca, platanó.	Alchonea cordata, cedrela sp., jacaranda copaia, terminalia sp., unonopsis floribunda, sloanea sp., aniba sp., inga sp., siparuna sp.	
Y5	Bosque Primario	INIA	Estación San Ramón	0.3	-	-	<i>Apuleia sp.</i> , <i>Chrysophyllum scalare</i> , <i>Duguetia sp.</i> , <i>Eschweilera sp.</i> , <i>Hymenaea sp.</i> , <i>Protium sp.</i> , <i>Simarouba amara</i> .	Más de 200 años
Y6	Pijuayo (<i>Bactris gasipaes</i>) y kudzu (<i>Pueraria phaseoloides</i>)	INIA	Estación San Ramón	0.1	2008	Pastizal	Pijuayo (<i>Bactris gasipaes</i>) 5x5 cobertura 87% Kudzu	Se abonó con 200 g de Roca fosfórica por hoyo.
Y7	Pasto degradado	UNAP	Km 17 (Carretera Yurimaguas - Tarapoto)	0.7	1969	Bosque secundario	<i>Axonopus compressus</i> (80%), <i>Andropogon bernuís</i> (10%), <i>Cyperaceae</i> (10%)	Degradación por sobrepastoreo.
Y8	Pasto mejorado	UNAP	Km 18 (Carretera Yurimaguas - Tarapoto)	0.4	2009	Bosque secundario	<i>Brachiaria (Brachiaria brizantha)</i> (75%), Centrosema (<i>Centrosema macrocarpum</i>) (11%), Kudzu (<i>Pueraria phaseoloides</i>) (14%)	Ladera más arcillosa, parte baja más arenosa.

Y9	Palmito (<i>Bactris gasipaes</i>)	IIAP	Sector Alianza a 2 Km de la planta palmas de Shanusi (Yurimagua - Tarapoto)	1.2	2006	Pastizal	Palmito (<i>Bactris gasipaes</i>) 1x2	R2 zona de mal drenaje. R3 zona más arenosa.
Y10	Asociación de Palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i>) con Kudzu (<i>Pueraria phaseoloides</i>)	IIAP	Km 78+500 (Carretera Yurimagua s-Tarapoto) a 2 Km del Pueblo Naranjal	0.4	2004	-	Palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i>) (123pl/ha) con Kudzu (<i>Pueraria phaseoloides</i>) (65%)	Campo fertilizado el 18 de mayo del 2010 con Urea, Cloruro de potasio, Magneca, Roca fosfórica. Aplicación de glifosato.

Elaboración: Tagle, X. Fuente: INGEMMET (1997); Entrevistas personales a los socios estratégicos. Realizado en EEA "San Ramón" 2013.

3.3 METODOLOGÍA

El proceso de investigación se realizó en tres fases: la primera de campo, que consistió en la recolección de muestras en los diferentes sistemas de uso de tierra; la segunda en el laboratorio y por último la fase de análisis e interpretación de datos para determinar la cantidad y contribución de carbono de la hojarasca.

3.3.1 Fase de Campo

Para esta fase se empleó el manual: Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú (Arévalo L., Alegre J., Palm Ch., 2003).

3.3.1.1 Biomasa de la hojarasca

Se cuantificó en base a la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas) en cuadrantes de 0,5m x 0,5m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1m x 1m. Se colocó la hojarasca en bolsas de plástico de acuerdo al nivel de descomposición y se registran los pesos frescos totales obtenidos en cada 0,25 m², de éstas se extraen submuestras las cuales son colocadas en bolsas de papel debidamente identificadas para luego ser registrados los pesos y proceder al secado en horno de aire caliente a 75°C hasta obtener un peso seco constante para cada submuestra.

Este peso seco se llevó a t/ha y se multiplica por los valores de porcentaje de carbono, obtenidos en el laboratorio LASPAF-UNALM.

3.3.1.2 Recolección de hojarasca:

De acuerdo al tamaño de las parcelas de investigación y la pendiente en éstas se procedió a bloquear el área. En los bloques se procedió a ubicar puntos al azar. En cada punto se colocó el cuadrante y se procedió a coleccionar el material que se encontraba debajo de la copa y entre plantas.

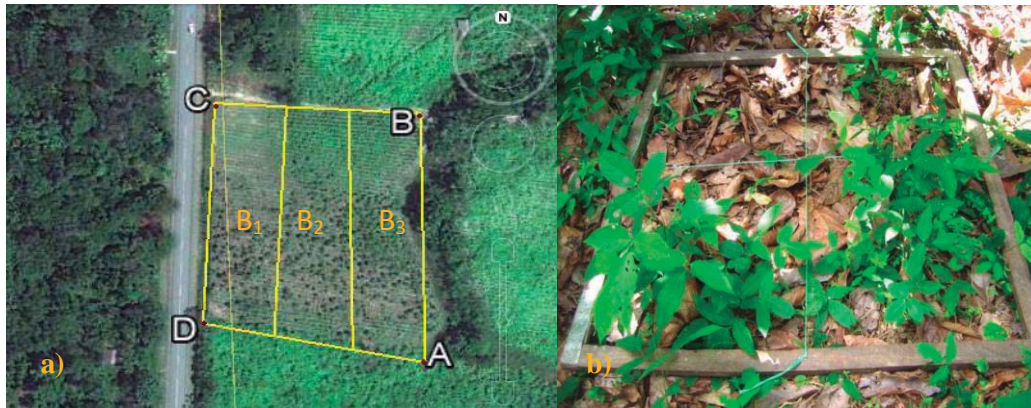


Figura 4: a) Bloqueo del área de investigación; b) Cuadrante 1m x 1m

De la colecta se pesaron las muestras del material de descomposición media y alta en bolsas de plástico y con ayuda de una balanza romana se obtuvo el peso total fresco.



Figura 5: a) Recolección de hojarasca; b) Pesado de las muestras; c) Registro de pesos

3.3.2 Fase de laboratorio

De las muestras se extrajeron submuestras de aproximadamente 300 a 400 gramos. Cada submuestra fue colocada en bolsas de papel debidamente identificadas, para luego ser llevadas a estufa y proceder al secado del material.

3.3.2.1 Secado de Hojarasca:

Todo el material colectado fue llevado al Laboratorio del IIAP (Tarapoto) y al laboratorio de la UNA (Yurimaguas) para un pre-secado y de esta manera poder evitar que el material se descomponga debido a la humedad, luego de esto se procedió al envío del material para el secado final en el LASPAF de la UNALM. En este último procedimiento se dejaron las muestras a 75 °C hasta obtener un peso constante.



Figura 6: Secado de las sub-muestras en estufa de aire recirculante

3.3.2.2 Análisis de Carbono:

El material ya seco fue molido y llevado a analizar en el LASPAF para determinar el porcentaje de carbono y otros elementos presentes en las muestras usando la metodología descrita por Bazán (2006).

3.3.3 Fase de Interpretación

Toda esta información se estructuró en una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel y luego se utilizó el software R versión 3.0.2 para el análisis estadístico de todas las variables así como para determinar el efecto de la posición en el muestreo. Durante esta fase se halló las toneladas por hectárea de la biomasa correspondiente a cada nivel de descomposición de la hojarasca, luego de ello se obtuvo el aporte de carbono por hectárea de los mismos (Ver Anexo 3).

3.3.3.1 Determinación de la materia seca:

$$\mathbf{Bs\ componente = (PS\ submuestra/PFsubmuestra) * BF\ total\ del\ componente * 10}$$

Donde:

BS= Biomasa seca del componente (hojarasca) (t/ha)

BF= Biomasa fresca del componente (hojarasca) (Kg/m²)

PS= Peso seco de la submuestra (gr)

PF= Peso fresco de la submuestra (gr)

10= factor de conversión

3.3.3.2 Determinación del Carbono Total:

$$\mathbf{C = Bhs\ x\ \% C / 100}$$

Donde:

C = Carbono en biomasa de hojarasca seca (t/ha)

Bhs = Biomasa seca de hojarasca (t/ha)

%C = Porcentaje de carbono en biomasa de hojarasca

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para el procesamiento de la información obtenida en campo, se trabajaron los dieciséis sistemas de uso de tierra siguiendo la metodología ya antes descrita en las dos zonas de muestreo (Tarapoto-Yurimaguas).

4.1 BIOMASA DE LA HOJARASCA

Para el análisis de las variables biomasa de descomposición media, alta y total se tuvieron que verificar en primer lugar el comportamiento de la posición de muestreo (debajo de copa y entre plantas) para descartar su efecto en la evaluación. Luego de realizar el análisis de varianzas para la biomasa seca de descomposición media de la hojarasca se encontró una probabilidad de 0.123 lo cual indica que no se tienen diferencias significativas para el factor posición. En el caso de biomasa seca de descomposición alta de la hojarasca y biomasa seca total de la hojarasca las probabilidades resultantes fueron de 0.736 y 0.458 respectivamente y del mismo modo se afirma la ausencia de diferencias significativas. (Ver Anexo 9). A partir de esta premisa se puede evaluar los datos sin considerar el efecto de la posición.

4.1.1 Biomasa total

Se determinó con la suma de los pesos de descomposición media y alta en toneladas por hectárea, para las épocas húmeda y seca en los sistemas evaluados.

En las figuras 7 y 8 se pueden apreciar los valores de biomasa total para cada zona de muestreo con sus respectivos sistemas de uso de tierra. Tanto para Tarapoto como para Yurimaguas, las toneladas por hectárea producidas de biomasa durante la época húmeda (Marzo) son mayores los de la época seca (Octubre). Esto coincide con lo reportado por Nuñez (2005) en donde se obtuvo mayor aporte de biomasa durante la época húmeda con 7.71t/ha y 6.25 t/ha para la época seca, pero solo para sistemas boscosos. Esto se debe a que durante el inicio de las lluvias se propicia la producción de nuevos brotes, por tanto hay caídas de hojas

antiguas que formarán parte de la hojarasca y que a su vez se han acumulado durante las épocas secas (Lodge, McDowell & McSwiney, 1994). Adicionalmente se presenta una gran diversidad de especies que permiten una mayor acumulación de hojas, frutos, flores, material herbáceo (de las coberturas) y leñoso.

En los cuadros 4 y 5 podemos observar los promedios de biomasa seca total para las zonas de Tarapoto y Yurimaguas, asimismo, se aprecian los valores máximos y mínimos durante la colecta de la hojarasca para las dos épocas de muestreo. La desviación estándar es variable en todos los sistemas y en algunos casos algo elevados a causa de la diversidad de plantas y de algunos factores como la pendiente, posición de muestreo, zona de muestreo, manejo de cultivo y antigüedad de plantación.

4.1.1.1 Tarapoto

De la figura 7 podemos observar los seis sistemas evaluados con sus valores de biomasa seca total de la hojarasca variando entre las dos épocas de muestreo, siendo la época húmeda la de mayor aporte de hojarasca. Podemos apreciar que el sistema de mayor aporte durante la época húmeda lo brinda el sistema de Cacao-Bosque con 29.82 t/ha de hojarasca mientras que el menor aporte lo da el Bosque residual con 6.46 t/ha de hojarasca. Así mismo la asociación de Cacao-Inga aportó 11.86 t/ha dato que se asemeja a los valores obtenidos por Burga y Trujillo (2010) en sistemas con asociaciones similares en San Martín los cuales aportaron entre 10.11 a 11.75 t/ha.

En la época seca el mayor aporte lo brinda el sistema de Café (var.Tradicional)-Inga con 21.09 t/ha y el de menor aporte el sistema de Bosque residual con 6.33 t/ha. Sin embargo, podemos ver que el aporte durante esta época debería de ser menor a comparación de la época húmeda para el caso del sistema de Café (var.Tradicional)-Inga y esto se debe a la densidad de plantas y al manejo del cultivo que fue prácticamente nulo.

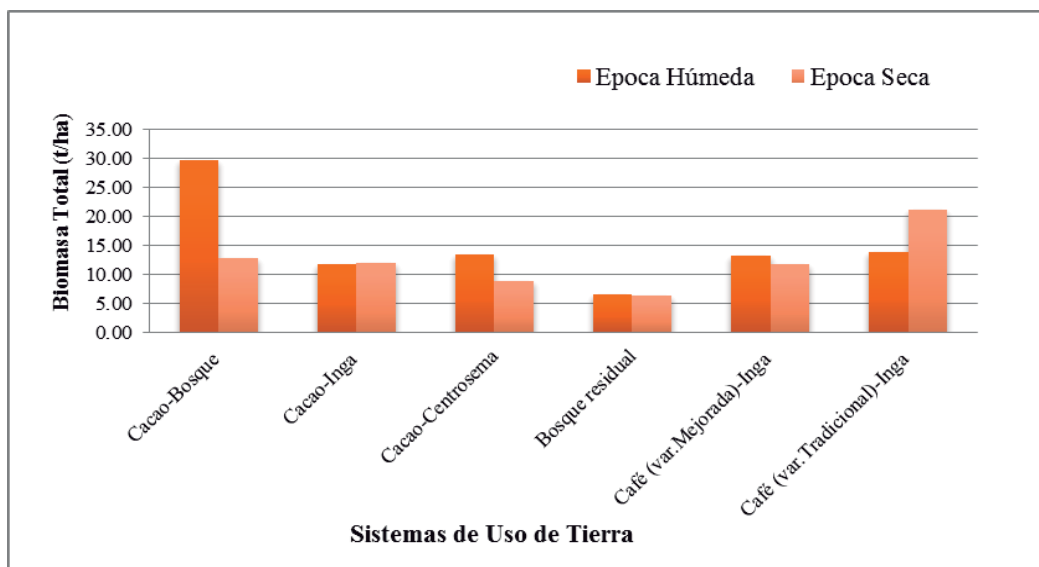


Figura 7: Biomasa seca total de la hojarasca-Tarapoto

En el cuadro 4 se puede observar los promedios de biomasa seca total de la hojarasca, el número de muestras por sistemas, el rango máximo y mínimo durante las dos épocas de muestreo donde los máximos correspondieron a Cacao-Bosque con 46.85 t/ha y el mínimo a Bosque residual con 5.20 t/ha. La desviación estándar para la mayoría se encuentra dentro del rango de aceptabilidad a excepción del primer sistema de muestreo dado que presenta 13.01 lo cual demuestra la dispersión de las muestras respecto a la media debido a factores propios del sistema. Así mismo el sistema de Bosque residual presenta una desviación de 1.07 que se considera baja tomando en cuenta la diversidad de elementos que componen la hojarasca en los bosques (Figuerola, 2001).

Cuadro 4: Promedio de biomasa seca total de muestreo en los sistemas de la zona de Tarapoto

Sistema de uso de tierra	Número de muestras	Promedio biomasa seca total de la hojarasca (t/ha)	Rango		Desviación estándar
			máximo	mínimo	
Cacao-Bosque	12	21.31	46.85	7.18	13.01
Cacao-Inga	12	11.90	20.41	6.07	4.40
Cacao-Centrosema	12	11.13	18.50	5.34	4.09
Bosque residual	6	6.39	7.98	5.20	1.07
Café (var.Mejorada)-Inga	12	12.51	19.97	6.32	5.09
Café (var.Tradicional)-Inga	12	17.44	35.06	8.03	8.24

4.1.1.2 Yurimaguas

La Figura 8 muestra los sistemas evaluados en Yurimaguas y podemos apreciar que en términos generales se sigue la tendencia de mayor aporte durante la época húmeda a comparación de la época seca. Siendo los sistemas de mayor aporte los agroforestales como el Multiestrato (10% arcilla) con 16.70 t/ha la Castaña brasileña-Café con 13.11 t/ha seguidos por los bosques secundario y primario con 11.37 t/ha y 10.97 t/ha respectivamente. El sistema de menor aporte lo brinda el de Palmito durante la época húmeda con un valor de 4.24 t/ha.

En la época seca podemos ver que el mayor aporte lo brinda el sistema de Castaña brasilera-Café mientras que el menor aporte es del sistema de pasto degradado con 0.52 t/ha.

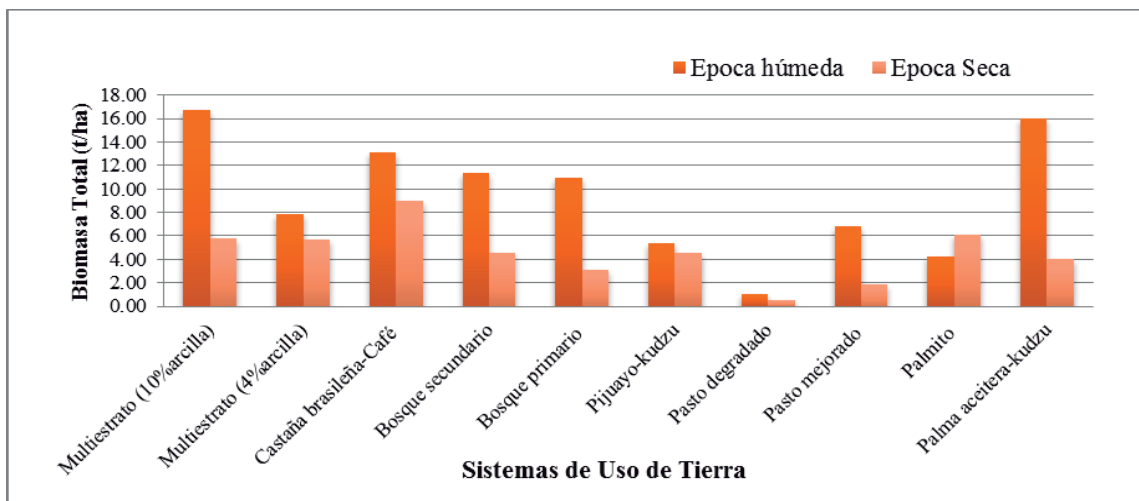


Figura 8: Biomasa seca total de la hojarasca-Yurimaguas

Sin embargo en el sistema de Palmito se puede apreciar que en la época seca hay una mayor acumulación de hojarasca que en la época húmeda. Dicha acumulación durante este periodo se debe a la poda de las primeras hojas para permitir el crecimiento de los árboles. Así mismo el palmito es un cultivo que se caracteriza porque durante su manejo y cosecha los residuos de follaje frescos quedan sobre el suelo (Soto *et al.*, 2002) adicional a esto la alta densidad de siembra del cultivo que es 5000 plantas en el área de evaluación y el relieve del mismo permitió mayor acumulación y rápida descomposición en determinados espacios.

En el cuadro N°5 se pueden apreciar los promedios de biomasa seca total producidos por la hojarasca, el número de muestras por sistemas durante todo el muestreo, así como el rango máximo y mínimo de valores obtenidos durante las dos épocas de muestreo. Dentro de este rango, el máximo lo proporcionó el sistema de Palma aceitera con 29.63 t/ha ya que dicho sistema se encuentra en asociación con kudzu (*Pueraria phaseoloides*), el mínimo lo proporcionó el sistema de Pasto degradado con 0.22 t/ha.

La desviación estándar en esta zona se mantiene dentro de lo aceptable a excepción del sistema de Palma aceitera con una desviación estándar de 10.11, lo cual indica la dispersión de los valores y esto debido a factores como el manejo cultural y del cultivo. Por otro lado, el sistema de Pasto degradado presenta la desviación estándar más baja con 0.4 dado que está abastecido solo por el nivel de mediana descomposición de la hojarasca.

Cuadro 5: Promedio biomasa total seca de muestreo en los sistemas de la zona de Yurimaguas

Sistema de uso de tierra	Número de muestras	Promedio biomasa seca total de hojarasca (t/ha)	Rango		Desviación estándar
			Máximo	Mínimo	
Multiestrato (10% arcilla)	12	11.25	19.98	4.85	6.43
Multiestrato (4% arcilla)	12	6.79	8.82	3.97	1.75
Castaña brasileña-Café	12	11.06	16.72	5.32	3.96
Bosque secundario	6	7.96	12.31	3.39	3.93
Bosque primario	6	7.03	12.45	2.75	4.49
Pijuayo-kudzu	12	4.95	7.09	2.82	1.35
Pasto degradado	6	0.75	1.47	0.22	0.4
Pasto mejorado	6	4.32	9.93	1.82	3.66
Palmito	12	5.15	10.33	1.46	2.83
Palma aceitera-kudzu	12	10.01	29.63	2.67	10.11

Finalmente para todos los sistemas existen factores que permiten la variación de hojarasca y que está determinada por las características de los sistemas:

Antigüedad de los sistemas; como en los casos de los multiestratos donde los árboles de *Cedrelinga cateniformis* presentan 28 años de antigüedad por lo cual las copas de los árboles cubren en su totalidad el área y su influencia se da tanto debajo de la copa como entre plantas. De igual forma la cobertura conformada por *Centrosema macrocarpum* tiene la misma antigüedad que el tornillo y se va reciclando año tras año, del mismo modo esta cobertura sirve como alimento para el ganado que ingresa a las parcelas, las cuales disminuyen el material vegetal.

Del mismo modo, el bosque secundario, primario y residual en los tres sistemas evaluados la principal característica fue la presencia de muchas especies arbóreas como de herbáceas y la hojarasca aportada que en los tres casos se ve afectada por el tiempo de formación de estos bosques. Para el caso del Bosque residual establecido como tal desde el 2009 las extracciones que se realizaron durante años generaron un alto impacto en el aporte de hojarasca y de la misma composición arbórea y herbácea del sistema.

El Bosque secundario por su parte fue el sistema con mejor aporte entre los tres y presenta 29 años desde su establecimiento por lo cual podemos decir que está en todos su proceso de desarrollo. El Bosque primario debió de haber aportado mayor cantidad de material pero esto no se dio así, a consecuencia de la disminución del crecimiento de plantas dado que este bosque presenta más de doscientos años. Además, el área evaluada es un área pequeña que se mantuvo cerca a la estación experimental de San Ramón como parcela piloto para estudios a largo plazo de la dinámica de las propiedades físicas y químicas de suelos, los cuales no han sido alterados edafológicamente pero la vegetación ha estado expuesta a intervenciones humanas y no muestra todo su potencial de un bosque primario típico de la Amazonía peruana (Alegre & Cassel, 1986).

Coberturas asociadas a los sistemas y pastos como: Cacao-Centrosema (*Centrosema macrocarpum*), Multiestratos-(*Centrosema macrocarpum*), Pijuayo-kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y Palma aceitera-kudzu (*Pueraria phaseoloides*). Pastos como: *Axonopus compressus*, *Andropogon bernius*, *Cyperaceae* encontrados en el sistema de pasto degradado y *Brachiaria brizantha*, *Centrosema macrocarpum*, *Pueraria phaseoloides* encontrados en el sistema de pasto mejorado. También se presentaron algunas malezas como la *Commelina communis* la cual se encontró en Cacao en bosque y Cacao con Inga.

De acuerdo a lo escrito por Sanchez et al., citado por Crespo (2001) se puede afirmar que la devolución de nutrientes al suelo y el subsiguiente reciclado, vía consumo vegetal, pueden ser controlados con la selección de especies de pastos y coberturas produzcan elevadas cantidades de hojarasca de fácil descomposición y con un manejo animal que permita una adecuada acumulación.



Figura 9: a) Pasto mejorado en Yurimaguas, b) Pasto degradado en Yurimaguas

Manejo de los sistemas; para los SAFs de Tarapoto y Yurimaguas de asociaciones como Café (var.tradicional)-Inga y Castaña brasileña-Café el manejo de los sistemas era precario o casi nulo desde el tiempo de establecimiento, sin embargo estos sistemas pueden aportar mayor cantidad de hojarasca dado que al no tener ningún tipo de manejo son más propensos a las enfermedades y ataques de insectos y así se pueden defoliar más rápido. Del mismo modo para el caso del Palmito el manejo fue mínimo.

En los cultivos de Pijuayo-kudzu (*Pueraria phaseoloides*), Palma aceitera-kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y Palmito (*Bactris gasipaes*) en donde las labores se realizan de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a la necesidad del agricultor. Para los dos primeros cultivos el plateado es una labor importante para evitar que el kudzu invada el espacio donde se desarrolla cada planta.



Figura 10: Sistemas de Palmeras en Yurimaguas, a) Pijuayo-kudzu, b) Palma aceitera-kudzu y c) Palmito

Finalmente si bien los sistemas fueron evaluados durante los meses de Marzo (época húmeda) y Octubre (época seca) es en esta época seca en donde se pudo determinar que el pico de la tasa de descomposición de la hojarasca es durante el mes de Agosto (Rice et al. 2004) y también la abundante aparición de nuevos brotes de hojas ocurre durante la época seca entre los meses de Agosto-Octubre (Hutyra, 2007). Por ello, durante las dos evaluaciones se encontró mayor aporte durante la época húmeda (Marzo-mes de colecta) a pesar de que el inicio de lluvias también promueve la descomposición y la caída de hojas por el efecto del viento. La acumulación del material puede deberse a otros factores como los ya mencionados anteriormente además de los niveles de descomposición y factores climáticos. Y el aporte fue menor durante la época seca (Octubre-mes de colecta) porque durante este tiempo los niveles de fotosíntesis disminuyen y por tanto las plantas entran en un periodo en donde usan sus reservas ante la escasez de lluvias y así también propician la caída de hojas.

4.1.2 Biomasa seca de la hojarasca de descomposición media

El material de descomposición para este nivel está determinado por aquellas hojas, flores, frutos o ramas con diámetro menor a 10 cm. que se encuentran en estado necrótico, pero que todavía se pueden reconocer.

4.1.2.1 Tarapoto

En la Figura 11 se pueden observar los valores de la biomasa seca de mediana descomposición obtenidas de la hojarasca. La época húmeda brinda un mayor aporte de hojarasca de mediana descomposición a comparación de la época seca donde se presentan aportes similares o menores.

En el caso de los sistemas agroforestales; las asociaciones de Cacao-Bosque Cacao-Inga y Cacao-Centrosema podemos apreciar que hay mayor biomasa de mediana descomposición debido a las precipitaciones y adiciones de material vegetal por efecto del manejo de las podas y otras actividades culturales. De estos el menor aporte es del sistema de Cacao con Inga con 5.99 t/ha seguido de Cacao-Centrosema con 6.95 t/ha donde el aporte en su mayor parte está dado por la cobertura y por último el mayor aporte es del sistema de Cacao-Bosque con 19.58 t/ha dado que el cultivo de cacao usa como sombra varias especies arbóreas lo cual incrementa los niveles de hojarasca.

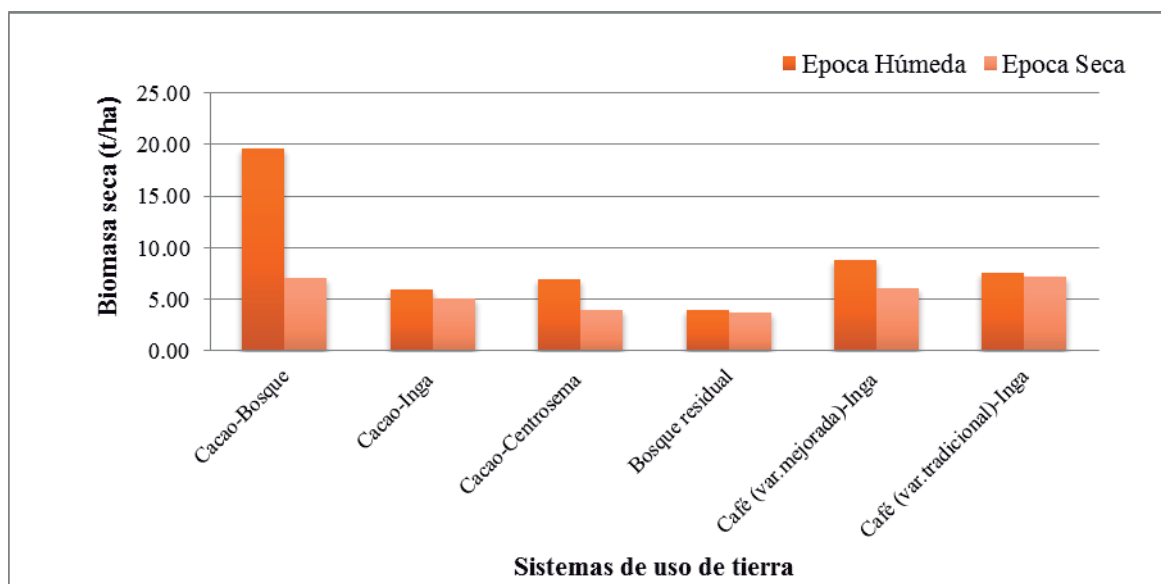


Figura 11: Biomasa seca de la hojarasca descomposición media–Tarapoto

Los sistemas asociados de Café (var. Catuai)-Inga y Café (var. tradicional)-Inga tuvieron un aporte similar pero destacándose el de var. Catuai y esto debido al manejo del cultivo y la variedad sembrada. Durante la época seca el sistema de variedad tradicional mostró un mayor aporte y esto fue debido a la densidad de plantas y su distanciamiento el cual fue para el café de 2x1 y para la Inga sp. de 6x6, lo cual no se aprecia en el sistema de variedad mejorada ya que en este el distanciamiento de Inga sp. es de 12x12 lo que disminuye el material de aporte. En el caso del sistema de Bosque residual se obtuvieron los valores más bajos durante los dos muestreos debido a la continua extracción selectiva de árboles maderables que se realizó hasta el año 2009.

4.1.2.2 Yurimaguas

En la figura 12 se pueden apreciar los valores de muestreo durante las dos épocas de muestreo, siendo los mayores aportes los brindados durante la época húmeda los cuales variaron desde 12.04 t/ha para el sistema de Multiestrato (10% arcilla) debido a que este sistema mostro un mayor crecimiento tanto en diámetro con altura cuando se le compara con el mismo sistema pero creciendo en suelos menos arcillosos (4%) que no le permitió mantener el agua durante las épocas secas y además las reservas de nutrientes fueron menores que determinaron un menor crecimiento de los árboles y menso aporte de hojarasca (Alegre et. al 2010). El que presento el menor aporte de hojarasca fue el pasto degradado con solo 1.00 t/ha. En la época seca lo aportado varió desde 6.07 t/ha para el sistema de Palmito hasta 0.52 t/ha para el sistema de pasto degradado.

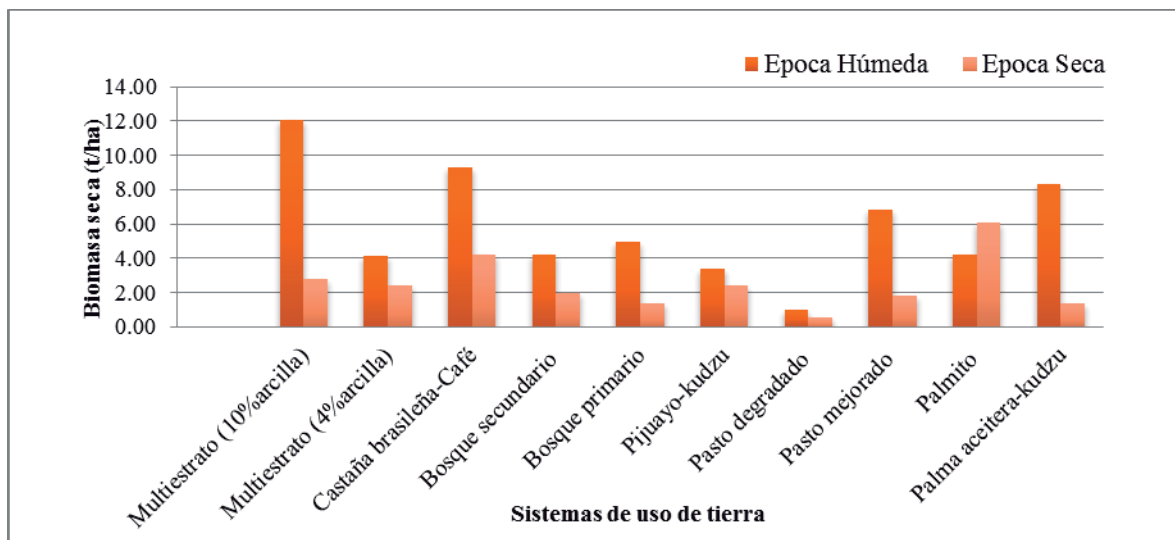


Figura 12: Biomasa seca de la hojarasca descomposición media -Yurimaguas

4.1.3 Biomasa seca de la hojarasca de descomposición alta

La hojarasca de descomposición alta se encuentra por debajo de las hojas que cayeron recientemente o de las acumuladas y que no se han descompuesto. Los fragmentos de hojarasca a este nivel de descomposición son pequeños (mayores a los 2mm de diámetro) y en algunos casos son tan pequeños que podrían confundirse con partículas del suelo, en dicho estado el material ya está próximo a ser incorporado al suelo para su posterior mineralización.

4.1.3.1 Tarapoto

Se puede apreciar en la figura 13 que los valores de biomasa de alta descomposición proporcionados por la hojarasca son mayores durante la época húmeda para los sistemas de Cacao-Bosque y Cacao-Centrosema a comparación de los demás sistemas los cuales presentan mayor aporte durante la época seca. Es importante considerar que la hojarasca está condicionada por la vegetación y estado fenológico, las altas temperaturas y bajos regímenes de precipitación afectarán la cantidad de hojarasca (Porlles, 2011) con lo cual podemos considerar que el material de alta descomposición aceleró su proceso durante la época seca y al momento del muestreo en la época húmeda los valores de colecta fueron menores para la mayoría de casos.

Sin embargo, el sistema de Café (var.tradicional)-Inga es mayor la acumulación durante la época seca debido a la presencia de Inga sp. Que es una planta con altos contenidos de lignina y de ácidos polifenólicos los cuales disminuyen su descomposición e incrementan su acumulación (Palm et. al 1990).

Tenney & Waksman, 1929, citados por Palm *et al.* (1990) describen que el material de plantas con alto contenido de lignina en su concentración se descompone lentamente que aquellos con menor concentración de lignina por lo descrito se debe de considerar que en el caso de Cacao-Bosque la hojarasca está compuesta por material arbóreo los cuales pueden presentar niveles de lignina muy variables los cuales afectan su descomposición.

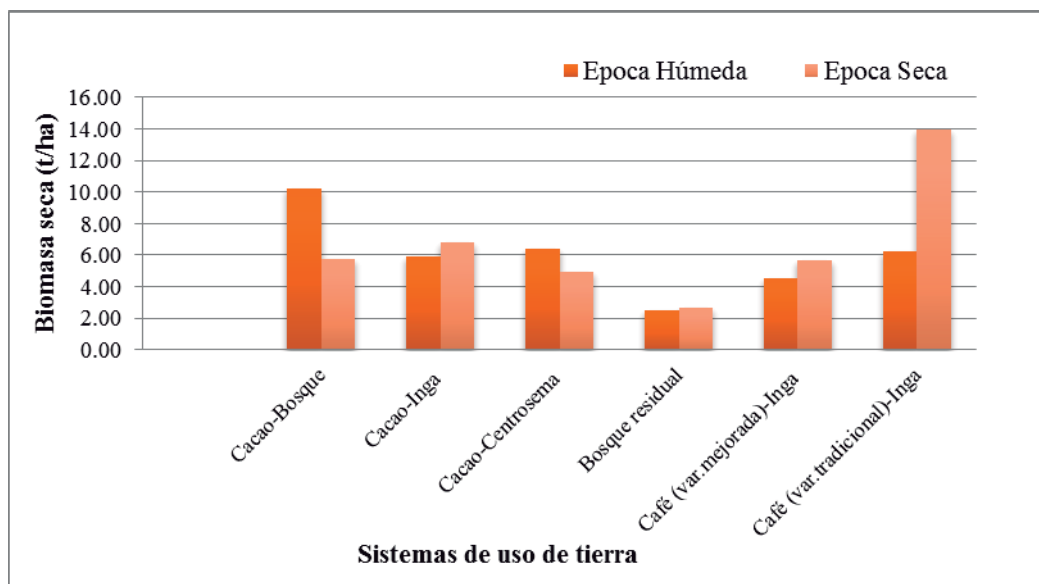


Figura 13: Biomasa seca de la hojarasca de descomposición alta -Tarapoto

El sistema de Bosque residual aportó los valores más bajos con respecto a los demás sistemas debido a la lenta descomposición de la hojarasca lo que sí incrementó valores de mediana descomposición y a la pendiente que afectó la acumulación en las zonas más bajas al momento de la caída de hojas.

4.1.3.2 Yurimaguas

En la figura 14 se observa que en la época húmeda los sistemas agroforestales de Multiestrato (10% arcilla) y Multiestrato (4% arcilla), así como los sistemas de bosques primario y secundario y el sistema de Palma aceitera-kúdzú presentaron mayores aportes a los encontrados en la época seca. Dicho muestreo sigue un patrón similar al presentado en Tarapoto a pesar de ser dos zonas con condiciones de suelo, temperatura, humedad y precipitación son distintas.

Así mismo, este aporte se debe al material acumulado durante toda la época seca. En los sistemas Multiestrato (10% arcilla), Multiestrato (4% arcilla), Palma aceitera-kudzu la acumulación también se originó por la presencia de coberturas perennes como *Centrosema macrocarpum* y *Pueraria phaseoloides* las cuales abastecieron permanentemente de hojarasca con ello una rápida disponibilidad de nutrientes y una fuerte defensa contra la erosión (Alegre *et al.*, 2001). Los sistemas de bosques secundario y primario presentaron valores de hojarasca de alta descomposición 7.17 t/ha y 5.98 t/ha respectivamente, el material acumulado formó una capa gruesa debido al constante aporte de hojarasca y además se debe de considerar que el contenido de ligninas y ácidos polifenólicos hacen más difícil el proceso de descomposición.

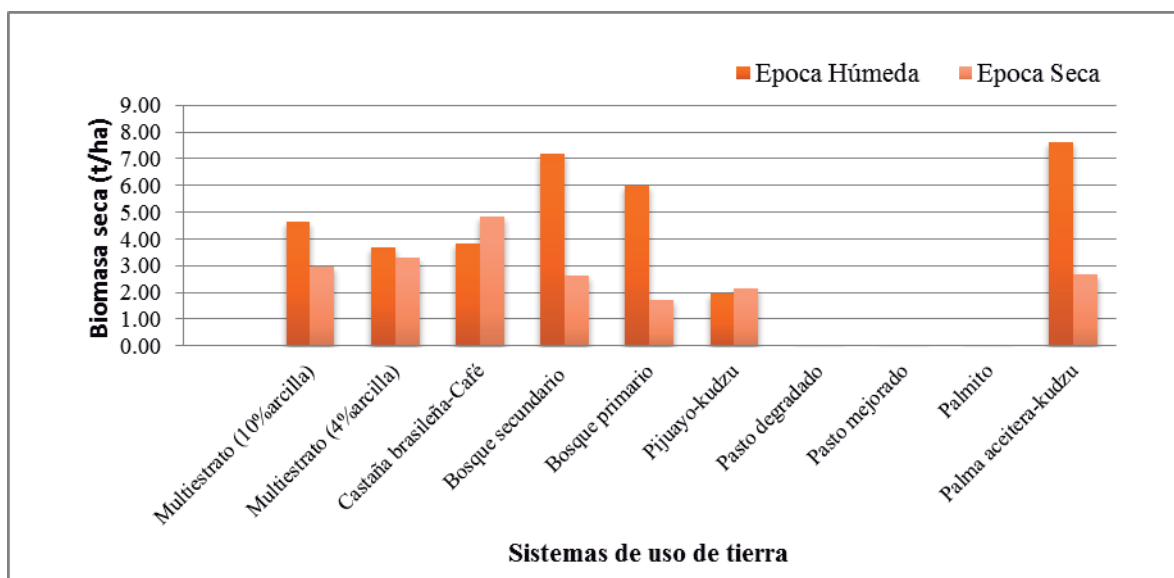


Figura 14: Biomasa seca de la hojarasca de descomposición alta-Yurimaguas

Los sistemas de Castaña brasileña-Café y Pijuayo-kudzu presentaron menores aportes durante la época húmeda. En el primer caso, esta asociación no ha tenido ningún tipo de manejo durante varios años y la acumulación de material es mayor en su etapa de mediana descomposición. Para el sistema de Pijuayo-kudzu, al presentar cobertura se considera que su aporte debería de ser mayor, pero en este estado y durante dicha época la descomposición es mucho más rápida y se llega a confundir con las partículas del suelo.

En los sistemas de pastos degradado, mejorado y el sistema de Palmito no hubo material de descomposición alta ya que en los dos primeros casos, el material estaba expuesto a las altas temperaturas que aceleran la descomposición por lo que al momento de la colecta el material es confundido con partículas de suelo. El Palmito no presentó cobertura asociada y no se tomó muestras de material de alta descomposición dado que solo había material de mediana descomposición abundante en las dos evaluaciones y al encontrarse en suelo arenoso la hojarasca de alta descomposición se lixivía rápidamente. Este mismo hecho se observó en los sistemas de pastos, por lo cual estos tres sistemas no se visualizan en la figura.

4.2 CARBONO TOTAL ALMACENADO EN LA BIOMASA SECA DE LA HOJARASCA

Se evaluó el carbono presente en la biomasa de la hojarasca colectada, para determinar su comportamiento en las dos épocas de muestreo. La capacidad de reserva de carbono orgánico dependerá de la respuesta del ecosistema a las anomalías climáticas, en particular a la transición entre estación seca y húmeda (Hutyra *et al.*, 2007). Así mismo se asume que el 45% de la biomasa vegetal seca es carbono y que existe en los bosques una acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera (Alegre *et al.*, 2001).

Al igual que en la determinación de la hojarasca; se verificó el efecto de la posición respecto al contenido de carbono proporcionado por la misma. Luego, del análisis estadístico se confirmó que el efecto de la posición no es significativo para los estados de descomposición que aportaron carbono en los sistemas de Tarapoto y Yurimaguas. (Ver Anexo 9)

Por ello, también se analizó estadísticamente el efecto de la época de muestreo (húmeda y seca) respecto a la zona de muestreo (Tarapoto-Yurimaguas) (Ver Anexo 10).

4.2.1 Carbono total

Los resultados del análisis de varianzas arrojaron que si existieron diferencias significativas entre la zona de muestreo y la época de muestreo. Con una probabilidad para época de muestreo de 0.00107** (Tarapoto) y una probabilidad para época de muestreo 2.007e-06*** (Yurimaguas).

4.2.1.1 Tarapoto

En el cuadro N°6 se pueden apreciar los promedios de carbono total aportados por la hojarasca, en número de muestras por sistema, los rangos máximo y mínimo de aporte de carbono para los seis sistemas durante las dos épocas y la desviación estándar de los mismos.

En el estudio realizado en Choclino, Tarapoto (Concha, 2007) se estima que el aporte de carbono por parte de la hojarasca es de 4.5 t/ha lo cual es similar a lo obtenido en este estudio dado que los tres sistemas agroforestales de Cacao-Inga y Cacao-Centrosema pertenecen a Choclino.

Sin embargo en el primer sistema Cacao-Bosque, se observa un mayor aporte debido a que el cultivo de Cacao se encuentra dentro de un bosque siendo el promedio aportado de 9.16 t/ha y el rango máximo de 18.93 t/ha con una desviación estándar de 5.50, además se observó la presencia de la cobertura vegetal llamada *Commelina sp.* de tipo higroscópica que incrementaba el aporte de hojarasca. Este aporte también es corroborado por estudios realizados en Costa Rica donde el promedio de aporte de la hojarasca y de ramas caídas es de 8.75 t/ha para cacaotales (Ortiz & Riascos, 2006).

Cuadro 6: Promedio de carbono total aportado en los sistemas de la zona de Tarapoto

Sistema de uso de tierra	Número de muestras	Promedio carbono total de la hojarasca (t/ha)	Rango		Desviación estándar
			máximo	mínimo	
Cacao-Bosque	12	9.16	18.93	2.76	5.50
Cacao-Inga	12	4.65	8.39	2.63	1.70
Cacao-Centrosema	12	4.50	8.31	2.31	1.67
Bosque residual	6	2.47	3.15	1.67	0.54
Café (var.Mejorada)-Inga	12	5.59	9.37	2.58	2.51
Café (var.Tradicional)-Inga	12	7.81	16.7	2.49	4.30

El Bosque residual aportó 2.47 t/ha de carbono con una desviación estándar de 0.54 siendo este sistema el de menos aporte, debido a la escasez de hojarasca de mediana como de alta descomposición. Los sistemas de Café (var.mejorada)-Inga y Café (var.tradicional)-Inga aportaron 5.59 t/ha y 7.81 t/ha respectivamente, se deduce que el sistema de café variedad tradicional aporta mayor carbono debido a la mayor presencia de hojarasca durante los muestreo y el distanciamiento de siembra de 6x6, esto corrobora lo descrito por (Ortiz & Riascos, 2006) en donde se verificó que el carbono almacenado disminuía a medida que el distanciamiento de siembra era mayor.

En la figura 15 podemos observar los valores de carbono total aportados durante la época húmeda y época seca para los sistemas de uso de tierra ubicados en Tarapoto.

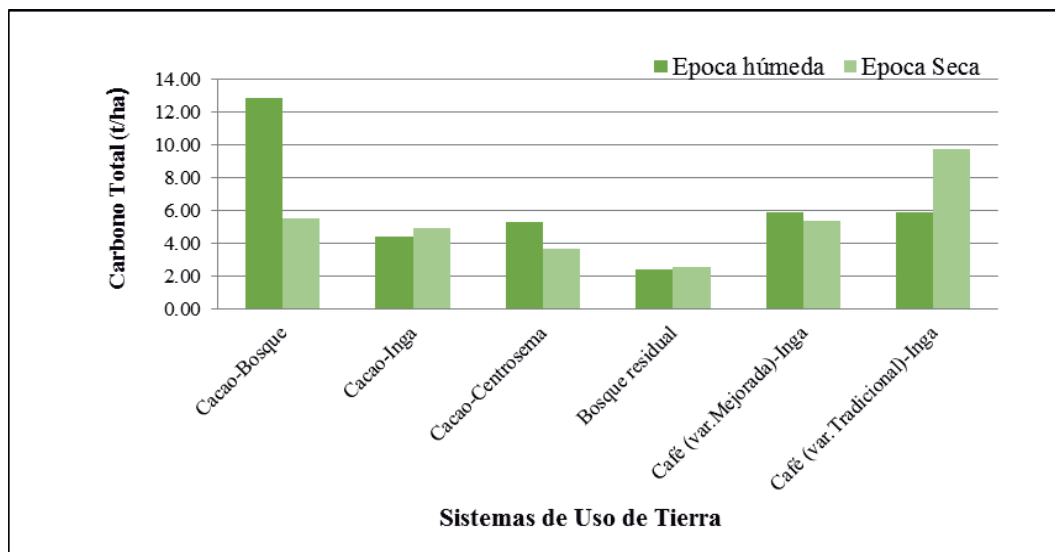


Figura 15: Carbono total aportado por la hojarasca total -Tarapoto

La contribución de carbono fue variable entre las épocas de muestreo. Los sistemas que más aportaron durante la época húmeda fueron Cacao-Bosque con 12.81 t/ha, Cacao-Centrosema con 5.32 t/ha y Café (var.mejorada)-Inga con 5.86 t/ha. Sin embargo, durante la época seca los sistemas con mayor aporte fueron los de Cacao-Inga con 4.94 t/ha el cual tiene una variación de 0.56 con respecto a la colecta realizada en el mismo sistema en la época húmeda, el sistema Bosque residual presenta un aporte de 2.57 t/ha con una diferencia entre las dos épocas de 0.19 t/ha. El sistema de Café (var.tradicional)-Inga presenta un aporte de 9.76 t/ha.

4.2.1.2 Yurimaguas

En el cuadro N°7 podemos apreciar, el promedio de carbono total aportado por los sistemas de Yurimaguas, el rango máximo y mínimo de aporte durante las dos épocas (húmeda y seca) y la desviación estándar para todo los sistemas.

El promedio de carbono más alto lo brinda el sistema de Multiestrato 1 (10% arcilla) con 5.25 t/ha y una desviación estándar de 2.89 el aporte de carbono no solo lo brinda la hojarasca del tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) sino también la producida por la cobertura centrosema (*Centrosema macrocarpum*), seguidamente del sistema de Castaña brasilera con Café con 4.41 t/ha y una desviación estándar de 1.49 lo cual indica que la dispersión de valores es cercana la media.

Cuadro N°7: Promedio de carbono total aportado en los sistemas de la zona de Yurimaguas

Sistema de uso de tierra	Número de muestras	Promedio carbono total de la hojarasca (t/ha)	Rango		Desviación estándar
			Máximo	mínimo	
Multiestrato (10% arcilla)	12	5.25	9.44	2.46	2.89
Multiestrato (4% arcilla)	12	3.32	4.37	2.1	0.73
Castaña brasileña-Café	12	4.41	7.49	1.98	1.49
Bosque secundario	6	3.68	5.5	1.55	1.66
Bosque primario	6	2.8	4.71	1.25	1.58
Pijuayo-kudzu	12	1.95	2.78	1.37	0.53
Pasto degradado	6	0.32	0.62	0.1	0.16
Pasto mejorado	6	2.04	4.91	0.81	1.77
Palmito	12	2.5	5.25	0.62	1.56
Palma aceitera-kudzu	12	2.77	5.93	0.61	1.79

Según estudios realizados en Yurimaguas por Alegre *et al.* (2010) el aporte de carbono total de la hojarasca en sistemas de bosques secundarios estuvo en el rango de 4.03 a 2.96 t/ha dentro de este rango se encuentra el valor de aporte obtenido en este estudio para el caso del sistema de bosque secundario con 3.68 t/ha. El sistema de bosque primario aportó un promedio de 2.8 t/ha de carbono lo cual también dentro de lo descrito por Alegre *et al.* (2010) donde los rangos de aporte de la hojarasca variaron entre 0.73 a 3.93 t/ha para sistemas de foresta de más de 200 años con algún nivel de extracción y sin extracción.

Los sistemas de cultivo de Palma aceitera, Palmito, Pijuayo presentaron aporte promedio de carbono total de 2.77 t/ha, 2.50 t/ha y 1.95 t/ha respectivamente.

Los sistemas de pastos degradado y mejorado presentaron valores promedio de carbono total de 0.32 t/ha y 2.04 t/ha respectivamente. Estos sistemas generalmente mantienen buenos niveles de carbono en el suelo más no en la hojarasca dado que su degradación es muy rápida por lo cual la contribución de carbono aéreo es pequeña pero aporta más rápido C al suelo.

En la figura 16 podemos observar la contribución de carbono total por época de muestreo (húmeda y seca), los mayores aportes de carbono se dieron en la época húmeda a excepción del sistema de Palmito donde se observó que hubo mayor contribución de carbono para la época seca debido a la acumulación de hojarasca.

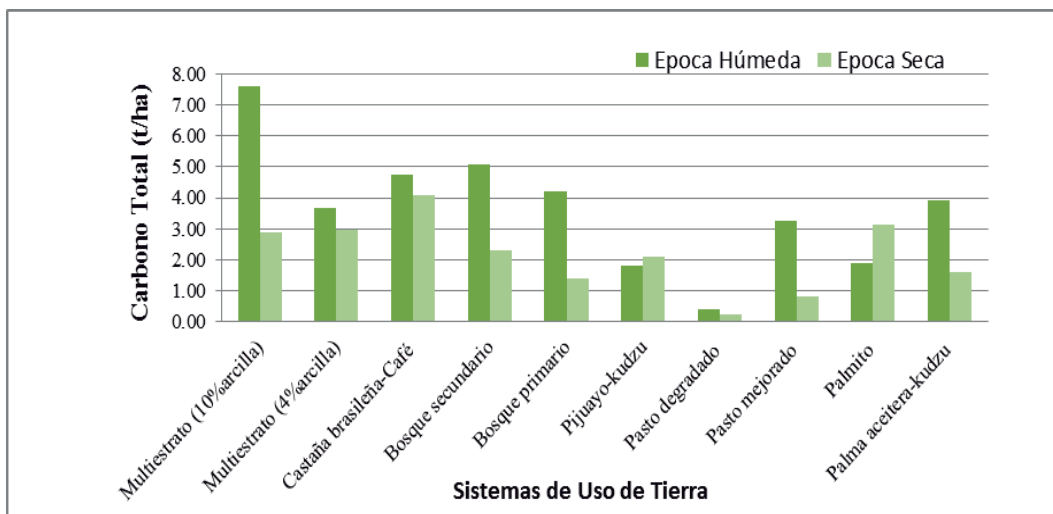


Figura 16: Carbono total aportado por la hojarasca total - Yurimaguas

Por otro lado, Lapeyre, 2003, citada por Gorbitz (2011) afirma que el nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Por ello es que se puede decir que los valores de carbono de la hojarasca obtenidos en los sistemas de Multiestrato (10%arcilla) y Multiestrato (4%arcilla) son valores importantes por la mayor dinámica y procesos de reciclaje y que se manifiestan al momento de hacer las evaluaciones correspondientes, mientras, que en sistemas como el Bosque secundario y Bosque primario los aportes de carbono de la hojarasca tienden a ser mínimos a comparación del aporte total de biomasa arbórea.

A pesar de esto, algunos autores señalan que en términos generales el contenido de carbono de la biomasa de hojarasca tiende a mantener sus valores a lo largo del año (Hairiah, 2006). Por ello, el contenido de carbono se ve afectado por la influencia del clima y del suelo en donde se da el proceso de descomposición (Kalburtji *et al.*, 1998), densidad de plantas, el manejo del

sistema, las características fenológicas de las plantas y los contenidos de ligninas y ácidos polifenólicos presentes en la hojarasca en descomposición.

4.2.2 Carbono almacenado en la biomasa seca de la hojarasca de descomposición media

4.2.2.1 Tarapoto

En la figura 17 se observan los valores de carbono aportados por la hojarasca de mediana descomposición. Los resultados durante la época húmeda confirman que en términos generales es en esta época cuanto más aportan los sistemas. Sin embargo, no existen diferencias muy marcadas de aporte para los sistemas de Café asociados con Inga que se asemejan para ambas épocas de muestreo.

Los sistemas agroforestales de Cacao presentaron mayores aportes durante la época húmeda en comparación con la seca, siendo la mayor contribución, la aportada por el sistema de Cacao-Bosque para las dos épocas de muestreo. Sin embargo, el sistema con menor aporte de carbono de la hojarasca de mediana descomposición se evidenció en el sistema de Bosque residual para las dos épocas de muestreo, debido al bajo aporte de hojarasca.

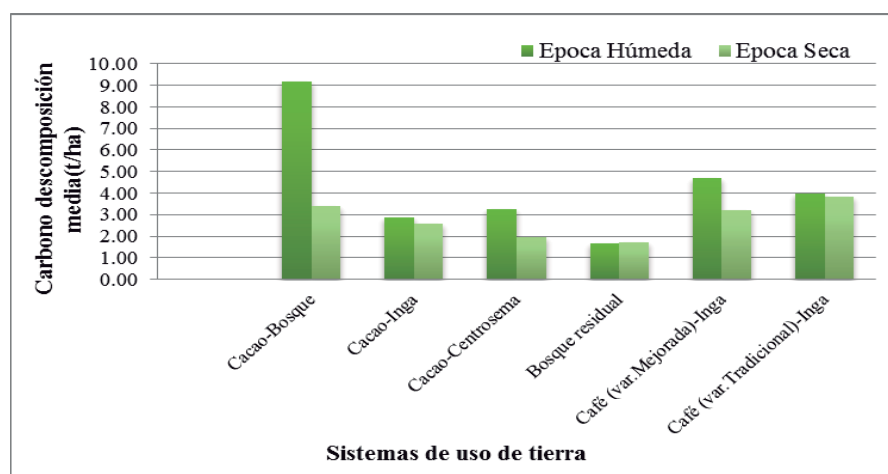


Figura 17: Contribución de carbono de la hojarasca de descomposición media -Tarapoto

4.2.2.2 Yurimaguas

En la figura 18 se observan los resultados del aporte de carbono de la hojarasca de mediana descomposición para cada sistema. Los mayores aportes se dieron durante la época húmeda para todos los sistemas con la excepción del sistema de Palmito el cual aporta 1.24 Tn/ha más de carbono durante la época seca, debido a la mayor acumulación de residuos de poda.

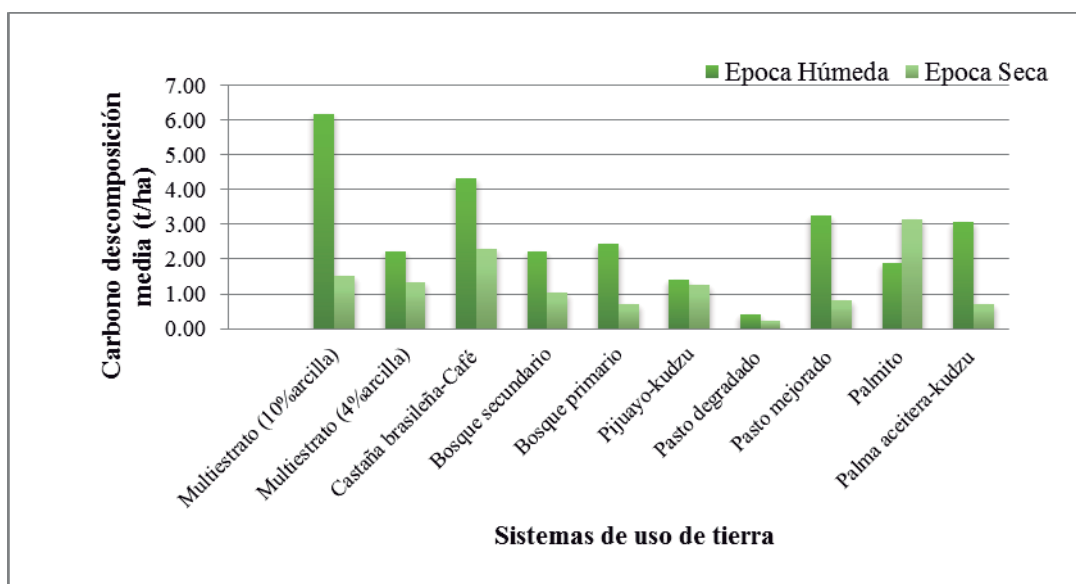


Figura 18: Contribución de carbono de la hojarasca de descomposición media -Yurimaguas

Además; los sistemas agroforestales y de asociación de cultivos con cobertura fueron los que más contribuyeron para ambas épocas de muestreo siendo el sistema de mayor aporte el sistema Multiestrato (10%arcilla) y el sistema de menor aporte fue el Pijuayo-kudzu.

En el caso de los sistemas de bosques; el mayor aporte lo proporcionó el sistema de bosque primario para los dos muestreos, a pesar de esto, las diferencias fueron de 0.20 t/ha entre ambos sistemas en la época húmeda y 0.34Tn/ha en la época seca, lo cual permite deducir la estabilidad de los sistemas sin contar con la influencia de la edad de los mismos y de otros factores.

Los sistemas de pastos degradado y mejorado aportaron los niveles más bajos, siendo el de menor aporte el sistema de pasto degradado en las dos épocas de muestreo. Mientras que el sistema de pasto mejorado aportó significativamente durante la época húmeda con 3.26 t/ha de

carbono, este resultado se obtuvo por la asociación de pastos como *Brachiaria (Brachiaria brizantha)*, *Centrosema (Centrosema macrocarpum)* y kudzu (*Pueraria phaseoloides*), así mismo; es recomendable mantener la mezcla de leguminosas que potencien la acumulación de hojarasca de calidad en los pastizales así como prácticas de manejo animal (Crespo, 2001) lo cual va a permitir un mejor aporte de carbono.

4.2.3 Carbono almacenado en la biomasa seca de la hojarasca de descomposición alta

4.2.3.1 TARAPOTO

En la figura 19 se aprecian los aportes de carbono de la hojarasca de alta descomposición. En este nivel de descomposición existe una mayor variación en el aporte de carbono entre las épocas de muestreo y no cumple en todos los casos la tendencia de mayor contribución para la época húmeda. En general los aportes son menores para todos los sistemas como el bosque residual con los aportes más bajos para las dos épocas.

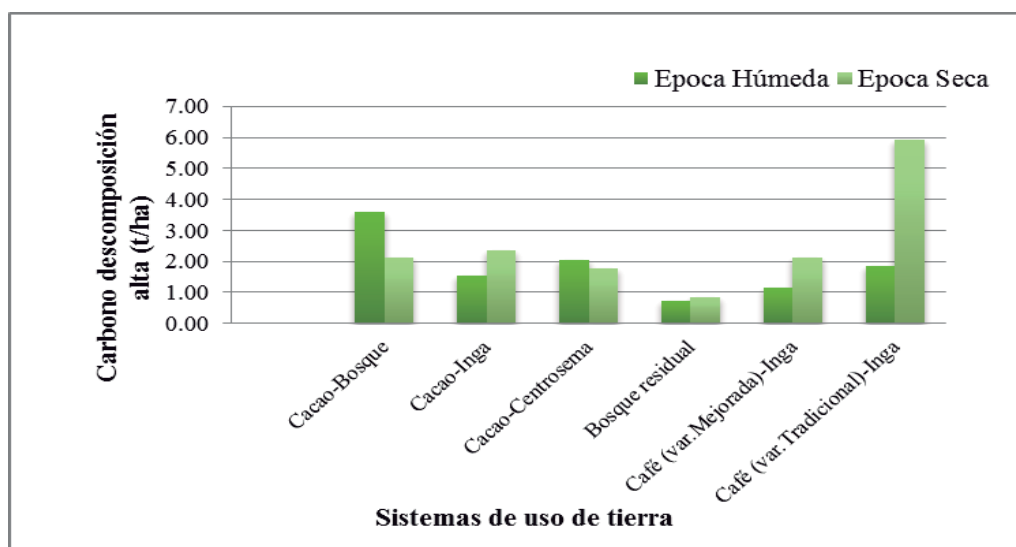


Figura 19: Contribución de carbono de la hojarasca de descomposición alta -Tarapoto

En el caso de los sistemas agroforestales de Cacao, los mayores aportes se dieron en la época húmeda para el caso de Cacao-Bosque y Cacao-Centrosema mientras que el sistema de Cacao-

Inga presentó mayor aporte de carbono en la época seca con una diferencia entre época seca y húmeda de 0.84 t/ha.

El sistema agroforestal de Café (var.mejorada)-Inga presentó un menor aporte para las épocas de muestreo a comparación del Café (var.tradicional)-Inga el cual presentó mayor presencia de carbono durante la época seca, debido a la acumulación de hojarasca.

4.2.3.2 Yurimaguas

En la figura 20 se presentan los resultados de contribución de carbono para los sistemas evaluados. Los aportes de carbono por parte de este nivel de descomposición de la hojarasca tienden a ser en términos generales los menores a pesar del aporte de hojarasca, debido a que al estar en mayor contacto con el suelo, la humedad y la temperatura incrementar la descomposición de la hojarasca y su integración al suelo propiciándose menor contenido de carbono.

En estos sistemas se observa la misma variabilidad que en los sistemas de Tarapoto, en los cuales la contribución de carbono no está determinada fuertemente por la época de muestreo.

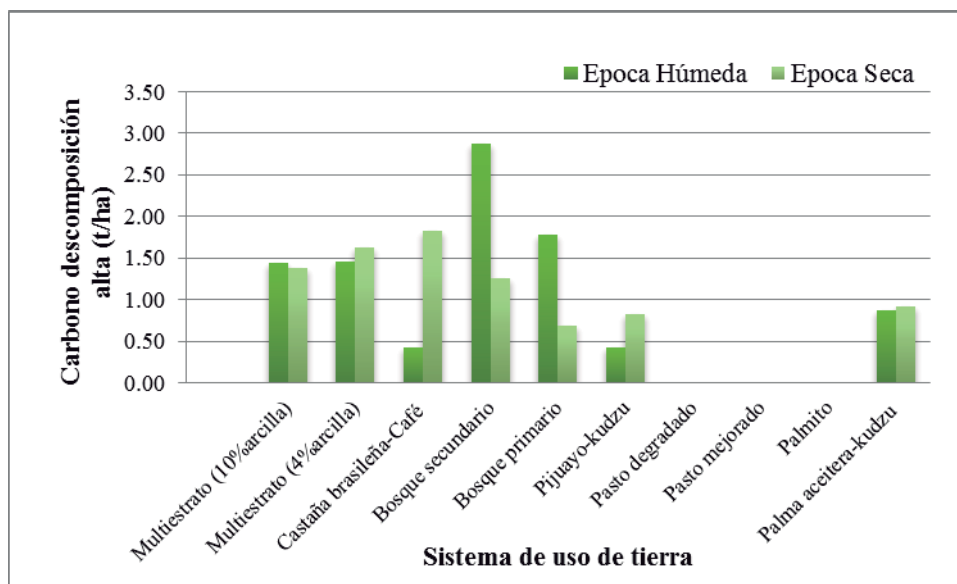


Figura 20: Contribución de carbono de la hojarasca de descomposición alta -Yurimaguas

Los sistemas que presentaron un mayor contenido de carbono en la biomasa de alta descomposición fueron los sistemas de Bosque secundario seguido del Bosque primario, los sistemas de multiestrato, Palma aceitera-kudzu, Pijuayo-kudzu y Castaña brasileña-Café para la época húmeda. Sin embargo, en la época seca existen algunas variaciones en la presencia de carbono para estos sistemas.

Los sistemas de pastos degradado, pasto mejorado y el sistema de Palmito no presentaron carbono ya que no hubo aporte de hojarasca en este nivel de descomposición por lo cual no se lo considera en la figura.

4.3 PORCENTAJE RELATIVO DE CARBONO APORTADO POR LA BIOMASA DE LA HOJARASCA

4.3.1 Descomposición media de la hojarasca

En la figura 21 se observan los porcentajes relativos de los dieciséis sistemas de uso de tierra (Tarapoto-Yurimaguas). El mayor porcentaje con 100% está representado por el sistema de Cacao-Bosque seguido de los sistemas agroforestales de Café-Inga y el Multiestrato (10% arcilla) que se redujeron en un 40%. Los porcentajes más bajos estando dados por los sistemas de Pijuayo-kudzu con una reducción del 90% y el pasto degradado que se redujo en un 97%. (Ver Anexo 8).

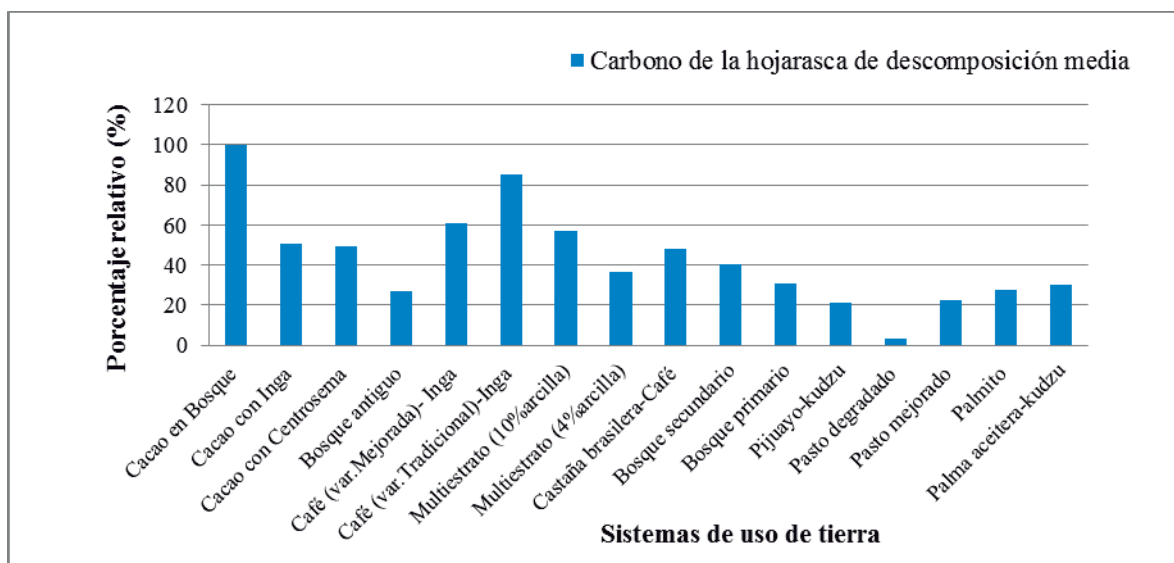


Figura 21: Porcentajes relativos de carbono almacenado en hojarasca de descomposición media

4.3.2 Descomposición alta de la hojarasca

En la figura 22 podemos observar los porcentajes relativos de los dieciséis sistemas de uso de tierra (Tarapoto-Yurimaguas). Como se observa el sistema con el mayor porcentaje de carbono almacenado fue el de Café (var.tradicional)-Inga, seguido de los sistemas de Cacao-Bosque con una reducción del 30% y el Bosque secundario que se redujo un 55% hasta los sistemas de pastos y Palmito con ningún aporte ya que se redujeron el 100%. (Ver Anexo 8).

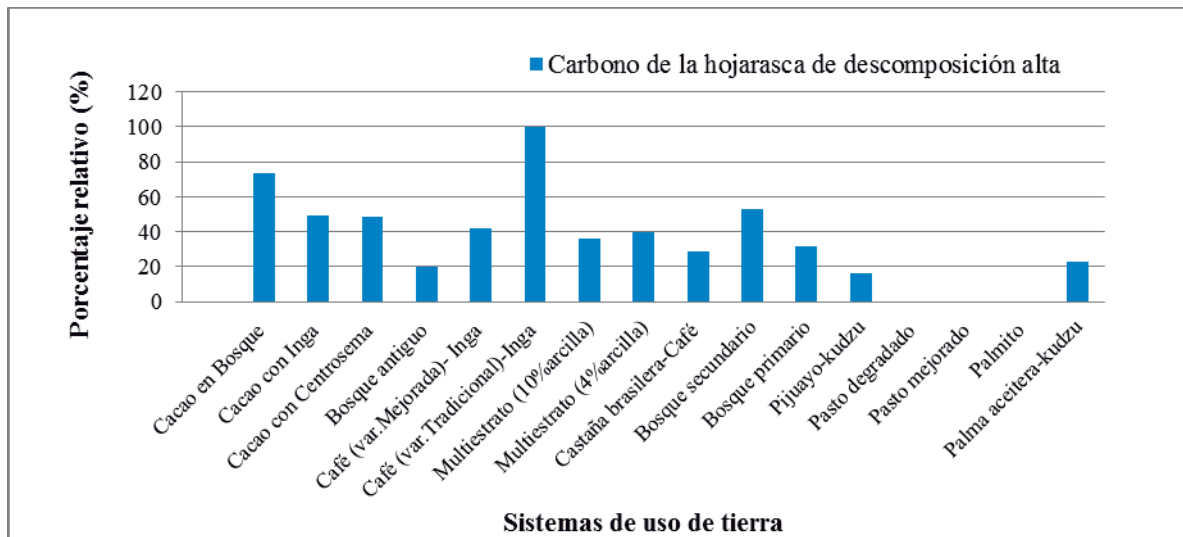


Figura 22: Porcentajes relativos de carbono almacenado en hojarasca de descomposición alta

En términos generales, los sistemas agroforestales y asociación de cultivos con coberturas presentan un mayor porcentaje de carbono en la hojarasca de mediana descomposición. Los pastos degradado y mejorado así como el sistema de Palmito presentaron sólo la contribución de carbono de la hojarasca de mediana descomposición. Sin embargo, en sistemas como el Bosque secundario existió mayor porcentaje de carbono aportado por la hojarasca de alta descomposición a diferencia de los sistemas de Bosque residual y Bosque primario.

Por tanto, es importante tomar en cuenta que el concepto de calidad de hojarasca está vinculado a su degradabilidad, la calidad de la hojarasca está definida por una rápida tasa de descomposición (Cotrufo, 2010) permitiendo de esta manera una mejor contribución de carbono y reciclaje hacia el suelo.

4.4 RELACIÓN C/N PARA LOS SISTEMAS DE USO DE TIERRA

Algunos aspectos de la calidad de la hojarasca están relacionados con la tasa de descomposición y particularmente con la mineralización del N. Estos son la concentración de N (relación C/N), ligninas y polifenoles (Hairiah, 2006).

Las materias orgánicas con bajas relaciones C/N (<25) y bajas concentraciones de ligninas (<15%) y ácidos polifenólicos (<3%) son considerados de buena calidad ya que el material se descompone rápidamente (Palm & Sánchez, 1991). Se determinó la relación de C/N para tener una idea de cómo se va descomponiendo la hojarasca de cada sistema, pues este índice da una primera idea de la tasa de descomposición y su facilidad en el reciclaje de nutriente (Palm & Sánchez, 1990).

4.4.1 Tarapoto

Como podemos observar en el cuadro N°8 existe una mayor relación de C/N para la hojarasca de descomposición media ya que durante el proceso de degradación en este nivel se genera un alto impacto en el contenido de nitrógeno y de ligninas, mientras que para la hojarasca de descomposición alta el contenido de ligninas y N tienen un efecto negativo (Berg & Mc Clagherty, 2003) dado que la descomposición está llegando a sus formas más sencillas y estables, es en esta etapa donde la descomposición comienza a disminuir.

Cuadro N °8: Relación C/N de la hojarasca de descomposición media y alta - Tarapoto

Sistemas de uso de tierra	Relación C/N	
	Hojarasca de descomposición media	Hojarasca de descomposición alta
Cacao-Bosque	32.10	26.95
Cacao-Inga	26.70	19.30
Cacao-Centrosema	29.23	18.14
Bosque residual	27.28	26.04
Café(var.mejorada)-Inga	30.44	24.47
Café(var.tradicional)-Inga	29.94	20.97

Los sistemas agroforestales de cacao y café presentan valores altos de relación C/N para la hojarasca de mediana descomposición. De la misma manera, el bosque residual junto con el sistema de cacao-bosque y café (var.mejorada)-inga presentaron valores altos de relación C/N para la hojarasca de alta descomposición debido a la presencia de ligninas y ácidos polifenólicos. Sin embargo, el bosque residual presenta una menor diferencia entre la relación de C/N de mediana con la de alta descomposición.

4.4.2 Yurimaguas

En el cuadro N°9 se muestran los resultados de la relación C/N para la hojarasca de mediana y alta descomposición. Siendo los mayores valores de relación C/N los obtenidos en los sistemas de pastos ya que el aporte solo está dado por la hojarasca de mediana descomposición y las descomposiciones de algunos de los pastos asociados son mucho más lentas en este nivel.

Los sistemas de palmito y castaña brasileña-Café presentan relaciones de 40.53 y 40.32 respectivamente, con lo cual podemos verificar que la descomposición fue más lenta; sin embargo la Castaña brasileña-Café varió su relación C/N para la hojarasca de alta descomposición con lo cual podemos determinar que los compuestos presentes en este nivel tienen cierta inestabilidad que permiten su descomposición hasta llegar a formas más estables como se pueden apreciar en los demás sistemas que persiguen la misma tendencia.

Cuadro N°9: Relación C/N de la hojarasca de descomposición media y alta en Yurimaguas

Sistemas de uso de tierra	Relación C/N	
	Hojarasca de descomposición media	Hojarasca de descomposición alta
Multiestrato (10% arcilla)	28.25	21.63
Multiestrato (4% arcilla)	24.83	19.86
Castaña brasileña-Café	40.32	24.87
Bosque secundario	24.25	20.72
Bosque primario	28.27	24.40
Pijuayo-kudzu	23.49	22.23
Pasto degradado	51.73	0.00
Pasto mejorado	63.11	0.00
Palmito	40.53	0.00
Palma aceitera-kudzu	21.81	17.80

Por lo tanto, se observa que conforme se va descomponiendo la hojarasca, los valores de C/N tienden a disminuir, encontrándose menores valores en la hojarasca de alta descomposición (Palm & Sanchez, 1991).

V. CONCLUSIONES

- El carbono en la mayoría de estudios referenciados y corroborados por este estudio el carbono representó casi el 50% de la cantidad de biomasa seca producida por la hojarasca en sus niveles de descomposición.
- No existen parámetros estrictos que definan con exactitud la caída de las hojas para la formación de la hojarasca, en muchos casos los factores climáticos, fenológicos y de composición química de las plantas así como el suelo en los que están establecidos determinarán la mayor o menor acumulación y a su vez la descomposición de la hojarasca.
- La composición química como la relación C/N de los tejidos de las plantas juegan un papel importante ya que permitirán una rápida o lenta descomposición y por tanto, el aporte de carbono al suelo y en los sistema de Tarapoto estas relaciones fluctuaron de 10 a 32 y para Yurimaguas de 20-63 tanto para los materiales de lenta o mediana descomposición.
- Los sistemas de cacao y café con especies forestales maderables y cultivos con coberturas presentaron una constante presencia de hojarasca funcionando como principal agente de reciclaje, contribución de carbono y conservación de suelo.
- los sistemas boscosos con menor intervención de actividad humana permiten un mejor aporte de hojarasca y contribución de carbono.
- Sistemas de pastos mejorados y con una adecuada asociación de los mismos permiten un mejor aporte de hojarasca y una rápida descomposición. Por otro lado los pastos ubicados en zonas con alta pendiente, presencia constante de carga animal y una asociación inadecuada de pastos solo genera mayor compactación de suelo y el aporte de hojarasca se pierde rápidamente.

- Los sistemas de cultivos como el Palmito, la Palma aceitera-kudzu y Pijuayo-kudzu, presentaron un aporte variable ya que en algunos casos el manejo del cultivo requería el corte de la cobertura (kudzu) y en el caso del Palmito si bien hubo aporte de hojarasca de mediana descomposición la presencia de arena en el suelo y el mal drenaje en determinadas áreas generó pérdida del material de alta descomposición.

VI. RECOMENDACIONES

- Es importante tomar en cuenta que muchas de las labores realizadas en las parcelas de los agricultores se dan dependiendo de las necesidades de los mismos así que si queremos tomar datos más precisos de todo el aporte de hojarasca es necesario controlar estos efectos y documentarlo o aislar las parcelas contra el efecto de animales.
- Así mismo, es necesario hacer estudios más detallados sobre tasa de descomposición en cada uno de estos sistemas usando la metodología de las con bolsas de descomposición en forma mensual y así ver el aporte de las diferentes hojarascas en el reciclaje de nutrientes y el aporte de materia orgánica al suelo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alegre J. 2011. Manual de manejo de suelos con Agroforestería. Proyecto VLIR-UNALM. Universidad Nacional Agraria La Molina. 20 pp.
- Alegre, J. 2010. ‘‘Degradación de los suelos amazónicos y su recuperación con sistemas agroforestales para mitigar los efectos de cambio climático’’. Arequipa-Perú. Presentado en la Cumbre de Países Amazónicos: Por la tierra y la Vida. 14p.
- Alegre J., Arévalo L., Ricse A., Callo-Concha D., Palm C. 2001. Carbon sequestration for different land use systems in the humid tropics of Peru. Annual Meeting of American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Charlotte North Carolina October 21-25.
- Alegre, J.C., Cassel, D.K., 1996. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash-and-burn. *Agric.Ecosyst. Environ.* 58, 39–48.
- Alegre, J., Rao, M. 1996. Soil Conservation by contour hedgerows of *Inga edulis* on slopes in the humid tropics of Peru. *Agriculture Ecosystem and Environment.* 57:17-25.
- Alegre, J., Cassel, D. 1986. Effect of Land-Clearing Methods and Postclearing Management on Aggregate Stability and Organic Carbon Content of a Soil in the Humid Tropics. *Soil Science* 142:289-295.
- Arevalo L.J, Alegre & Palm, C. 2003. Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. 30 pp.
- Attiwill, P. & Adams, M. 1993. Nutrient cycling in forests. *New Phytologist*, 124, 561-582.
- Banco Central de Reserva del Perú. 2012. Síntesis de Actividad Económica de San Martín y Loreto. Departamento de Estudios Económicos. Perú. 12 pp.

- Bazán, R. 1996. Manual para el análisis químico de Suelos, Plantas y Agua. UNALM. Perú.
- Berg, B. & McClaugherty, C. 2003. Plant litter. Decomposition, humus formation, carbon sequestration. Alemania. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 286 pp.
- Bhatti, J., Tarnocai, C. 2009. Influence of Climate and land use change on carbon in agriculture forest, and peatland ecosystems across Canada. 49-70.
- Bray, R., Gorham, E. 1964. Litter production in forest of the world. *Advances in Ecological Research*, 2: 101-152.
- Brown, S., Burnham, M., Delaney, M., Vaca, R., Powell, M., Moreno, A. 2000. Issues and challenges for forest-based carbon-offset projects: a case study of the Noel Kempff Climate Action Project in Bolivia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change*. 5:99-121.
- Burga, G. & Trujillo, A. 2010. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao*, en San Martín. Tesis (Ingeniero Forestal, Ingeniero Agrónomo). Lima-Perú.
- Ciesla, W. 1996. *Climate Change, forest and forest management: an overview*. Roma, Forest Resources division, FAO Forestry Paper, N° 126. 147p.
- Concha, J., Alegre, J., Pocomucha, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín. *Ecología Aplicada*, 6: 1-2. Perú.
- Cotrufo, M., 2009. Litter decomposition: concepts, methods and future perspectives. *Soil Carbon Dynamics: An Integrated Methodology*. Cambridge University Press. 77-85.

- Crespo, G., Ortíz, J. 2001. Tasa de acumulación, descomposición y NPK liberados por la hojarasca de leguminosas perennes. Instituto de Ciencia Animal. Revista Cubana de Ciencia Aplicada. Tomo 35. 39-45.
- Denman, K. et al. 2007. Couplings between Changes in the Climate System and Biogeochemistry in IPCC, Climate Change. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch7.html.
- Dourojeranni, M., Barandarián, A., Dourojeranni, D. 2009. Amazonia peruana en 2021. Lima 32-34, 51-53, 76-78.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2002. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Captura de carbono en los suelos para el mejor manejo de la tierra. 83pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2013. Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. 109pp.
- Figueroa, C., 2001. Comparación de la concentración de Carbono en diferentes tipos de vegetación en la Sierra Norte de Oaxaca. Tesis (Ingeniero en Restauración Forestal). Chapingo-México.
- Gobierno Regional de San Martín. 2009. Las potencialidades y limitaciones del departamento de San Martín. Zonificación ecológica y económica como base para el ordenamiento territorial. 208, 125-131.
- Gobierno Regional de San Martín. 2007. Plan Maestro Área de conservación regional-Cordillera Escalera. 82pp.
- Gorbitz, G. 2011. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de *Callycophyllum spruceanum* en el valle del Aguaytía. Perú.

- Hairiah, K., Sulistyani, H., Suprayogo, D., Purnomosidhi, W., Widodo, R., Noordwijk, M. 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. En *Forest Ecology and Management* 224: 45-57.
- Honorio, E., Baker, T. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana/Universidad de Leeds. Lima, 54pp.
- Hutyra, L., Munger, W., Saleska, S., Gottlieb, E., Daube, B., Dunn, A., Amaral, D., Camargo, P., Wofsy, E. 2007. Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical research*, vol. 112.
- INEI. 2009. Migraciones Internas 1993-2007. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales. Perú. 166 pp.
- INE-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología). 2007. La conservación de suelos, un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* N°83. México. 5-71.
- INGEMMET. 1997. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Cartas Geológicas de la Región San Martín y Loreto.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC WGC1AR4 Final Report.* 996pp.
- Kalburtji, K.L., Mamolos, A.P. & Kostopoulou, S. 1997. Nutrient release from decomposing *Lotus corniculatus* residues in relation to soil pH and nitrogen levels. *Agric.Ecosys. and Environ.* 65-107.
- Lapeyre, T. 2003. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín. Tesis Post-grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.

- Lodge, D., McDowell, W. & McSwiney, C., 1994. The importance of nutrient pulses in tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*, 9, 384-387.
- Maberley, D. 1983. *Tropical rain forest ecology*. Ed. Blackie-USA. 156pp.
- Malhi, Y. & J. Grace. 2000. Tropical forest and atmospheric carbon dioxide. *Trends in ecology and evolution*. 332-337.
- Metcalfe, D., Phillips, O., Baker, T., Brienen, R., Kuo- Jung C., Silva J. 2009. *Measuring Tropical Forest Carbon Allocation and Cycling*. RAINFOR Field Manual. 70 pp.
- MINAM. 2011. *El Perú de los bosques*. Perú. 140 pp.
- MINAM. 2009. Sistema Nacional de Información Ambiental. <http://sinia.minam.gob.pe/index.php?accion=verIndicador&idElementoInformacion=946&idformula=21>
- MINCETUR. 2012. Región Loreto. Datos generales de la región. <http://www.mincetur.gob.pe/newweb/portals/0/LORETO.pdf>
- Minpimentel. 2009. *Resumen Ejecutivo del EIA del Proyecto Línea de Interconexión Eléctrica Tarapoto-Yurimaguas*. Perú. 30 pp.
- Nuñez, F. 2005. *Estimación de la producción estacional de hojarasca en el bosque ribereño de Oxapampa-Perú*. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Ortiz, A.; Riascos, L. 2006. *Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal Cacao Theobroma cacao y laurel Cordia alliodora en la reserva indígena de talamanca*. Costa Rica. 111 pp.
- Palm, C. & Sanchez P. 1990. Decomposition and Nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Estados Unidos*. En *BIOTROPICA* 22(4): 330-338.

- Palm, C., Sanchez, P. 1991. Nitrogen release from some tropical legumes as affected by lignin and polyphenol contents. *Soil Biol. Biochem.* 23, 83-88.
- Porlles, M., 2011. Flujo y Stock de Carbono de suelos en tres tipos de bosques de la Amazonía Peruana. Jenaro Herrera-Loreto. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Portillo, A. 2001. Valoración Económica Total del Bosque de Protección Cordillera Escalera- San Martín. IRG. Perú. Pp. 237-284.
- Rice, A., *et al.* 2004. Carbon balance and vegetation dynamics in and old-growth Amazonian forest. *Ecol. Appl.*, 14(4), 55-71.
- Rojas, H. 1990. Análisis de residuos vegetales incrementados al suelo por *Alnus jorullensis* en el distrito de Mañaro-Jauja. Tesis (Pre-grado). Huancayo-Perú.
- Sá, J. 2007. Compartimentos de la Materia Orgánica y Balance de Carbono en Experimentos sobre sistemas de manejo de suelos de larga duración.
- Sánchez, S., Crespo, G; Hernández, M. 2009. Descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. Influencia de su composición química. Cuba. En Pastos y Forrajes, Vol. 32, No. 3.
- Soto, G.; Luna, P.; Waggoner, M.; Smyth, T. & Alvarado, A. 2002. Descomposición de residuos de cosecha y liberación de nutrientes en plantaciones de palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26(2): 43-51.
- Tenney, F., Waksman, S. 1929. Composition of natural organic materials and their decomposition: IV. The nature and rapidity of decomposition of the various organic complexes in different plant material, under aerobic conditions. *Soil Sci.* 28: 55-54.
- Tipper, R. 1998. Update on carbon offsets. *Tropical forest updates.* 8(1):2-5.

- Urquiaga, E. Secuestro de Carbono por *Polylepis* sp. (Queuña) en bosques altoandinos en una microcuenca de Urubamba-Cusco. Tesis (Post-grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Walker, S. *et al.* 2007. Procedimientos Operativos Estándar para la Medición de Carbono Terrestre. Winrock International. Estados Unidos. 52pp.
- William, B., Meyer & B.L. Turner. 1992. Human population growth and global land-use/ cover change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol 23. 39-61pp.

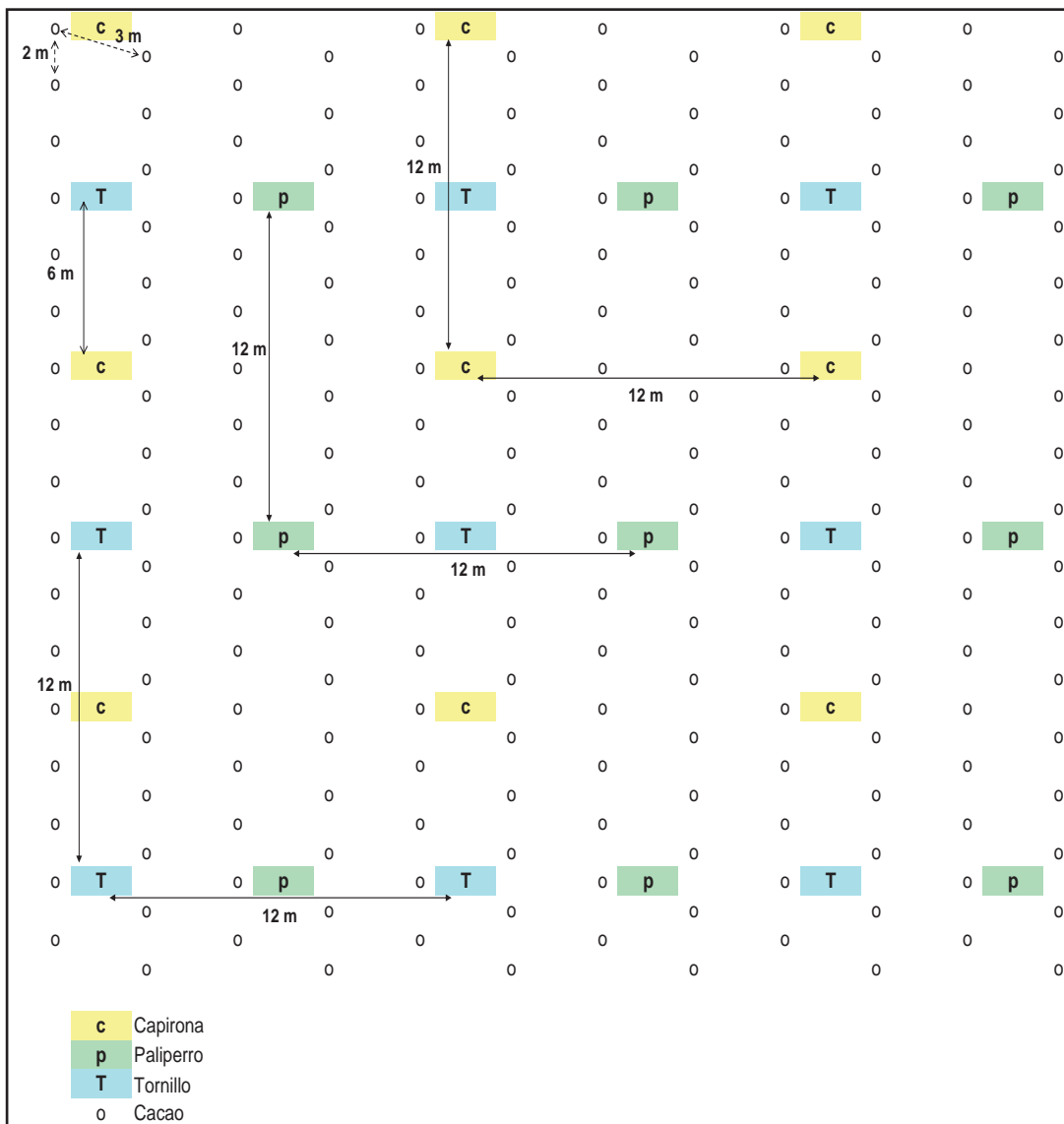
VIII. ANEXOS

ANEXO 1: ESTACIÓN EXPERIMENTAL 'CHOCLINO'- SISTEMAS DE CACAO

Croquis experimental y distribución de genotipos dentro del Sistema Tradicional (TMS) del cultivo de cacao



ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN DEL CACAO EN BOSQUE



ANEXO 3: BASE DE DATOS

lugar	Repetición	época de muestreo	Posición	BMSmedia	BMSalta	Carbmedia	Carbalta	BMSTOTAL	CarbTOTAL
t01	1	Húmeda	debajo de copa	30.91	15.93	13.78	4.58	46.85	18.37
t01	2	Húmeda	debajo de copa	27.98	13.92	14.10	4.83	41.89	18.93
t01	3	Húmeda	debajo de copa	19.98	2.46	8.27	0.65	22.44	8.92
t01	1	Húmeda	entre plantas	16.48	14.00	7.98	5.69	30.48	13.66
t01	2	Húmeda	entre plantas	13.19	14.00	6.88	5.54	27.20	12.42
t01	3	Húmeda	entre plantas	8.92	1.16	4.20	0.37	10.08	4.57
t01	1	Seca	debajo de copa	3.82	3.72	1.82	1.43	7.54	3.25
t01	2	Seca	debajo de copa	9.12	5.01	4.57	1.85	14.13	6.43
t01	3	Seca	debajo de copa	3.82	3.36	1.82	0.94	7.18	2.76
t01	1	Seca	entre plantas	11.81	6.51	5.34	2.39	18.31	7.72
t01	2	Seca	entre plantas	7.14	9.69	3.47	3.51	16.83	6.97
t01	3	Seca	entre plantas	6.51	6.29	3.27	2.69	12.80	5.95
t02	1	Húmeda	debajo de copa	7.09	3.07	3.40	1.05	10.16	4.44
t02	2	Húmeda	debajo de copa	8.47	11.95	4.20	3.05	20.41	7.25
t02	3	Húmeda	debajo de copa	4.40	4.64	2.04	0.86	9.05	2.90
t02	1	Húmeda	entre plantas	8.85	5.99	3.98	1.18	14.85	5.17
t02	2	Húmeda	entre plantas	2.57	3.50	1.25	1.38	6.07	2.63
t02	3	Húmeda	entre plantas	4.53	6.12	2.23	1.63	10.65	3.86
t02	1	Seca	debajo de copa	6.82	1.96	3.46	0.79	8.77	4.25
t02	2	Seca	debajo de copa	3.50	16.68	1.69	6.70	20.18	8.39
t02	3	Seca	debajo de copa	2.56	7.71	1.72	1.52	10.27	3.24
t02	1	Seca	entre plantas	6.08	5.42	3.01	2.11	11.49	5.12
t02	2	Seca	entre plantas	5.68	5.42	2.72	2.11	11.10	4.83
t02	3	Seca	entre plantas	6.08	3.83	3.01	0.82	9.91	3.83
t03	1	Húmeda	debajo de copa	10.08	6.05	4.82	1.97	16.13	6.79
t03	2	Húmeda	debajo de copa	10.08	8.42	4.82	3.49	18.50	8.31

Sistemas	repetición	época de muestreo	Posición	BMSmedia	BMSalta	Carbmedia	Carbalta	BMSTOTAL	CarbTOTAL
t03	3	Húmeda	debajo de copa	4.97	2.31	2.51	0.94	7.28	3.45
t03	1	Húmeda	entre plantas	7.00	8.59	3.00	1.09	15.59	4.09
t03	2	Húmeda	entre plantas	3.66	8.96	1.78	3.45	12.62	5.23
t03	3	Húmeda	entre plantas	5.91	4.22	2.67	1.39	10.13	4.06
t03	1	Seca	debajo de copa	6.93	5.97	3.37	1.94	12.89	5.32
t03	2	Seca	debajo de copa	2.59	7.32	1.18	2.10	9.91	3.28
t03	3	Seca	debajo de copa	4.80	5.13	2.47	1.70	9.93	4.17
t03	1	Seca	entre plantas	3.50	5.45	1.71	2.26	8.95	3.98
t03	2	Seca	entre plantas	2.25	3.09	1.04	1.27	5.34	2.31
t03	3	Seca	entre plantas	3.52	2.80	1.83	1.28	6.32	3.11
t04	1	Húmeda	sin posición	3.93	2.27	1.74	0.69	6.20	2.43
t04	2	Húmeda	sin posición	4.98	2.99	2.24	0.79	7.98	3.03
t04	3	Húmeda	sin posición	2.93	2.27	0.98	0.69	5.20	1.67
t04	1	Seca	sin posición	4.84	2.58	2.22	0.93	7.41	3.15
t04	2	Seca	sin posición	3.09	2.68	1.49	0.79	5.78	2.28
t04	3	Seca	sin posición	3.09	2.68	1.49	0.79	5.78	2.28
t05	1	Húmeda	debajo de copa	14.22	4.13	7.59	1.15	18.35	8.74
t05	2	Húmeda	debajo de copa	7.46	5.24	3.91	1.43	12.70	5.34
t05	3	Húmeda	debajo de copa	6.73	3.14	3.59	0.45	9.87	4.05
t05	1	Húmeda	entre plantas	5.98	3.02	3.42	0.71	9.00	4.13
t05	2	Húmeda	entre plantas	12.91	7.05	6.83	2.37	19.97	9.21
t05	3	Húmeda	entre plantas	5.57	4.43	2.85	0.85	10.00	3.70
t05	1	Seca	debajo de copa	13.31	6.52	7.07	2.30	19.83	9.37
t05	2	Seca	debajo de copa	4.85	6.11	2.59	2.75	10.97	5.34
t05	3	Seca	debajo de copa	4.85	2.85	2.59	1.06	7.71	3.65
t05	1	Seca	entre plantas	2.29	4.03	1.27	1.31	6.32	2.58
t05	2	Seca	entre plantas	2.94	4.67	1.54	1.59	7.61	3.13

Sistemas	Repetición	época de muestreo	Posición	BMSmedia	BMSalta	Carbmedia	Carbalta	BMSTOTAL	CarbTOTAL
t05	3	Seca	entre plantas	7.92	9.93	4.15	3.75	17.85	7.90
t06	1	Húmeda	debajo de copa	8.32	7.56	4.37	1.81	15.88	6.18
t06	2	Húmeda	debajo de copa	9.69	7.45	5.07	2.15	17.14	7.23
t06	3	Húmeda	debajo de copa	4.62	3.41	2.42	0.66	8.03	3.07
t06	1	Húmeda	entre plantas	6.65	6.77	3.57	2.19	13.42	5.76
t06	2	Húmeda	entre plantas	7.81	8.11	4.08	3.17	15.92	7.24
t06	3	Húmeda	entre plantas	8.41	4.02	4.48	1.24	12.43	5.72
t06	1	Seca	debajo de copa	12.25	17.39	6.64	7.98	29.65	14.62
t06	2	Seca	debajo de copa	4.99	10.76	2.67	4.54	15.74	7.21
t06	3	Seca	debajo de copa	3.04	5.45	1.61	0.88	8.49	2.49
t06	1	Seca	entre plantas	7.82	27.25	4.24	12.46	35.06	16.70
t06	2	Seca	entre plantas	9.58	15.02	4.94	6.43	24.61	11.38
t06	3	Seca	entre plantas	5.26	7.75	2.85	3.34	13.01	6.19
y01	1	Húmeda	debajo de copa	11.42	4.98	6.06	1.52	16.39	7.58
y01	2	Húmeda	debajo de copa	16.15	3.63	8.21	1.23	19.78	9.44
y01	3	Húmeda	debajo de copa	12.14	4.34	6.56	1.51	16.48	8.07
y01	1	Húmeda	entre plantas	3.93	4.41	2.05	1.33	8.35	3.38
y01	2	Húmeda	entre plantas	15.45	3.77	7.22	0.73	19.22	7.95
y01	3	Húmeda	entre plantas	13.12	6.86	6.93	2.38	19.98	9.31
y01	1	Seca	debajo de copa	2.97	3.31	1.62	1.42	6.28	3.04
y01	2	Seca	debajo de copa	1.89	3.43	0.98	1.53	5.32	2.51
y01	3	Seca	debajo de copa	3.28	2.31	1.78	1.16	5.59	2.94
y01	1	Seca	entre plantas	3.34	2.34	1.82	1.07	5.68	2.89
y01	2	Seca	entre plantas	2.55	2.30	1.37	1.09	4.85	2.46
y01	3	Seca	entre plantas	2.91	4.24	1.50	1.99	7.15	3.49
y02	1	Húmeda	debajo de copa	5.53	2.77	2.95	1.29	8.31	4.25
y02	2	Húmeda	debajo de copa	4.83	3.99	2.55	1.58	8.82	4.14

Sistemas	Repetición	época de muestreo	Posición	BMSmedia	BMSalta	Carbmedia	Carbalta	BMSTOTAL	CarbTOTAL
y02	3	Húmeda	debajo de copa	3.30	2.75	1.79	1.42	6.05	3.21
y02	1	Húmeda	entre plantas	2.86	4.62	1.51	1.84	7.48	3.35
y02	2	Húmeda	entre plantas	4.29	4.40	2.30	1.24	8.69	3.55
y02	3	Húmeda	entre plantas	4.16	3.67	2.23	1.40	7.82	3.63
y02	1	Seca	debajo de copa	3.03	5.79	1.65	2.72	8.83	4.38
y02	2	Seca	debajo de copa	1.82	3.03	1.00	1.60	4.85	2.59
y02	3	Seca	debajo de copa	1.90	2.85	1.04	1.28	4.75	2.32
y02	1	Seca	entre plantas	1.60	2.37	0.88	1.22	3.97	2.10
y02	2	Seca	entre plantas	2.50	2.93	1.36	1.49	5.43	2.85
y02	3	Seca	entre plantas	3.76	2.81	2.06	1.44	6.57	3.50
y03	1	Húmeda	debajo de copa	9.29	7.03	4.67	0.97	16.33	5.64
y03	2	Húmeda	debajo de copa	4.65	1.93	1.97	0.01	6.58	1.98
y03	3	Húmeda	debajo de copa	6.56	1.90	3.44	0.21	8.46	3.65
y03	1	Húmeda	entre plantas	9.20	7.52	3.25	0.92	16.72	4.18
y03	2	Húmeda	entre plantas	11.69	2.27	5.26	0.19	13.96	5.45
y03	3	húmeda	entre plantas	14.37	2.27	7.30	0.19	16.64	7.49
y03	1	Seca	debajo de copa	4.16	4.80	2.25	1.93	8.96	4.18
y03	2	Seca	debajo de copa	3.20	2.12	1.74	0.70	5.32	2.44
y03	3	Seca	debajo de copa	3.57	6.24	1.93	2.18	9.82	4.11
y03	1	Seca	entre plantas	4.13	6.38	2.28	2.25	10.51	4.53
y03	2	Seca	entre plantas	6.78	4.37	3.71	1.88	11.15	5.59
y03	3	Seca	entre plantas	3.25	5.10	1.77	1.99	8.35	3.76
y04	1	húmeda	sin posición	3.17	6.70	1.68	2.81	9.87	4.49
y04	2	húmeda	sin posición	3.15	9.16	1.66	3.61	12.31	5.28
y04	3	húmeda	sin posición	6.30	5.64	3.31	2.19	11.94	5.50
y04	1	Seca	sin posición	1.52	2.57	0.80	1.26	4.09	2.06
y04	2	Seca	sin posición	3.41	2.78	1.84	1.42	6.19	3.25

Sistemas	Repetición	época de muestreo	Posición	BMSmedia	BMSalta	Carbmedia	Carbalta	BMSTOTAL	CarbTOTAL
y04	3	Seca	sin posición	0.88	2.51	0.47	1.08	3.39	1.55
y05	1	húmeda	sin posición	4.86	7.59	2.39	2.32	12.45	4.71
y05	2	húmeda	sin posición	5.27	6.41	2.49	1.89	11.67	4.38
y05	3	húmeda	sin posición	4.86	3.94	2.39	1.11	8.80	3.51
y05	1	Seca	sin posición	1.43	2.07	0.76	0.89	3.50	1.65
y05	2	Seca	sin posición	1.58	1.42	0.81	0.50	3.01	1.30
y05	3	Seca	sin posición	1.14	1.61	0.59	0.66	2.76	1.24
y06	1	húmeda	debajo de copa	4.32	1.66	2.21	0.51	5.97	2.72
y06	2	húmeda	debajo de copa	3.96	2.09	1.93	0.33	6.05	2.27
y06	3	húmeda	debajo de copa	3.47	2.40	1.04	0.69	5.87	1.73
y06	1	húmeda	entre plantas	4.49	1.82	1.22	0.24	6.30	1.46
y06	2	húmeda	entre plantas	1.81	2.77	0.91	0.49	4.59	1.40
y06	3	húmeda	entre plantas	2.07	1.13	1.07	0.30	3.20	1.38
y06	1	Seca	debajo de copa	3.08	1.70	1.61	0.62	4.79	2.24
y06	2	Seca	debajo de copa	1.92	0.90	1.00	0.40	2.81	1.40
y06	3	Seca	debajo de copa	3.06	1.16	1.60	0.59	4.23	2.19
y06	1	Seca	entre plantas	2.18	2.93	1.14	1.27	5.11	2.41
y06	2	Seca	entre plantas	1.76	1.63	0.91	0.62	3.39	1.53
y06	3	Seca	entre plantas	2.46	4.63	1.32	1.46	7.09	2.77
y07	1	húmeda	sin posición	0.75	0.00	0.34	0.00	0.75	0.34
y07	2	húmeda	sin posición	0.76	0.00	0.28	0.00	0.76	0.28
y07	3	húmeda	sin posición	1.47	0.00	0.62	0.00	1.47	0.62
y07	1	Seca	sin posición	0.22	0.00	0.10	0.00	0.22	0.10
y07	2	Seca	sin posición	0.68	0.00	0.29	0.00	0.68	0.29
y07	3	Seca	sin posición	0.67	0.00	0.29	0.00	0.67	0.29
y08	1	húmeda	sin posición	9.93	0.00	4.91	0.00	9.93	4.91
y08	2	húmeda	sin posición	2.48	0.00	1.25	0.00	2.48	1.25

Sistemas	Repetición	época de muestreo	Posición	BMSmedia	BMSalta	Carbmedia	Carbalta	BMSTOTAL	CarbTOTAL
y08	3	húmeda	sin posición	8.03	0.00	3.63	0.00	8.03	3.63
y08	1	Seca	sin posición	1.82	0.00	0.81	0.00	1.82	0.81
y08	2	Seca	sin posición	1.89	0.00	0.87	0.00	1.89	0.87
y08	3	Seca	sin posición	1.82	0.00	0.81	0.00	1.82	0.81
y09	1	húmeda	debajo de copa	1.46	0.00	0.62	0.00	1.46	0.62
y09	2	húmeda	debajo de copa	2.70	0.00	0.77	0.00	2.70	0.77
y09	3	húmeda	debajo de copa	2.70	0.00	0.77	0.00	2.70	0.77
y09	1	húmeda	entre plantas	3.31	0.00	1.37	0.00	3.31	1.37
y09	2	húmeda	entre plantas	4.92	0.00	2.55	0.00	4.92	2.55
y09	3	húmeda	entre plantas	10.33	0.00	5.25	0.00	10.33	5.25
y09	1	Seca	debajo de copa	4.73	0.00	2.47	0.00	4.73	2.47
y09	2	Seca	debajo de copa	9.08	0.00	4.58	0.00	9.08	4.58
y09	3	Seca	debajo de copa	4.41	0.00	2.32	0.00	4.41	2.32
y09	1	Seca	entre plantas	4.73	0.00	2.47	0.00	4.73	2.47
y09	2	Seca	entre plantas	9.08	0.00	4.58	0.00	9.08	4.58
y09	3	Seca	entre plantas	4.41	0.00	2.32	0.00	4.41	2.32
y10	1	húmeda	debajo de copa	11.19	7.91	3.35	0.83	19.10	4.17
y10	2	húmeda	debajo de copa	4.48	0.81	1.93	0.14	5.29	2.06
y10	3	húmeda	debajo de copa	4.48	0.81	1.93	0.14	5.29	2.06
y10	1	húmeda	entre plantas	12.77	16.86	4.35	1.58	29.62	5.93
y10	2	húmeda	entre plantas	12.77	16.86	4.35	1.58	29.62	5.93
y10	3	húmeda	entre plantas	4.43	2.60	2.44	0.98	7.04	3.42
y10	1	Seca	debajo de copa	0.84	2.82	0.33	0.28	3.65	0.61
y10	2	Seca	debajo de copa	0.65	3.05	0.33	0.84	3.71	1.17
y10	3	Seca	debajo de copa	1.04	1.63	0.43	0.34	2.67	0.77
y10	1	Seca	entre plantas	1.68	2.64	0.91	1.25	4.33	2.16
y10	2	Seca	entre plantas	1.68	2.64	0.91	1.25	4.33	2.16
y10	3	Seca	entre plantas	2.40	3.19	1.32	1.51	5.58	2.83

**ANEXO 4: CUADRO DE BIOMASA SECA DE LA HOJARASCA DE
DESCOMPOSICIÓN MEDIA (TARAPOTO-YURIMAGUAS)**

A.TARAPOTO

Sistemas de uso de tierra	Biomasa seca de hojarasca de descomposición media	
	Epoca Húmeda	Epoca Seca
Cacao-Bosque	19.58	7.04
Cacao-Inga	5.99	5.12
Cacao-Centrosema	6.95	3.93
Bosque residual	3.94	3.68
Café (var.mejorada)-Inga	8.81	6.03
Café (var.tradicional)-Inga	7.58	7.16

B.YURIMAGUAS

Sistemas de uso de tierra	Biomasa seca de hojarasca de descomposición media	
	Epoca Húmeda	Epoca Seca
Multiestrato (10% arcilla)	12.04	2.82
Multiestrato (4% arcilla)	4.16	2.44
Castaña brasileña-Café	9.29	4.18
Bosque secundario	4.21	1.94
Bosque primario	4.99	1.39
Pijuayo-kudzu	3.35	2.41
Pasto degradado	1.00	0.52
Pasto mejorado	6.81	1.84

Palmito	4.24	6.07
Palma aceitera-kudzu	8.35	1.38

ANEXO 5: CUADRO DE BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICIÓN ALTA DE LA HOJARASCA (TARAPOTO-YURIMAGUAS)

A.TARAPOTO

Sistemas de uso de tierra	Biomasa seca de la hojarasca de descomposición alta	
	Epoca Húmeda	Epoca Seca
Cacao-Bosque	10.25	5.76
Cacao-Inga	5.88	6.83
Cacao-Centrosema	6.42	4.96
Bosque residual	2.51	2.65
Café (var.mejorada)-Inga	4.50	5.69
Café (var.tradicional)-Inga	6.22	13.94

B.YURIMAGUAS

Sistemas de uso de tierra	Biomasa seca de la hojarasca de descomposición alta	
	Epoca Húmeda	Epoca Seca
Multiestrato (10% arcilla)	4.66	2.99
Multiestrato (4% arcilla)	3.70	3.30
Castaña brasileña-Café	3.82	4.84
Bosque secundario	7.17	2.62
Bosque primario	5.98	1.70
Pijuayo-kudzu	1.98	2.16
Pasto degradado	0.00	0.00
Pasto mejorado	0.00	0.00
Palmito	0.00	0.00
Palma aceitera-kudzu	7.64	2.66

ANEXO 6: CUADRO DE CARBONO ALMACENADO EN BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICIÓN MEDIA DE LA HOJARASCA (TARAPOTO-YURIMAGUAS)

A.TARAPOTO

SISTEMA DE USO DE TIERRA	Carbono almacenado en la hojarasca de descomposición media	
	Epoca Húmeda	Epoca Seca
Cacao-Bosque	9.20	3.38
Cacao-Inga	2.85	2.60
Cacao-Centrosema	3.27	1.93
Bosque residual	1.65	1.73
Café (var.Mejorada)-Inga	4.70	3.20
Café (var.Tradicional)-Inga	4.00	3.82

B.YURIMAGUAS

SISTEMA DE USO DE TIERRA	Carbono almacenado en la hojarasca de descomposición media	
	Epoca Húmeda	Epoca Seca
Multiestrato (10% arcilla)	6.17	1.51
Multiestrato (4% arcilla)	2.22	1.33
Castaña brasileña-Café	4.31	2.28
Bosque secundario	2.22	1.04
Bosque primario	2.42	0.72
Pijuayo-kudzu	1.40	1.26
Pasto degradado	0.41	0.23
Pasto mejorado	3.26	0.83
Palmito	1.89	3.13
Palma aceitera-kudzu	3.06	0.70

ANEXO 7: CUADRO DE CARBONO ALMACENADO EN BIOMASA SECA DE DESCOMPOSICIÓN MEDIA DE LA HOJARASCA (TARAPOTO-YURIMAGUAS)

A.TARAPOTO

SISTEMA DE USO DE TIERRA	Carbono almacenado en la hojarasca de descomposición alta	
	Epoca Húmeda	Epoca Seca
Cacao-Bosque	3.61	2.13
Cacao-Inga	1.53	2.34
Cacao-Centrosema	2.05	1.76
Bosque residual	0.73	0.84
Café (var.Mejorada)-Inga	1.16	2.13
Café (var.Tradicional)-Inga	1.87	5.94

B.YURIMAGUAS

SISTEMA DE USO DE TIERRA	Carbono almacenado en la hojarasca de descomposición alta	
	Epoca Húmeda	Epoca Seca
Multiestrato (10% arcilla)	1.45	1.38
Multiestrato (4% arcilla)	1.46	1.63
Castaña brasileña-Café	0.42	1.82
Bosque secundario	2.87	1.25
Bosque primario	1.78	0.68
Pijuayo-kudzu	0.43	0.83
Pasto degradado	0.00	0.00
Pasto mejorado	0.00	0.00
Palmito	0.00	0.00
Palma aceitera-kudzu	0.87	0.91

ANEXO 8: CUADRO DE PORCENTAJES RELATIVOS

Carbono total de la hojarasca	Porcentaje relativo (%)	Carbono de descomposición media de la hojarasca	Porcentaje relativo (%)	Carbono de descomposición alta de la hojarasca	Porcentaje relativo (%)
9.16	100.00	6.29	100.00	2.87	73.40
4.66	50.88	2.73	43.32	1.93	49.48
4.51	49.21	2.60	41.34	1.91	48.77
2.47	27.01	1.69	26.88	0.78	20.03
5.59	61.08	3.95	62.80	1.64	42.04
7.82	85.32	3.91	62.17	3.91	100.00
5.25	57.36	3.84	61.07	1.41	36.12
3.32	36.26	1.78	28.25	1.54	39.50
4.42	48.20	3.30	52.41	1.12	28.60
3.69	40.26	1.63	25.85	2.06	52.72
2.80	30.55	1.57	24.97	1.23	31.41
1.96	21.38	1.33	21.16	0.63	16.05
0.32	3.50	0.32	5.09	0.00	0.00
2.04	22.30	2.04	32.48	0.00	0.00
2.51	27.38	2.51	39.87	0.00	0.00
2.77	30.27	1.88	29.89	0.89	22.83

ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANZAS PARA LAS VARIABLES

PROCESAMIENTO DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA POSICIÓN EN EL MUESTREO CON EL SOFTWARE R.

TARAPOTO:

Biomasa de descomposición media:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	5	582.84	116.568	5.5830	0.0003139 ***
position	1	51.21	51.208	2.4526	0.1230658
location:position	4	63.88	15.969	0.7648	0.5527019
Residuals	55	1148.35	20.879		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Biomasa de descomposición alta:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	5	303.62	60.723	3.1615	0.01403 *
position	1	2.19	2.193	0.1142	0.73674
location:position	4	49.17	12.293	0.6400	0.63619
Residuals	55	1056.39	19.207		

Signif. Codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Biomasa total:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	5	1308.4	261.683	4.5320	0.001569 **
position	1	32.2	32.193	0.5575	0.458430
location:position	4	93.9	23.465	0.4064	0.803248

Residuals 55 3175.8 57.741

Signif.codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono en biomasa de descomposición media:

Analysis of Variance Table

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)

location 5 131.955 26.3911 5.4828 0.0003648 ***

position 1 11.766 11.7661 2.4444 0.1236776

location:position 4 11.629 2.9074 0.6040 0.6613697

Residuals 55 264.737 4.8134

Signif.codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono en biomasa de descomposición alta:

Analysis of Variance Table

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)

location 5 57.320 11.4640 3.0307 0.01736 *

position 1 2.408 2.4080 0.6366 0.42838

location:position 4 12.449 3.1123 0.8228 0.51630

Residuals 55 208.045 3.7826

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono en biomasa total:

Analysis of Variance Table

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)

location 5 284.45 56.890 4.8677 0.0009314 ***

position 1 3.55 3.548 0.3036 0.5838887

location:position 4 24.39 6.097 0.5217 0.7201186

Residuals 55 642.80 11.687

Signif.codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

YURIMAGUAS

Biomasa de descomposición media:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F value	Pr(>F)
location	9	325.27	36.142	3.2000	0.002343 **
position	1	12.43	12.425	1.1001	0.297393
location:position	5	45.96	9.193	0.8140	0.543210
Residuals	80	903.53	11.294		

Signif.codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Biomasa de descomposición alta:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F value	Pr(>F)
location	9	339.17	37.686	6.5293	6.345e-07 ***
position	1	20.26	20.257	3.5095	0.06467
location:position	5	47.63	9.525	1.6503	0.15635
Residuals	80	461.75	5.772		

Signif.codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Biomasa total:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9	882.80	98.089	4.0256	0.0002805 ***
position	1	64.41	64.411	2.6435	0.1079089
location:position	5	127.68	25.537	1.0480	0.3955187
Residuals	80	1949.29	24.366		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono en biomasa de descomposición media:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9	86.004	9.5560	4.0289	0.0002782 ***
position	1	2.268	2.2685	0.9564	0.3310466
location:position	5	11.834	2.3668	0.9979	0.4245422
Residuals	80	189.751	2.3719		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono en biomasa de descomposición alta:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9	37.779	4.1977	15.3345	3.432e-14 ***
position	1	0.720	0.7200	2.6302	0.1088
location:position	5	2.307	0.4614	1.6857	0.1476
Residuals	80	21.899	0.2737		

Signif.codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono en biomasa total:

Analysis of Variance Table

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F value	Pr(>F)
location	9	153.890	17.0989	6.6116	5.25e-07 ***
position	1	5.544	5.5445	2.1439	0.1471
location:position	5	18.331	3.6663	1.4176	0.2269
Residuals	80	206.894	2.5862		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZAS PARA LAS VARIABLES
 PROCESAMIENTO DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE DIFERENCIAS
 ENTRE LAS ÉPOCAS HÚMEDA Y SECA CON EL SOFTWARE R

TARAPOTO:

Biomasa de descomposición media

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	5	582.84	116.568	8.5273	5.305e-06 ***
season	1	213.23	213.228	15.5984	0.0002287 ***
location:season	5	312.03	62.406	4.5652	0.0015201 **
Residuals	54	738.17	13.670		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Biomasa de descomposición alta

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	5	303.62	60.723	3.8332	0.00481 **
season	1	8.64	8.640	0.5454	0.46339
location:season	5	243.68	48.736	3.0765	0.01626 *
Residuals	54	855.43	15.841		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Biomasa de total

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
--	----	--------	---------	---------	--------

location	5	1308.41	261.683	6.4093	9.656e-05	***
season	1	136.17	136.167	3.3351	0.073347	.
location:season	5	960.89	192.179	4.7070	0.001221	**
Residuals	54	2204.74	40.829			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono de descomposición media

Analysis of Variance Table

Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		
location	5	131.955	26.391	8.1820	8.359e-06	***
season	1	44.493	44.493	13.7942	0.0004847	***
location:season	5	69.462	13.892	4.3071	0.0022741	**
Residuals	54	174.177	3.225			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono de descomposición alta

Analysis of Variance Table

Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		
location	5	57.320	11.4640	3.8300	0.004835	**
season	1	9.334	9.3338	3.1183	0.083069	.
location:season	5	51.935	10.3869	3.4702	0.008605	**
Residuals	54	161.633	2.9932			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono total

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	5	284.45	56.890	6.7439	5.994e-05 ***
season	1	13.07	13.070	1.5493	0.21861
location:season	5	202.13	40.427	4.7924	0.00107 **
Residuals	54	455.53	8.436		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

YURIMAGUAS

Biomasa de descomposición media

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9	325.27	36.142	6.9236	3.201e-07 ***
season	1	289.61	289.607	55.4797	1.243e-10 ***
location:season	9	275.59	30.621	5.8660	3.526e-06 ***
Residuals	76	396.72	5.220		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Biomasa de descomposición alta

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9	339.17	37.686	7.4464	1.022e-07 ***
season	1	39.62	39.617	7.8279	0.006515 **
location:season	9	105.38	11.709	2.3136	0.023359 *
Residuals	76	384.63	5.061		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Biomasa de total

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9	882.80	98.09	6.8973	3.393e-07 ***
season	1	543.45	543.45	38.2136	2.918e-08 ***
location:season	9	517.11	57.46	4.0402	0.0002933 ***
Residuals	76	1080.82	14.22		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono de descomposición media

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9	86.004	9.556	8.3202	1.617e-08 ***
season	1	50.359	50.359	43.8457	4.493e-09 ***
location:season	9	66.206	7.356	6.4049	1.023e-06 ***
Residuals	76	87.289	1.149		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono de descomposición alta

Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9	37.779	4.1977	25.1051	< 2.2e-16 ***
season	1	0.126	0.1262	0.7545	0.3878
location:season	9	12.093	1.3436	8.0359	2.921e-08 ***
Residuals	76	12.708	0.1672		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Carbono total

Analysis of Variance Table

Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
location	9 153.890	17.099	12.0854	1.294e-11 ***
season	1 45.444	45.444	32.1194	2.477e-07 ***
location:season	9 77.798	8.644	6.1097	2.007e-06 ***
Residuals	76 107.528	1.415		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO 11: FOTOGRAFÍAS DEL MUESTREO



A. Pesado de muestra



B. Selección de material por recolectar



C. Colecta de hojarasca en bosque



D. Sistema de pasto mejorado-colecta de hojarasca



E. Grupo de Trabajo-Tarapoto



F. Grupo de Trabajo-Yurimaguas