

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIA EN**  
**CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**



**DETERMINACIÓN DE CARBONO EN NECROMASA DEL BOSQUE**  
**RESERVADO DE LA UNAS**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

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

**ORÉ DÍAZ, FERNANDO**

**Promoción 2009 - II**

**Tingo María – Perú**

**2011**

## DEDICATORIA

A Dios por su amor incomparable y servir de fuente inspiración absoluta.

A mis padres Lelith Díaz López y Fernando Oré Espinoza por su apoyo continuo, dedicación y confianza además de sus sabios consejos para ser cada día mejor.

A mi hermano José Augusto por su entusiasmo y muestras de cariño y afecto.

A mis compañeros de Universidad por sus grandes muestras de compañerismo, solidaridad y respeto, a parte de su enorme apoyo moral.

## **AGRADECIMIENTOS**

Durante mi formación profesional, personal y elaboración del presente trabajo he recibido el valioso consejo y apoyo incondicional de varias personas a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables en especial a los docentes de la especialidad de Conservación de Suelos y Agua que quienes entregaron todos sus conocimientos y experiencias en bien de formar buenos profesionales.

Al Ing. MSc. Vicente Pocomucha Poma por su apoyo desinteresado e invaluable como asesor para realizar este trabajo de investigación. Muchas gracias por su paciencia, confianza y dedicación.

Al Ing. Nelino Florida Rofner jefe del laboratorio de análisis de suelos de la especialidad de Conservación de Suelos y Agua, por brindar todas las facilidades del uso del laboratorio.

A la Ing. MSc. Erudice Honorio Coronado investigadora del IIAP – Iquitos, por su apoyo incondicional durante la evaluación y resultado del presente trabajo.

A los alumnos del curso de Métodos Estadísticos de la especialidad de Conservación de Suelos y Agua de la facultad de Recursos Naturales Renovables del semestre II - 2010, por el apoyo brindado en el trabajo de campo.

Asimismo, quiero agradecer muy especialmente a las siguientes personas quienes ayudaron en todo momento con el apoyo logístico y físico del presente trabajo de investigación: Yovan López García, Jhey Rengifo Ruiz, Ulises Rivas Torres, Rudy Ruiz Pérez y Wilder Trujillo Salas.

## INDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Bosques tropicales.....	3
2.1.1. Tipos de Bosques.....	4
2.2. Bosque Reservado de la UNAS (BRUNAS).....	5
2.3. Clasificación fisiográfica de bosques.....	6
2.3.1. Clasificación fisiográfica según Malleux.....	6
2.3.2. Clasificación fisiográfica del BRUNAS.....	8
2.4. El ciclo del carbono.....	10
2.4.1. El ciclo del carbono en los bosques tropicales.....	12
2.5. Rol de los bosques en el cambio climático.....	13
2.6. Mecanismos para reducir los GEI.....	19
2.7. Captura de carbono.....	20
2.7.1. Carbono y materia orgánica en el suelo.....	22
2.7.2. Necromasa de un bosque.....	24
2.7.3. Métodos para determinar la captura de carbono.....	26
2.8. Referencia sobre necromasa en la captura de carbono en el Perú y el extranjero.....	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1. Características generales del área de estudio.....	30
3.1.1. Antecedentes del Bosque Reservado de la UNAS (BRUNAS)..	30
3.1.2. Ubicación política.....	30
3.1.3. Localización geográfica en coordenadas UTM.....	31
3.1.4. Ecología.....	32
3.1.5. Condiciones climáticas.....	32
3.2. Materiales.....	33

3.3. Metodología.....	33
3.3.1. Recopilación de información.....	33
3.4. Fase de campo.....	34
3.4.1. Reconocimiento e instalación de la zona de estudio.....	34
3.4.2. Evaluación de Necromasa.....	34
3.4.3. Determinación de Necromasa.....	36
3.5. Fase de gabinete.....	39
3.5.1. Cálculo del stock de carbono en necromasa.....	39
3.5.2. Análisis estadístico.....	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1. Determinación de biomasa.....	46
4.1.1. Necromasa mayor.....	46
4.1.2. Necromasa menor.....	49
4.2. Carbono total.....	52
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. RECOMENDACIONES.....	55
ABSTRAC.....	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
ANEXO.....	63
Anexo 1. Cálculos.....	64
Anexo 2. Fotografías.....	87

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Producciones y reservas de carbono de los ecosistemas terrestres.....	17
2. Coordenadas UTM del BRUNAS.....	31
3. Coordenadas UTM de las parcelas instaladas.....	32
4. Clases de descomposición de la madera muerta.....	38
5. Necromasa de árboles muertos en pie por unidad fisiográfica.....	46
6. Necromasa de árboles muertos sobre la superficie del suelo por unidad fisiográfica.....	48
7. Necromasa menor por unidad fisiográfica.....	50
8. Necromasa total.....	51
9. Carbono total.....	53
10. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina baja clase 1 (parcela 1).....	64
11. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina baja clase 1 (parcela 2).....	65
12. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina baja clase 2 (parcela 1).....	66
13. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina baja clase 2 (parcela 2).....	67
14. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina alta clase 1 (parcela 1).....	68
15. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina alta clase 1 (parcela 2).....	69
16. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina alta clase 2 (parcela 1).....	70
17. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina alta clase 2 (parcela 2).....	71
18. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos	

en pie en montaña (parcela 1).....	72
19. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en montaña (parcela 2).....	73
20. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina baja clase 1 (parcela 1).....	74
21. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina baja clase 1 (parcela 2).....	75
22. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina baja clase 2 (parcela 1).....	76
23. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina baja clase 2 (parcela 2).....	77
24. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina alta clase 1 (parcela 1).....	78
25. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina alta clase 1 (parcela 2).....	79
26. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina alta clase 2 (parcela 1).....	80
27. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina alta clase 2 (parcela 2).....	81
28. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en montaña (parcela 1).....	82
29. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo montaña (parcela 2).....	83
30. Cálculos para determinación de necromasa menor (parcela 1).....	84
31. Cálculos para determinación de necromasa menor (parcela 2).....	84
32. Valor promedio de la NAMP de las distintas unidades fisiográficas de las 2 parcelas de muestreo .....	85
33. Valor promedio de la NAMS de las distintas unidades fisiográficas de las 2 parcelas de muestreo .....	85
34. Cálculos estadísticos en necromasa mayor (árboles muertos en pie)....	86
35. Cálculos estadísticos en necromasa mayor (árboles muertos sobre la superficie del suelo).....	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de los stock y flujos de carbono en un bosque tropical.....	12
2. Ubicación del área estudiada.....	33
3. Diseño de la parcela para evaluación de necromasa.....	39
4. Necromasa de árboles muertos en pie por unidad fisiográfica.....	47
5. Necromasa de árboles muertos sobre la superficie del suelo por unidad fisiográfica.....	48
6. Necromasa menor por unidad fisiográfica.....	50
7. Necromasa total.....	52
8. Instalación de parcela de muestreo.....	87
9. Muestreo de necromasa mayor (AMS).....	87
10. Evaluación de necromasa mayor (AMP).....	88
11. Evaluación de necromasa mayor con forcípula.....	88
12. Parcela de muestreo instalada.....	89
13. Evaluación de necromasa mayor (AMP).....	89
14. Recolección de hojarasca (necromasa menor).....	90
15. Secado en estufa de la necromasa menor.....	90

## ABSTRACT

This research evaluated the content of carbon in the necromass component of the Reserve Forest of the National Agrarian University of the Forest (BRUNAS), located in the district of Rupa Rupa, in the Province of Leoncio Prado, in the region of Huánuco, during the months December 2010 and May 2011. The aim was to evaluate the content of carbon in the necromass component of the forest; using the proposed methodologies by CHAVE et al. (2005); NASCIMENTO and LAURANCE (2002); AREVALO et al. (2003) and by HONORIO and BAKER (2010); it is considered an effective sampling of the studied area, according to the physiographic units classified by MARCOS (1996). The obtained results of the total necromass of the forest, was of 41.6985 Mgha<sup>-1</sup>; corresponding to the higher necromass (31.7167 Mgha<sup>-1</sup>) and the lower necromass (9.9818 Mgha<sup>-1</sup>), which compose respectively 76.06 % (higher necromass) and 23.94 % (lower necromass). In relation to the carbon, was obtained 20.8493 MgCha<sup>-1</sup>, which corresponds to 50 % of the total necromass existing in BRUNAS.

## RESUMEN

En la investigación se evaluó el contenido de carbono en el componente necromasa del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), ubicado en distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco, durante los meses diciembre 2010 a mayo 2011. El objetivo fue evaluar el contenido de carbono en el componente necromasa del bosque; utilizando metodologías propuestas por CHAVE *et al.* (2005); NASCIMENTO y LAURANCE (2002); AREVALO *et al.* (2003) y por HONORIO y BAKER (2010); se consideró un muestreo efectivo del área de estudio, de acuerdo a las unidades fisiográficas clasificadas por MARCOS (1996). Los resultados obtenidos de la necromasa total del bosque, fue de 41.6985 Mgha<sup>-1</sup>; correspondiendo a la necromasa mayor (31.7167 Mgha<sup>-1</sup>) y a la necromasa menor (9.9818 Mgha<sup>-1</sup>), que componen el 76.06 % y el 23.94 % respectivamente. En relación al carbono, se obtuvo 20.8493 MgCha<sup>-1</sup>, que corresponde al 50 % del total de necromasa existente en el BRUNAS.

## I. INTRODUCCIÓN

En el campo el empobrecimiento del sector agropecuario ha generado otro tipo de problemas como la agricultura migratoria, actividad en la cual hectáreas enteras de bosque amazónico son quemadas para ser transformadas en terrenos de cultivo (alrededor de 150 mil hectáreas por año), los cuales al poco tiempo dejan de ser productivos y son abandonados para volver a ocupar otros bosques, estos efectos son visibles en la actualidad con el desequilibrio del ambiente trayendo consigo desastres naturales en el planeta como inundaciones, sequias, etc. (IPCC, 2007), los servicios ambientales que proporcionan los bosques son de mucho interés en la actualidad para mitigar el calentamiento global, es por ello que en la actualidad se oferta el carbono que se encuentra en los bosques.

Los bosques tropicales pueden actuar como fuentes o sumideros de carbono (HERRERA *et al.*, 2001), esto debido a su capacidad de almacenamiento, liberación o neutralidad en el ciclo del C y su concentración en la atmósfera (Lugo y Brown, 1992; citados por HERRERA *et al.*, 2001).

En los bosques tropicales, existe una gran fuente de carbono, dentro de los compartimentos en que se cuantifican las existencias de este elemento, se encuentran la biomasa aérea y la necromasa (ALVAREZ, 1993).

El componente necromasa puede variar de acuerdo a las unidades fisiográficas en la que se encuentra y a la influencia de factores externos como los climáticos y antrópicos; a pesar de que la proporción de la vegetación no leñosa en la biomasa total del bosque puede ser muy pequeña, esto no quiere decir que no sea importante en su estructura.

En el presente estudio se estimó el aporte de la necromasa en la dinámica del carbono, tanto en árboles muertos en pie y caídos como también en la hojarasca en descomposición existentes en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), con la finalidad de generar información y posibles utilidades económicas, ya que en la actualidad se están realizando pagos por servicios ambientales, siendo uno de los rubros la captura de carbono; para lo cual se plantea la siguiente hipótesis: la acumulación de carbono proveniente del componente necromasa es variable de acuerdo a las unidades fisiográficas que presenta el BRUNAS, lo que permite plantear los siguientes objetivos: evaluar el contenido de carbono en el componente necromasa del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) en las diferentes unidades fisiográficas que presenta, además de determinar el total de necromasa mayor y menor en las diferentes unidades fisiográficas que presenta el BRUNAS y determinar el carbono total en el componente necromasa del BRUNAS.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Bosque tropicales

Los bosques son ecosistemas imprescindibles para la vida y es el hábitat de multitud de seres vivos aparte regulan el agua, conservan el suelo y la atmósfera y suministran multitud de productos útiles; donde la vida humana ha mantenido una estrecha relación con el bosque; y, así mismo, muchas culturas se han apoyado en productos que obtenían del bosque, como madera para combustible y construcción; carbón vegetal, caza, resinas, frutos, medicinas, etc., además se estima que hace unos 10 000 años, cuando terminó el último periodo frío los bosques ocupaban entre el 80 y el 90 % de la superficie terrestre, pero a partir de entonces la deforestación ha sido creciente y en la actualidad los bosques cubren entre un 25 % y un 35 % de la superficie terrestre; al respecto, hace dos siglos han surgido movimientos conservacionistas para proteger bosques y otros ecosistemas, se abre paso con fuerza una nueva actitud de defensa y uso racional de este valor natural (WCMC, 2007).

La madera muerta se reconoce como un componente en los ecosistemas de bosque pues, además que puede representar cantidades significativas de la biomasa total del bosque, es importante porque representa un depósito importante de carbono en los trópicos (HERRERA *et al.*, 2001).

### **2.1.1. Tipos de bosques**

En la tierra se encuentran muy distintos tipos de bosques según las latitudes y altitudes los bosques de coníferas como los de la taiga, selvas tropicales o bosques de árboles de hoja caduca como los de la zona templada, algunos son bosques cerrados, porque las copas de los árboles están juntas unas con otras, formando una cubierta o dosel arbóreo casi continuo; mientras que otros son bosques abiertos, cuando quedan espacios libres entre árbol y árbol (WCMC, 2007).

#### **a) Bosques secundarios**

Los bosques secundarios, en la actualidad han tomado interés en la investigación, debido a que son vegetación leñosa que se establece luego que el suelo ha sido abandonado por acción de la agricultura migratoria (WCMC, 2007); en su mayoría pasan por varias fase de sucesión vegetal, llamado en la zonas como purmas, en este cambio del uso del suelo es donde se emite mayor contenido de CO<sub>2</sub> a la atmosfera pero queda una buena cantidad de carbono almacenado en el componente necromasa que viene a ser todo el material vegetal muerto (necromasa).

La sucesión de las especies pioneras de una asociación son las primeras en establecerse, porque presentan características de colonizadoras, como son de rápido crecimiento, invierten alta energía en la producción de biomasa, consecuentemente abundante producción anual de semillas y la elevada capacidad de disposición colonizadora conocidos como especies de

estrategia de vida "r", las mismas se establecen en condiciones hostiles y en ambientes altamente perturbados (BUENDIA, 1996).

## **2.2. Bosque Reservado de la UNAS (BRUNAS)**

El BRUNAS está ubicado dentro de la jurisdicción de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), se caracteriza por su topografía de colinas, de relieve abrupto con fuertes pendientes que pueden superar fácilmente el 85 % en las partes altas y más moderadas en las partes bajas aproximadamente de 20 a 40 %, actualmente el BRUNAS está afectada por una fuerte presión demográfica que ocasiona la destrucción del bosque y del suelo que provoca el desequilibrio del régimen hídrico (GUTIERREZ, 2007).

El problema de la destrucción y devastación de los bosques tropicales, es tema de análisis desde hace mucho tiempo en distintos foros locales, nacionales e internacionales, donde la deforestación ha sido reconocido como uno de los mayores problemas mundiales. Sin embargo la destrucción de estos ecosistemas continúa creciendo en proporciones alarmantes debido a la intensa presión de la población en busca de alimento, energía, madera, y ganancias económicas ilegales (GUTIERREZ, 2007).

Son pocos los estudios cuantitativos sobre la diversidad florística del BRUNAS dentro de los cuales se incluye el trabajo realizado por RODRIGUEZ (2000), quien menciona que la especie huangana caspi (*Senefeldera inclinata*) es dominante en el bosque primario del BRUNAS,

seguido de las especies shiringa (*Hevea brasiliensis*) (Will) M. Arg. S.V., cicotria (*Psychotria caerulea*) R. & P., huamansamana (*Jacaranda copaia*) (c. Mart. Ex Ad. DC) A. Gentry, caimito (*Pouteria caimito*) (Ruiz López-Pavón) Radlk, cetico (*Cecropia sciadophylla*) C. Martius, cumala (*Viola pavonis*) (ADC) A.C. Smith, apuleya (*Apuleia leiocarpa*) (J. Vogel) J.F. Macbride, y moena (*Nectandra magnoliifolia*) Mez, mientras que en la parte de bosque secundario del BRUNAS la especie shimbillo (*Inga alba*) (Swartz) Will es la que presenta mayor número de individuos seguido de aceite caspi (*Schefflera morototomi*) quina (*Cinchona officinalis*) L. Micrantha, paliperro (*Vitex psedolea* L.), machimango (*Couratori macrosperma*) A. C. Smith, carahuasca (*Guatteria modesta*) R. E. Fries, cumala (*Iryanthera tricornis*), renaco (*Ficus killipii*) (ARG) ARG., moena (*Persea grandis*) Mez., papaya caspi (*Jacaratia digitata*) (OPEP end Soldin Mart), mauba (*Vochyssia lomathophylla*) Stand., tortuga caspi negra (*Marila laxiflora*) Rugby, y caimitillo (*Pourouma minor*) Benoist. Todas estas especies forman parte del contenido de necromasa que se determinó en el BRUNAS.

### **2.3. Clasificación fisiográfica de bosques**

#### **2.3.1. Clasificación fisiográfica según Malleux**

##### **a) Sistema de colinas**

Dentro del sistema de colinas, se diferenciaron en el nivel de exploratorio tres grandes unidades: colinas bajas, colinas altas y montañosos.

En este nivel de trabajo (semi - detallado) cada una de estas unidades se subdivide en:

Clase I: Valor moderado de pendiente y altura relativa

Clase II: Condiciones adversas de pendientes y alturas relativa

Colina baja clase I: son colinas que tiene una altura absoluta máxima de 30 m y con pendientes moderadas de 15 al 30 %, aproximadamente.

Colina baja clase II: son formaciones con cerros de una altura entre 30 a 60 m, aproximadamente, y con pendientes hasta el 50 %, lo cual todavía permite un buen acceso para el aprovechamiento, trazado de vías de extracción, etc.

Colina alta clase I: esta unidad representa a la agrupación de colinas cuya altura relativa es hasta 100 m y con pendientes hasta 60 %, lo que ya es una seria limitación para el aprovechamiento, pero de no existir un bosque con alto contenido volumétrico comercial, por unidad de área no se justificaría su aprovechamiento; sin embargo, como se podrá observar la vegetación va disminuyendo a medida que se hacen más severas las condiciones fisiográficas, así la vegetación ubicada en la cumbre de las colinas es baja y de bajo vigor, debido a que los fenómenos atmosféricos son más

severos en estas partes, además de que el suelo está empobrecido por la erosión.

Colina alta clase II: esta unidad está compuesta por colinas de una altura hasta de 180 m y, con pendientes que llegan a 70 a 80 %; en estas condiciones la actividad humana se ve muy dificultada, por lo que muy difícilmente es aprovechado este tipo de bosque.

Montañoso: esta unidad está formada por cerros bastante altos (más de 180 metros de altura) y con pendientes muy pronunciadas. Estas condiciones topográficas, eliminan la posibilidad de un aprovechamiento forestal económico y, por otro, hacen necesarias medidas de protección con el fin de mantener intacto el recurso y evitar todo proceso de erosión, de tal forma que el montañoso pueda considerársela también como un bosque de protección o bosque protector de cuencas hidrográficas y regulador del sistema hídrico (MALLEUX, 1982).

### **2.3.2. Clasificación fisiográfica del BRUNAS**

Según MARCOS (1996), de acuerdo a la clasificación de Malleux, el BRUNAS presenta la siguiente fisiografía:

- Colinas Bajas Clase 1

Son colinas que tienen una altura relativa máxima de 30 m y con pendientes moderados de 20 al 40 %. Los bosques circunscritos en esta unidad han sido altamente intervenidos se presentan en su mayor parte como pastizales y purmas.

- Colinas Bajas Clase 2

Comprenden una altura relativa entre 30 y 50 m aproximadamente, con pendientes hasta el 70 % la presencia de esta unidad es mínima dentro del BRUNAS.

- Colinas Altas Clase 1

Esta unidad representa a la agrupación de colinas cuya altura relativa es hasta los 80 m y con pendientes hasta 60 %. En su mayor parte el área está cubierta por árboles jóvenes y una abundante vegetación arbustiva.

- Colinas Altas Clase 2

Esta unidad está compuesta por colinas de una altura hasta de 100 m y con pendientes que oscilan entre el 60 y 80 %. Al igual que en el caso anterior presenta cierto grado de intervención, aunque es menor debido a que presenta zonas menos accesibles.

#### - Montaña

Unidad compuesta por las partes más altas del Bosque Reservado, con alturas relativas que superan los 100 m presenta dificultades para su acceso tanto por la pendiente como por la ausencia de caminos en buen estado. Esta unidad corresponde a las formas de tierra más altas totalmente degradadas, debiendo ser considerada, como zona de protección.

### **2.4. El ciclo del carbono**

El CO<sub>2</sub> existente en la atmósfera tiene una concentración de más del 0.03 % y cada año aproximadamente un 5 % de estas reservas de CO<sub>2</sub> se consumen en los procesos de fotosíntesis, es decir que todo el anhídrido carbónico se renueva en la atmósfera cada 20 años (HONORIO, 2010), la vuelta de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se hace cuando en la respiración los seres vivos oxidan los alimentos produciendo CO<sub>2</sub>. En el conjunto de la biosfera la mayor parte de la respiración la hacen las raíces de las plantas y los organismos del suelo y no, como podría parecer, los animales más visibles (CONCHA *et al.*, 2007).

Los vegetales verdes que contienen clorofila toman el CO<sub>2</sub> del aire y durante la fotosíntesis liberan oxígeno, además producen el material nutritivo indispensable para los seres vivos, como todas las plantas verdes de la tierra ejecutan ese mismo proceso diariamente no es posible siquiera imaginar la cantidad de CO<sub>2</sub> empleada en la fotosíntesis, el equilibrio en la producción y consumo de cada uno de ellos por medio de la fotosíntesis hace posible la vida,

en la medida de que el CO<sub>2</sub> es consumido por las plantas también es reemplazado por medio de la respiración de los seres vivos, por la descomposición de la materia orgánica y como producto final de combustión del petróleo, hulla, gasolina, etc. (CONCHA *et al.*, 2007).

Cuando deseamos estudiar el ciclo del carbono debemos tener en claro la diferencia entre stock y flujo del carbono, el stock es todo aquello que se encuentra almacenado en los componentes del bosque y los flujos son todos aquellos procesos que afectan el stock, por ejemplo, cuando cuantificamos el stock de un bosque, muestreamos: a) la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; b) la necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta; y c) el carbono en el suelo de la materia orgánica. Cuando cuantificamos los flujos del bosque consideramos la variable tiempo y muestreamos: a) la productividad que es un resultado de restarle a la fotosíntesis, la respiración, expresada en el crecimiento del fuste, producción de ramas, producción de hojas, y producción de raíces; b) la mortalidad que es la muerte y caída de troncos y ramas, la caída de hojas y la muerte de raíces; y c) la descomposición de la madera y de la hojarasca causada por los organismos degradadores. Siempre debemos tener en cuenta que la biomasa se expresa en Mg ha<sup>-1</sup> y el flujo en Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y que el 50 % de la biomasa seca es carbono (HONORIO, 2010).

Los stock de carbono se expresan en términos de peso por unidad de área (Mg ha<sup>-1</sup>), mientras que los valores de los flujos siempre incluyen la variable tiempo y cuantifican la cantidad de carbono que entra o sale de un

componente del stock de carbono en el tiempo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), además el balance global es el equilibrio entre intercambios (ingresos y pérdidas) de carbono entre los reservorios o entre una ruta del ciclo específica (por ejemplo, atmósfera - biosfera) un examen del balance de carbono de un fondo o reservorio puede proporcionar información sobre si funcionan como una fuente o un almacén para el dióxido de carbono (CONCHA *et al.*, 2007).

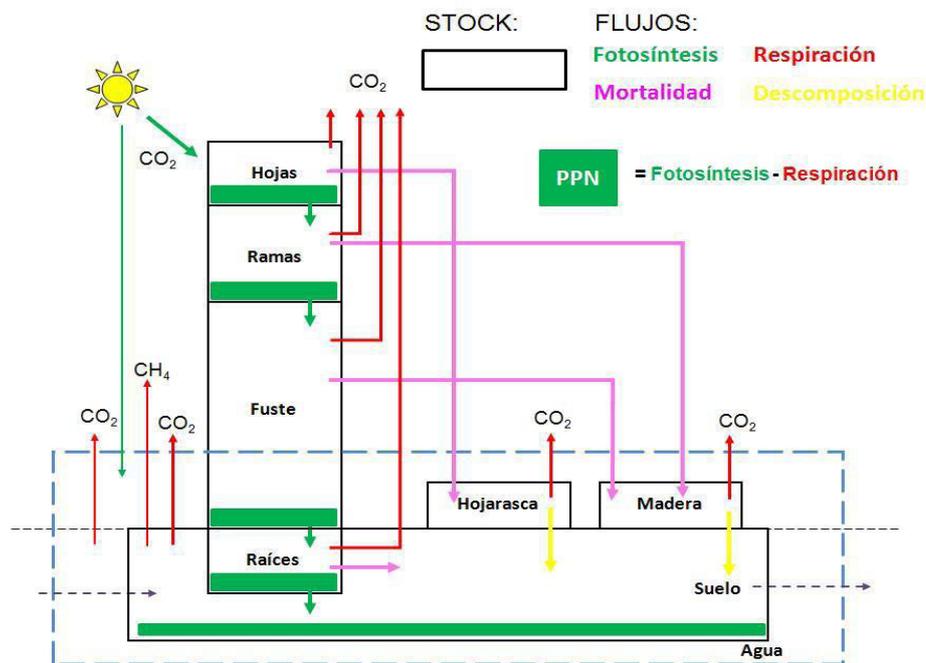


Figura 1. Diagrama de los stocks y flujos de carbono en un bosque tropical.  
Fuente: (HONORIO y BAKER, 2010).

#### 2.4.1. El ciclo del carbono en los bosques tropicales

Los bosques tropicales juegan un papel importante en el ciclo global del carbono debido a la gran cantidad de stock de carbono que

almacenan (aproximadamente 424 Pg C incluyendo los suelos y necromasa, o 37 % de carbono almacenado en los ecosistemas boscosos) y a los grandes flujos de carbono que estos bosques procesan cada año. Fijan aproximadamente 46 Pg C año<sup>-1</sup>, o 33 % de la productividad primaria neta terrestre global (Dixon *et al.*, 1994; citado por CRUZADO, 2010).

La Amazonía, con sus 6 millones de km<sup>2</sup> es el bosque tropical más grande del mundo y alberga aproximadamente 86 Pg C, excluyendo el carbono en el suelo, la mayoría de este carbono está almacenado en la biomasa viva; la necromasa contribuye aproximadamente 9.6 Pg C el carbono en el suelo es un componente importante del stock de carbono total y puede contribuir aproximadamente 50 – 70 % del carbono almacenado en los otros componentes del bosque (MALHI *et al.*, 2009).

## **2.5. Rol de los bosques en el cambio climático**

La superficie forestal mundial es de 3.9 billones de hectáreas, representando 1/3 de la superficie continental; de las cuales 90 % son bosques naturales o nativos y de ellas un 12 % son áreas protegidas. Los bosques plantados representan un 4 %, encontrándose un 50% en países desarrollados, los bosques ofrecen un sin número de beneficios a las personas en forma de servicios ambientales, incluyendo entre ellos los denominados servicios de aprovisionamiento (alimentos, fibras, agua y materia prima), los servicios de regulación (control de erosión, ciclo de nutrientes, regulación del clima, control de inundaciones, aumento de la productividad agrícola), los servicios culturales

(recreativos, patrimonio histórico, costumbres, etc.) y los servicios de soporte (provisión de agua dulce, conservación de la biodiversidad, formación de suelos) (FARN, 2008; citado por CMFSC, 2010).

A pesar de que los bosques sufren también las consecuencias del cambio climático los mismos pueden ser una parte importante de la solución, las especies forestales habitan los sitios adecuados para su aptitud si otras actividades humanas lo permiten, pero cuando las condiciones reinantes cambian las especies arbóreas pueden adaptarse o hacer que su descendencia ocupe lugares nuevos y más adecuados, es así que los bosques pueden ayudar a ganar tiempo mientras se desarrollan fuentes alternativas de energía y con un poco más de esfuerzo se cambie el modo en que el hombre se relaciona con el planeta tierra, básicamente en lo que respecta a su estilo de vida y patrones de consumo (BRAVO *et al.*, 2007).

Concretamente los bosques pueden mitigar biológicamente los efectos del cambio climático mediante la conservación de los actuales reservorios de CO<sub>2</sub> fijado, la captura de CO<sub>2</sub> mediante el crecimiento de los bosques ya existentes además del stock del CO<sub>2</sub> que se encuentre en el componente necromasa o mediante repoblaciones forestales, sustitución de combustibles fósiles por biomasa y mediante la conservación del CO<sub>2</sub> fijado en los productos derivados de la madera (muebles, aberturas, construcciones, etc.), y sin duda alguna, cualquiera de las formas de secuestro de carbono trae beneficios ecológicos secundarios, de este modo los bosques son importantes

para mantener equilibrado el balance global de CO<sub>2</sub>, pues el mismo cumple un papel fundamental en sus procesos fisicoquímicos y biológicos a través del ciclo de carbono, los procesos de captura y emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono (vegetación aérea y radical, materia en descomposición, suelos y productos forestales). Tal es así que diferentes tipos de bosques almacenan distintas cantidades de carbono en la biomasa, dependiendo del estado sucesional en el que se encuentran, edad, régimen de manejo, composición de especies y tenor de carbono en los compartimientos de cada especie (CMFSC, 2010).

De acuerdo a lo comentado anteriormente en los ecosistemas terrestres el carbono puede encontrarse incluido en la biomasa vegetal (viva y necromasa) y en el suelo (carbono orgánico edáfico, mayormente como sustancias húmicas).

Según (FAO, 2001; citado por CMFSC, 2010), los ecosistemas forestales contienen aproximadamente 61 % del carbono de los ecosistemas terrestres, en contraparte GALLARDO *et al.* (2007) indica que este valor llega a 70 %, es por ello que al capturar y fijar el carbono atmosférico, los bosques contribuyen a la mitigación del efecto invernadero ya que en general un 50 % de la biomasa seca está compuesta por carbono. Aproximadamente un 50 % del total de carbono contenido en los ecosistemas terrestres se encuentran en la biomasa y en los suelos de los ecosistemas forestales, mientras que en las

praderas y sistemas agrícolas se acumulan en 33 y el 17 % del carbono respectivamente.

Globalmente, los ecosistemas boscosos contenían alrededor de 638 Gt de carbono en 2005, donde la mitad (321 Gt) estaba contenida en la biomasa y necromasa. La captura de carbono global promedio es de 1.6 Gt por año o alrededor del 0.25 % del carbono forestal total (UN-DESA, 2009; citado por CMFSC, 2010).

De los ecosistemas forestales los bosques tropicales acumulan las mayores cantidades de carbono seguidos por los bosques boreales. Sin embargo la distribución interna es muy diferente, en los trópicos se acumula mucho más carbono en la vegetación que en los suelos; por el contrario, los suelos de los bosques boreales de zonas templadas y frías reservan cantidades muy superiores a la vegetación.

El crecimiento y desarrollo de la población genera un continuo avance sobre muchos bosques, particularmente en regiones en desarrollo. En África, América Latina y el Caribe se producen los mayores cambios de tierras (CHALMERS, 2009; citado por CMFSC, 2010),

En el cuadro 1 se muestra cómo se distribuye el carbono entre los diferentes ecosistemas terrestres, asimismo como éste se reparte en la biomasa y en el suelo.

Cuadro 1. Producciones y reservas de carbono de los ecosistemas terrestres.

Ecosistema	Superficie	Biomasa ecosistema	Biomasa mundial	Producción ecosistema	Producción mundial	Carbono Suelo ecosistema	$\frac{C}{N}$	Carbono suelo mundial	Carbono total mundial
Unidades	x 106 km <sup>2</sup>	MgCha <sup>-1</sup>	PgC	MgCha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	PgCa <sup>-1</sup>	MgCha <sup>-1</sup>		PgC	PgC
Bosque Tropical	17 a 25	120 a 190	215 a 230	7 a 19	14 a 22	13	10	214 a 250	428 a 553
Bosque Templado	10 a 13	57 a 140	59 a 139	4	6.5 a 8.1	90	14	100 a 153	159 a 292
Bosque Boreal	12 a 14	42 a 90	57 a 88	2.5	2.6 a 3.2	150	14	338 a 471	395 a 559
Sabana	15 a 25	18 a 29	66 a 79	3.5 a 8	14.9 a 17.7	54	16	120 a 264	326 a 330
Pradera Templada	9 a 15	7 a 14	9 a 23	6 a 7	5.3 a 7	230	11	170 a 295	200 a 304
Agro-sistemas	14 a 15	43	3 a 4	3	4 a 5	-	10	128 a 180	131 a 169
Semiárido Matorral	42 a 46	2 a 4	8 a 10	1	1.4 a 3.5	-	10	20 a 191	159 a 199
Tundra, Humedales	10 a 12	2 a 3	17 a 21	0.5 a 30	0.5 a 4.3	220	20	117 a 225	357 a 367
<b>Total</b>	150	-	466	60 a 63	-	-	-	1500 a 2000	2200 a 2500

Fuente: CMFSC (2010).

Dentro de los principales ecosistemas forestales (Cuadro 1), de acuerdo con la climatología zonal se destaca el carbono capturado como biomasa aérea de las regiones tropicales pluviales (aproximadamente 200 MgCha<sup>-1</sup>). Le sigue en orden de importancia los bosques tropicales de estación seca y los bosques de zonas templadas (hasta 150 MgCha<sup>-1</sup>), y finalmente los bosques boreales con menos de 90 MgCha<sup>-1</sup>, las tasas de captura de carbono pueden variar considerablemente entre conformaciones boscosas, sin embargo los bosques naturales pueden ser considerados como en equilibrio dinámico en relación al carbono bajo ciertas condiciones climáticas y para ciertas concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>. Para CMFSC (2010), las producciones medias forestales son muy variables, donde las mayores se producen desde los bosques tropicales (promedio 10 MgCha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>), luego en los bosques templados con un promedio de 4 MgCha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> y finalmente en la taiga (bosques de coníferas cercanas al Ártico) con menos de 3 MgCha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Con cantidades muy inferiores se encuentran los bosques o matorrales de regiones secas (menos de 1 MgCha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>).

Debido a que los bosques tropicales ocupan una gran superficie respecto del total del planeta se estima que pueden acumular como biomasa aérea unos 220 Pg de carbono, que es prácticamente la mitad de la biomasa terrestre, siendo esta la razón por el gran interés de su conservación.

## **2.6. Mecanismos para reducir los GEI**

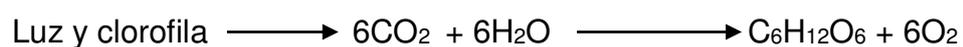
Habiéndose reconocido el potencial del daño ocasionado por el cambio climático, actualmente, ya existe un consenso en la comunidad científica; en que es indispensable reducir las emisiones de los GEI a la atmosfera, intervenciones productivas que tengan como meta la captura de carbono tienen potencial de contribuir con la generación de ingresos en comunidades rurales y de productores familiares. Cuando son realizados de forma correcta, acciones direccionadas a la captura de carbono, además de contribuir para la mitigación de los efectos negativos de cambios climáticos, deben promover el uso sostenible de los recursos naturales y la mejora de comunidades rurales. Tales intervenciones ocurren por medio de la utilización de sistemas de uso de la tierra con mayor producción de biomasa, y que resulta en stock más elevado de carbono. En efecto, agricultores, familiares y comunidades tradicionales pueden de hecho, desempeñar un servicio ambiental por medio de actividades forestales y agroforestales que contribuyen con el almacenamiento de carbono. Con todo, hasta el momento han sido irrisorios los beneficios financieros recibidos por este segmento, resultantes del acceso al mercado de carbono (IPCC, 2007).

Con la entrada en vigor del protocolo de Kyoto en el 2005 el mercado internacional de carbono pasó a ser una realidad jurídica y práctica. Además del mercado asociado al cumplimiento del protocolo de Kyoto, otros mecanismos (voluntarios y paralelos) generan oportunidades para complementar ingresos provenientes de las actividades forestales por medio

del ingreso derivado por los certificados de créditos de carbono. Entre tanto, las metodologías y procedimientos exigidos para comprobar la captura y almacenamiento del carbono por proyectos forestados son considerados restrictivos, siendo que la mayoría de estos mercados todavía no negocian certificados originados a partir de la reducción de emisiones de deforestación y degradación.

## 2.7. Captura de carbono

Las plantas fijan carbono a través de la clásica ecuación de la fotosíntesis, retirando gas carbónico de la atmósfera y el agua del suelo, emitiendo oxígeno y capturando carbono en su biomasa por medio de su crecimiento apical y radicular. Este proceso se produce en presencia de luz y por la acción de la clorofila de las plantas.



Mediante este proceso de biosíntesis los carbohidratos son depositados en la pared celular, generando biomasa o materia orgánica, llevando adelante el proceso conocido como “secuestro de carbono”, este intercambio de carbono con la atmósfera efectuado en los ecosistemas forestales origina el almacenamiento en la biomasa vegetal y en el suelo, por ese motivo el árbol es uno de los seres vivos que mayor capacidad de almacenamiento de carbono en su biomasa debido a su porte aventajado, a su longevidad y a la posibilidad de crecer en macizos (CMFSC, 2010).

Los bosques son considerados como sumideros de carbono y la forestación y reforestación son aceptados como medio efectivo para la captura de gas carbónico de la atmósfera contaminada, la fijación del carbono en un bosque se da en todos los compartimentos: follaje, ramas, fuste, raíces, hojarasca o el material caído y también los horizontes húmicos de los suelos. El secuestro o captación de carbono en la Convención del Clima se refiere a la mitigación biológica, o sea la forma natural de secuestrar CO<sub>2</sub> por los vegetales a través de la fotosíntesis, cuyo proceso permite fijar el carbono en forma de materia leñosa en las plantas, este concepto fue lanzado desde el principio de la Convención del Clima, consagrándose recién a partir de la Conferencia de Kyoto, cuando fueron aprobados los mecanismos de flexibilización que incorporarían el secuestro forestal del carbono (Sanquetta, 2005 y Chang, 2004; citados por CMFSC, 2010).

En principio el Protocolo de Kyoto (PK), emanado de la Conferencia de Kyoto en 1997 (COP), consideró cuatro formas de secuestro:

- a) Forestación o reforestación que secuestra carbono;
- b) Manejo forestal sustentable que no solo secuestra sino que también reduce emisiones;
- c) Conservación y protección forestal contra la deforestación que es una forma de emisión evitada; y

- d) Sustitución de combustibles fósiles por biomasa renovable para reducir emisiones, siendo que la reducción de la emisión es permanente (IPCC, 2007).

En años recientes, a medida que los negociadores se encaminan hacia un nuevo acuerdo global que suceda al Protocolo de Kyoto cuando finalice su primer periodo de compromisos en 2012, el combate contra la deforestación (particularmente en el trópico) estará de nuevo sobre la mesa, ya que se cree que es cada vez más crucial para la mitigación del cambio climático futuro.

De esta manera los bosques y su mantenimiento en el tiempo juegan un rol principal no solo como factor de desarrollo de un país y de sus modelos de sostenibilidad, sino que adquieren protagonismo mundial por su reconocimiento como sumideros en los sistemas contables de los ciclos de carbono. Sin embargo, aparte de las incertidumbres sobre las tasas de cambio de la cobertura y masa forestal, es particularmente crítica la falta de información cuantitativa de biomasa y carbono almacenado en estos ecosistemas y particularmente en las poblaciones de árboles (CMFSC, 2010).

### **2.7.1. Carbono y materia orgánica en el suelo**

El carbono orgánico presente en los suelos naturales representa un balance dinámico entre la absorción del material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) (Mena, 2008; citado por RUIZ, 2010).

FAO (2010), citado por RUIZ (2010), indica que los modelos conceptuales y de simulación separan la materia orgánica del suelo en fracciones que son fácilmente descompuestas y resistentes, que se caracterizan por bajas tasas de recambio; dividen a la materia orgánica del suelo en tres fracciones: 1) fracción activa, que consta de microorganismos vivos y productos microbianos, corresponde a 4 % del carbono orgánico total y el tiempo de recambio está entre 2 a 4 años; 2) fracción lenta. Que es más resistente a descomposición (tiempo de recambio de 20 a 50 años) como resultado de la protección física y química, 3) fracción pasiva, que es físicamente protegida o químicamente resistente y tiene un tiempo de recambio más prolongado (800 a 1200 años); estas dos últimas fracciones representan aproximadamente el 96 % del carbono orgánico total.

Rojas (1999); citado por RUIZ (2010), indica que el contenido de materia orgánica y necromasa, ha sido estudiado en una gran cantidad de suelos en el mundo y su mayor o menor proporción ha sido atribuida a diferentes factores: precipitación, temperatura, humedad relativa, contenido de arcilla, factor biótico, altitud asociada con la disminución de la temperatura, material parental, etc.

### **2.7.2. Necromasa de un bosque**

Se considera como necromasa a la madera muerta y la hojarasca en proceso de descomposición (HERRERA *et al.*, 2010). Para determinar el

stock de la hojarasca, se procede a establecer parcelas donde se recoge todas las hojas, flores y frutos sobre el suelo y se lleva el material para ser secado.

Para determinar el stock de la madera muerta se definen realizan las medidas de los diferentes componentes necromasa menor y mayor distribuidos en toda la parcela que deben estar correctamente delimitados. El procedimiento inicial consiste en separar los trozos por tamaño (2-5 cm, 5-10 cm, >10 cm) y grado de descomposición (1-3). Los trozos menores a 10 cm se pesan y cuando el peso supera los 2 kg se separa el 10% que será llevado a gabinete para ser secado y así determinar el contenido de humedad para el 100 %. Además se realiza la evaluación de los individuos muertos en pie que se encuentran dentro de la unidad de muestreo mayor (parcela de 0.5 ha), a los cuales se les mide diámetro, longitud y grado de descomposición.

Las evaluaciones consecuentes se realizan cada tres meses siguiendo la metodología antes explicada, con esto se podrá determinar el flujo de carbono del componente ramas y troncos. Cada tres años se realiza una remediación de la parcela con el fin de determinar los cambios en la necromasa en el tiempo.

Los detritos vegetales se definen como la materia orgánica que reposa en la superficie del suelo (FRANCIS, 1951); generalmente en estado fresco y con bajo grado de descomposición, esta puede incluir, además,

material cosechado por animales y materia orgánica lixiviada, pero frecuentemente su evaluación es difícil (KOECHLIN, 1979).

La necromasa o detritos vegetales pueden separarse en hojarasca fina y detritos no finos o detritos de madera gruesa (DMG); la hojarasca fina (HF) está conformada por hojas, flores, frutos, semillas y fragmentos de éstos, ramitas y material leñoso con diámetros variablemente definidos, algunos autores consideran un diámetro límite de 2 cm (MORAN, 2000), los detritos de madera gruesa se definen como la masa vegetal muerta compuesta por pedazos de madera, leños, troncos, ramas o árboles muertos en pie (AMP) o caídos (SALDARRIAGA, 1994), la descomposición lenta de la madera hace que este compartimiento almacene carbono durante mucho tiempo y sea un potencial sumidero a largo plazo caídos (HERRERA *et al.*, 2001).

Generalmente las muestras de HF se recolectan en las mismas subparcelas el material herbáceo y leñoso pequeño. En el trabajo presentado por WOOMER (1998), la recolección de HF se hizo en un subcuadrante de 0.5 m x 0.5 m dentro de la subparcela del material herbáceo. MORAN (2000) estimaron la hojarasca fina en dos parcelas permanentes con 10 subparcelas de 1 m<sup>2</sup>, las muestras tomadas en las subparcelas se pesan en campo, y una submuestra se seca en el horno a 80 °C hasta alcanzar peso constante y obtener el peso seco total de la muestra (MÁRQUEZ, 2000).

### 2.7.3. Métodos para determinar la captura de carbono

Para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en cual el bosque alcanzará su madurez, los índices de captura de carbono varían de acuerdo al tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque. La acumulación de carbono en los bosques, llega eventualmente a un punto de saturación, a partir del cual la captura de carbono resulta imposible, el punto de saturación se presenta cuando los árboles alcanzan su madurez y desarrollo completo.

Plantas, humanos y animales, son formas de vida basadas en el carbono. Estas formas de vida utilizan energía solar para obtener el carbono que es necesario en la química de las células. Los árboles absorben  $\text{CO}_2$  a través de los poros en sus hojas. Y particularmente por la noche, los árboles emiten más  $\text{CO}_2$  del que absorben a través de sus hojas además, una tonelada de carbono en la madera de un árbol ó de un bosque, equivale a 3.5 toneladas aproximadamente de  $\text{CO}_2$  atmosférico. Una tonelada de madera con 45 % de carbono contiene 450 Kg de carbono y 1575 Kg de  $\text{CO}_2$ . Árboles maduros, plantados a distancia de 5 metros forman bosque de 400 árboles por hectárea. Si cada árbol contiene 300 Kg de carbono, y 42 % de la madera del árbol es carbono, esto significaría que cada árbol pesa 714 Kg En este caso, la captura de carbono sería de 120 toneladas por hectárea ( $400 \times 714 \times 42 \%$ ) (ÁLVAREZ, 1993).

El promedio mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> en 2001 fue 3.9 t por persona (Banco Mundial), se necesitarían 1.5 ha por persona, plantadas con árboles en desarrollo en regiones sin forestación para compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> de esta sola persona, y 9,000 millones de hectáreas para compensar temporalmente las emisiones de los 6,000 millones de habitantes en el mundo. Sin embargo, esto sería insuficiente, porque la población y las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan diariamente, cada año se requerirían mucho más de 9,000 millones de hectáreas plantadas con árboles en desarrollo en regiones sin forestación para compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> y reponer los árboles muertos, sin embargo, 70 % del planeta tierra está cubierto por agua; las tierras sin forestación generalmente no son adecuadas para la mayoría de las especies de árboles; y los suelos fértiles se requieren para producir alimentos (IPCC, 2007).

La plantación de árboles beneficia enormemente el medio ambiente, pero no resuelve el problema de calentamiento global que es causa de la deforestación. Se requiere modificar nuestros patrones de vida y de consumo relacionados con la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> (gas de efecto invernadero) para estar en posibilidad de mitigar los efectos del calentamiento global (MÁRQUEZ, 2000).

Hay que insistir en que la captura de carbono en bosques y suelos es reversible, el CO<sub>2</sub> que tomo muchos años (décadas) para ser capturado y almacenado en troncos y ramas de árboles en los bosques podría quedar liberado en la atmósfera, debido a incendios forestales; manejo inadecuado de

los bosques; cambios en los usos de suelo; plagas y enfermedades vegetales; y por efectos del calentamiento global.

De tal manera, el CO<sub>2</sub> regresaría a la atmósfera empeorando la situación actual que afecta negativamente las condiciones climáticas, la salud humana y la vida en el planeta (MÁRQUEZ, 2000). Las prácticas para captura de carbono deben continuar, aún después de haber llegado al punto de saturación para impedir la emisión de carbono nuevamente a la atmósfera.

## **2.8. Referencias sobre necromasa en la captura de carbono en el Perú y el extranjero.**

SCHLEGEL (2001), realizó un estudio de carbono en un bosque de clima tropical y otro de clima templado del hemisferio sur con la finalidad de comprobar que en zonas más frías el carbono almacenado es menor que en un clima tropical en donde obtuvo: carbono en un bosque tropical 662.06 t C ha<sup>-1</sup> y en bosque templado 423.86 t C ha<sup>-1</sup>, representando la necromasa 15.23 % y 9.56 % respectivamente.

GAYOSO (2006), indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque. Destacan los bosques siempreverdes adultos, donde el carbono total alcanza 606.80 MgCha<sup>-1</sup>, con la siguiente distribución: 283.75 MgCha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea; 79.92 MgCha<sup>-1</sup> en raíces (diámetro menores de 5 mm); 2.79 MgCha<sup>-1</sup> en el

sotobosque; 53.56 MgCha<sup>-1</sup> en la necromasa; 5.87 MgCha<sup>-1</sup> en la hojarasca y 180.91 MgCha<sup>-1</sup> en los 30 cm de suelo.

CONCHA *et al.* (2007), determinaron las reservas de carbono de la biomasa aérea de sistemas agroforestales en el departamento de San Martín, obteniendo como resultado 26.2 t C ha<sup>-1</sup> para un sistema agroforestal de 5 años hasta un 47.07 t C ha<sup>-1</sup> de un sistema agroforestal de 12 años.

RODRIGUEZ *et al.* (2009), realizó una estimación de carbono en un bosque de Pino - Enciso en México, con la finalidad de obtener un resultado que le sirva de línea base para bosques homogéneos ya que en la mayoría de investigaciones se realizan en bosques heterogéneos y dándole como resultado 110 t C ha<sup>-1</sup>, donde la necromasa representaba el 9.7 % del total de carbono.

CRUZADO (2010), determinó el contenido de carbono total en la Concesión para Conservación "Alto Huayabamba", en el departamento de San Martín obteniendo un resultado final de 87.67 MgCha<sup>-1</sup> y en el componente necromasa tanto necromasa mayor y menor obtuvo un 15.41 MgCha<sup>-1</sup>.

RUIZ (2010), los factores que aceleran el flujo hacia el suelo de asimilados de carbono en las plantas son: hojarasca con concentraciones altas de asimilados, asimilados ricos en nutrientes, carbohidratos, aireación. El acumulado de carbono almacenado en hojarasca es de 0.0028 MTnCha<sup>-1</sup>.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Características generales del área de estudio**

##### **3.1.1. Antecedentes del Bosque Reservado de la UNAS (BRUNAS)**

Desde 1942, según convenio entre los países del Perú y los Estados Unidos de Norteamérica, fue establecida la Estación Experimental de Tingo María, al ser creada la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en 1964, pasa a ocupar el área perteneciente a la estación experimental, posteriormente con la creación de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en 1979 el Bosque Reservado pasó a ser administrado por ésta, dentro de lo que se conoce como Bosque Reservado de la UNAS (BRUNAS).

##### **3.1.2. Ubicación política**

El BRUNAS, se encuentra dentro el predio UNAS, ubicado en la margen derecha del río Huallaga, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco; en la parte de selva alta, altitudinalmente se entre 600 y cerca de 2 000 msnm (INRENA, 1994), la extensión total del BRUNAS es de 217.22 ha y cuenta con un perímetro de 6935.36 m, el Bosque Reservado limita por el norte con la cooperativa de vivienda Asunción Saldaña, por el

oeste con la cuenca del río Supte, por el este con el Campus Universitario y por el sur con la quebrada Cochero.

### 3.1.3. Localización geográfica en coordenadas UTM

#### a) Coordenadas UTM del BRUNAS

Cuadro 2. Coordenadas UTM del BRUNAS.

<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altura</b>
389857	8969612	725

#### b) Coordenadas UTM de las parcelas instaladas

Se instalaron 10 parcelas, dos por cada unidad fisiográfica que tienen las siguientes coordenadas geográficas y altura de la parte céntrica de la parcela:

Cuadro 3. Coordenadas UTM de las parcelas instaladas.

UNIDAD FISIOGRÁFICA	PARCELA N°	EXTENSIÓN (ha)	COORDENADAS		
			ESTE	NORTE	ALTURA
Colina baja clase 1	1	23.50	390716	8970884	741
	2		390941	8970235	739
Colina baja clase 2	1	34.16	390930	8970842	769
	2		391154	8970168	757
Colina alta clase 1	1	92.56	391327	8965946	788
	2		391309	8970114	775
Colina alta clase 2	1	40.25	391868	8970070	931
	2		391811	8970377	934
Montaña	1	26.75	392100	8970008	954
	2		391949	8970508	963

#### 3.1.4. Ecología

Ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE (1982), Tingo María se encuentra en la formación vegetal bosque muy húmedo Pre-montano Tropical (bmh-PT), y de acuerdo a las regiones naturales del Perú corresponde a Rupa Rupa o Selva Alta.

#### 3.1.5. Condiciones climáticas

La temperatura promedio de la provincia de Leoncio Prado y por ende de la Universidad Nacional Agraria de la Selva es de 24° C, siendo la máxima de 30 °C y la mínima de 18 °C. La precipitación promedio anual es de

3300 mm. La humedad relativa fluctúa entre los 80 y 90 % y el ritmo de variación está de acuerdo al ciclo de lluvia, las condiciones climáticas durante el desarrollo del trabajo no vario mucho del promedio a pesar de que se realizó en los meses de invierno.



Figura 2. Ubicación del área estudiada.

### 3.2. Materiales

Los materiales usados en la investigación fueron utilizados de acuerdo a la necesidad del trabajo trascendiendo el GPS, forcípula, balanza digital, estufa y carta nacional.

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Recopilación de información

Se procedió a la recopilación de información referencial o secundaria de los diferentes trabajos realizados anteriormente en el BRUNAS sean prácticas pre - profesionales, tesis entre otros estudios, además de toda información que fue brindada por los docentes de la facultad de Recursos Naturales sobre el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

### **3.4. Fase de campo**

#### **3.4.1. Reconocimiento e instalación de la zona de estudio**

Con la utilización del mapa previamente elaborado, se realizó un reconocimiento *in situ* de la zona de estudio, con la finalidad de identificar las unidades fisiográficas de evaluación para su posterior instalación, las repeticiones fueron de 2 por cada unidad fisiográfica las mismas que tuvieron las siguientes características: ecosistemas forestales con poco o nula alternación por presión antrópica o acceso adecuado, para que la obtención de muestras que sean representativas de ecosistemas naturales .

#### **3.4.2. Evaluación de necromasa**

##### **a) Selección del área de estudio**

Teniendo como base un mapa fisiográfico delimitado por clases y siendo el BRUNAS una zona explorada y con pocas vías de acceso, la

selección de los sectores para el establecimiento de las parcelas se realizó teniendo en cuenta la accesibilidad, conocimiento del área y zonas sin conflictos con los usuarios. Para ello se utilizó un mapa con los estratos identificados en la fase de gabinete y un receptor GPS, para ubicar en el campo el tipo de colina seleccionada para el estudio. Luego de ello, se realizó un recorrido de reconocimiento con la finalidad de localizar los sitios con bosques continuos, poco alterados y relativamente accesibles. Sobre la base de este reconocimiento, se seleccionó al azar un sitio para el establecimiento de la parcela.

#### **b) Diseño y delimitación de las parcelas**

El tamaño de la unidad de muestreo se estableció en 0.5 hectáreas, lo cual permitió una caracterización eficiente y detallada de la composición florística, dispersión de las especies y de los parámetros volumétricos y biomasa (CRUZADO, 2010).

En cuanto al diseño de la unidad de muestreo, en estudios realizados en la Amazonia, se ha demostrado que la forma de unidad de muestro rectangular tipo faja es más eficiente para la evaluación de bosques tropicales de alta variabilidad (CRUZADO, 2010).

Para nuestro estudio las parcelas fueron de forma rectangular, de 50 m de ancho por 100 m de largo y dividido en 4 subparcelas o unidades de

registro de 25 x 50 m. En el centro se trazó un cuadrante de 20 x 20 m en el cual se incluyó otro cuadrado de 4 x 4 m. La orientación que se dio a las parcelas fue de Este – Oeste o Norte – Sur, dependiendo de la fisiografía del terreno (Ver figura N° 3) (CRUZADO, 2010).

### **3.4.3. Determinación de necromasa**

Se refiere a la materia orgánica que reposa sobre la superficie del suelo, generalmente en estado fresco y con bajo grado de descomposición, también incluye material cosechado por animales. Se subdivide en dos grupos:

#### **a) Necromasa mayor**

También conocida como detritos de madera gruesa. Es toda la masa vegetal muerta compuesta por pedazos de madera, leños, troncos, árboles muertos en pie (AMP) y árboles muertos caídos (AMS), fueron evaluados en la parcela principal 50 m x 100 m y en las subparcelas de 25 m x 50 m, 20 m x 20 m y 10 m x 10 m (CRUZADO, 2010).

##### **a.1) Necromasa de árboles muertos en pie**

Para la evaluación de los árboles muertos en pie, se evaluó todos los árboles mayores de 10 cm de dap en la parcela de 50 m x 100 m. En la subparcela de 20 m x 20 m se evaluó los árboles comprendidos entre 2.5 cm  $\geq$

dap <10 cm. Se anotó si el árbol aún presenta ramas (CR) o es sólo un fuste (SR) (CRUZADO, 2010).

### **a.2) Necromasa de árboles muertos en la superficie del suelo**

Para la evaluación de los árboles muertos en la superficie del suelo se dividió a la parcela en cuatro cuadrantes de 25 x 50 m y 10 x 10 m, de los cuales se escogió al azar dos cuadrantes (para cada tamaño), donde se evaluó la madera muerta que está en el suelo (fustes, ramas, troncos). En los cuadrantes de 25 x 50 m se evaluó todos los troncos y ramas mayores de 10 cm de diámetro, registrándose el diámetro, en varios sectores del fuste y la longitud total dentro del cuadrante correspondiente; en los casos que el fuste atraviese la parcela, solo se registró la longitud de la parte comprendida dentro de ella. En los cuadrantes de 10 x 10 m, se evaluó los troncos y ramas comprendidos entre  $2 \text{ cm} \geq \text{diámetro} < 10 \text{ cm}$ . En este caso, se tomó el peso total de madera por cada clase de descomposición y se saca una sub muestra (10 %), para llevar al laboratorio para determinar su peso seco y hacer la inferencia al total encontrado en cada cuadrante (CRUZADO, 2010).

Cuadro 4. Clases de descomposición de la madera muerta.

Categoría	Descripción
1	Árbol que recién acaba de morir, presenta más del 75% de madera sólida o dura. La corteza está intacta y presenta todavía ramas finas y el fuste está entero y sin ningún signo de descomposición.
2	El árbol ha experimentado algún signo de decadencia; la madera es aún sólida pero sin ramas finas y la corteza empieza a desprenderse.
3	Fuste con más del 75% de la madera blanda y descompuesta, se puede penetrar un clavo con la mano sin mayor esfuerzo y la madera se derrumba si se pisa.

Fuente: MORAN (2000).

#### **b) Necromasa menor (hojarasca)**

El stock de este componente de necromasa se colectó de la superficie del suelo usando cuadrantes típicamente de 50 x 50 cm, las muestras se llevaron a la estufa para ser secadas y calcular su peso. Este componente está conformado por la materia orgánica muerta que está sobre la superficie del suelo inorgánico, es decir, incluye hojarasca y detrito fino como ramas de diámetro menor a 2 cm, flores, frutos y materia descompuesta. (CRUZADO, 2010):

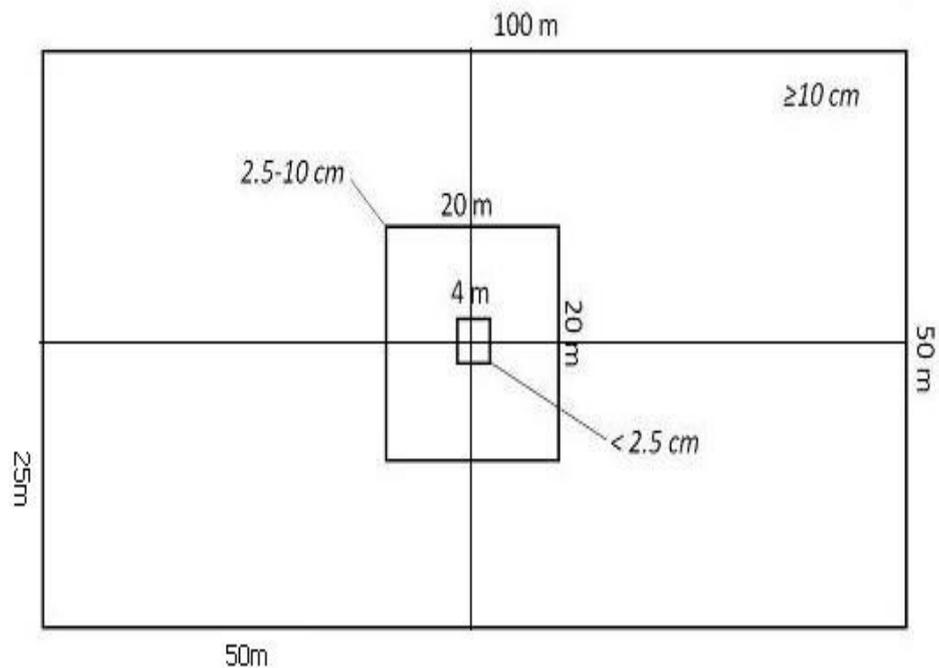


Figura 3. Diseño de la parcela para evaluación de necromasa.

Fuente: CRUZADO (2010).

### 3.5. Fase de gabinete

En esta parte del trabajo se realizarán los cálculos y análisis de los datos obtenidos en campo durante el tiempo propuesto para la ejecución del proyecto.

#### 3.5.1. Cálculo del stock de carbono en necromasa

##### a) Densidad de las clases de descomposición ( $\rho_d$ )

La densidad para cada clase de descomposición se determinó utilizando la siguiente ecuación y para determinar el volumen se aplicó el principio de Arquímedes (HONORIO, 2010):

$$\rho_d = \frac{Ps}{Vm}$$

Donde:

$\rho_d$  : Densidad por clase de descomposición (gr/cm<sup>3</sup>)

Ps : Peso seco de la muestra (gr)

Vm : Volumen de la muestra (cm<sup>3</sup>)

### **b) Necromasa mayor**

#### **b.1) Necromasa de árboles muertos en pie (NAMP)**

La necromasa de los árboles muertos en pie se estimó con la siguiente ecuación (CHAVE *et al.*, 2005):

$$NAMP = \frac{(\rho_d)D^2H * 0.25\pi * fc}{1000}$$

Donde:

NAMP: Necromasa de árboles muertos en pie (Kg/árbol)

$\rho_d$  : Densidad por clase de descomposición (gr/cm<sup>3</sup>).

D : Diámetro del fuste (cm)

H : Altura total del fuste (cm)

Fc : Factor de corrección de volumen (0.65).

Para los árboles muertos en pie que aún presentan ramas, se estimó mediante las siguientes ecuaciones:

Para los individuos con  $dap \geq 5$  cm, la necromasa se estimó utilizando la ecuación propuesta por (CHAVE *et al.*, 2005) la cual incorpora datos provenientes de bosques montanos y utiliza las variables de  $dap$ , altura total y densidad de la especie.

$$NAV = \exp(-2.557 + 0.940 * \ln(\rho D^2 H))$$

Para los individuos con diámetros menores a 5 cm, se utilizó la ecuación propuesta por (NASCIMIENTO y LAURANCE, 2001).

$$NAV = \exp(-1.7689 + 2.3770 * \ln(D))$$

Luego, para calcular la cantidad de necromasa total de los árboles muertos en pie, se debe sumar la necromasa de todos los árboles muertos en pie, encontrados en la parcela (NAMP) y ésta inferir a  $Mgha^{-1}$ .

$$NTAMP = \sum (NAMP) \times 0.002 \text{ (parcela de } 50 \times 100 \text{ m)}$$

$$NTAMP = \sum (NAMP) \times 0.025 \text{ (parcela de } 20 \times 20 \text{ m)}$$

Donde:

NTAMP : Necromasa total de árboles muertos en pie ( $\text{Mgha}^{-1}$ )

$\Sigma$  (NAMP) : Suma de necromasa árboles muertos en pie ( $\text{Kg/parcela}$ )

### **b.2) Cálculo del stock de carbono en los árboles muertos en el suelo**

Para estimar esta necromasa, fue necesario utilizar la siguiente ecuación propuesta por AREVALO *et al.* (2003), utilizando para este caso el valor de la densidad por clase de descomposición.

$$\text{NAMS} = \rho_d D^2 L * 0.25\pi$$

Donde:

NAMS: Necromasa de árboles muertos caídos  $\text{kg ha}^{-1}$

$\rho_d$  : Densidad por clase de descomposición ( $\text{g/cm}^3$ )

D : Diámetro a la altura del pecho (cm)

L : Longitud del fuste (m)

0.25 : Constante

$\pi$  : Pi, constante (3.1416)

Luego, para calcular la cantidad de necromasa por hectárea de la madera muerta en el suelo, se suma la necromasa de todos los árboles muertos encontrados en la parcela (NAMS) y ésta inferir a  $\text{Mgha}^{-1}$ .

$$NTAMS = \sum(NAMS) \times 0.008 \quad (\text{parcela de } 25 \times 50 \text{ m})$$

$$NTAMS = \sum(NAMS) \times 0.1 \quad (\text{parcela de } 10 \times 10 \text{ m})$$

Donde:

NTAMS : Necromasa total de árboles muertos en suelo ( $Mgha^{-1}$ )

$\sum(NAMS)$  : Suma de necromasa árboles muertos en el suelo (Kg/parcela)

### c) Necromasa menor

#### c.1) Cálculo del stock del carbono en la hojarasca

Para estimar esta necromasa en  $Mgha^{-1}$ , se utilizó la siguiente ecuación (HONORIO *et al.*, 2010):

$$Nm = \frac{PSM}{AP} \times \frac{10^8 \text{ cm}^2}{1ha} \times \frac{1Mg}{10^6 \text{ gr}}$$

Donde:

Nm : Necromasa menor

PSM : Peso seco de la muestra colectada (gr)

AP : Área de la parcela ( $cm^2$ )

$10^8$  : Factor de conversión a ha

$10^6$  : Factor de conversión a Mg

**d) Determinación de la cantidad de carbono total**

El valor de carbono, se obtuvo asumiendo que en promedio la necromasa contiene un 50 % de carbono, luego de haberse eliminado la humedad (Macdicken, 1997; citado por CRUZADO, 2010)

$$C_{\text{total}} = \text{NTN} * 0.5$$

Donde:

$C_{\text{total}}$  : Carbono total ( $\text{MgCha}^{-1}$ )

NTN : Necromasa total ( $\text{Mgha}^{-1}$ )

**3.5.2. Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se utilizó la estadística descriptiva como la media, desviación estándar, coeficiente de variación, las variables a evaluar serán las siguientes:

**a) Variables independientes**

- $X_1$ : biomasa de árboles muertos en pie.
- $X_2$ : biomasa de árboles muertos caídos en el suelo.
- $X_3$ : biomasa de hojarasca.

b) Variables dependientes

- Y: cantidad de Carbono.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Determinación de necromasa

#### 4.1.1. Necromasa mayor

En el Cuadro 5 y Figura 4 se observa que los valores de la necromasa de árboles muertos en pie fluctúan desde 0.4586 Mgha<sup>-1</sup> determinado en la unidad fisiográfica de colina alta clase 1 a 3.2488 Mgha<sup>-1</sup> determinado en la unidad fisiográfica de colina baja clase 1, esto es debido a que existe mayor incidencia de árboles muertos en pie dentro de la parcela de muestreo instaladas en el área de estudio, además los valores decrecen a medida que se va subiendo de unidad fisiográfica esto es debido a que existen mayor limitación en la capa orgánica del suelo, ya que en la unidad fisiográfica de montaña se observó mayor presencia de rocas debajo y sobre la superficie del suelo.

Cuadro 5. Necromasa de árboles muertos en pie por unidad fisiográfica.

UNIDAD FISIAGRÁFICA	NAMP (Mgha <sup>-1</sup> )
Colina baja clase 1	3.2488
Colina baja clase 2	3.0066
Colina alta clase 1	0.4586
Colina alta clase 2	2.8723
Montañoso	2.3750
Total	11.9613

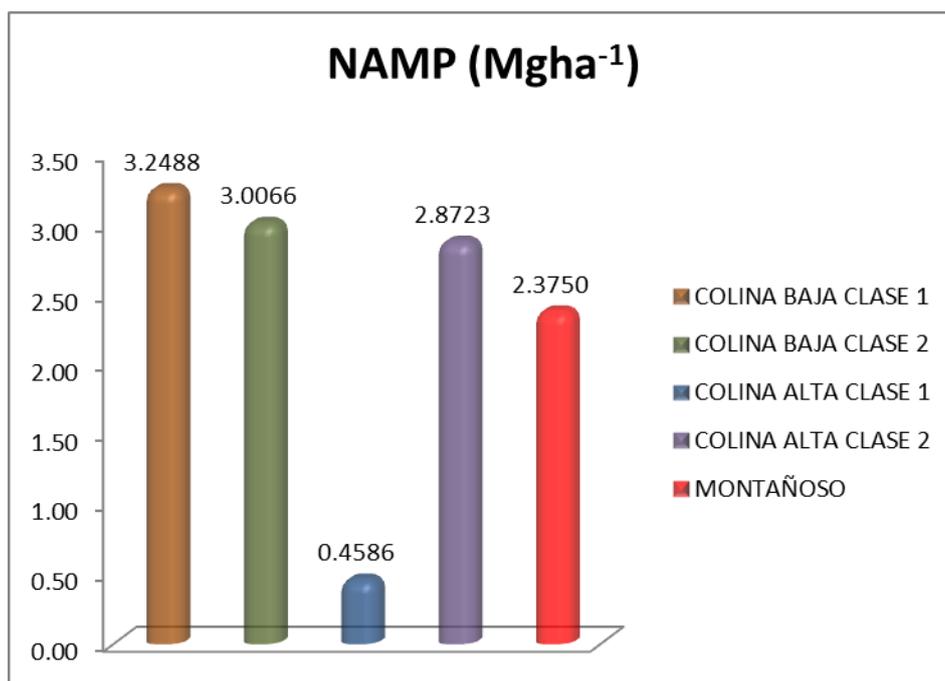


Figura 4. Necromasa de árboles muertos en pie por unidad fisiográfica.

En el Cuadro 6 y Figura 5 se observa que los valores de la necromasa de árboles muertos en el suelo varían desde 2.8189 Mgha<sup>-1</sup> determinado en la unidad fisiográfica de colina baja clase 1 a 5.3504 Mgha<sup>-1</sup> determinado en la unidad fisiográfica de colina baja clase 2, puesto que en esta unidad fisiográfica existe mayor cantidad de árboles muertos en la superficie del suelo, además de presentar una cantidad representativas de ramas de diámetro mayores a 10 cm de dap debido a diferentes factores físicos como el clima y topografía.

Cuadro 6. Necromasa de árboles muertos sobre la superficie del suelo por unidad fisiográfica.

UNIDAD FISIAGRÁFICA	NAMS ( $\text{Mgha}^{-1}$ )
Colina baja clase 1	2.8189
Colina baja clase 2	5.3504
Colina alta clase 1	3.7489
Colina alta clase 2	4.3752
Montañoso	3.4620
<b>Total</b>	<b>19.7554</b>

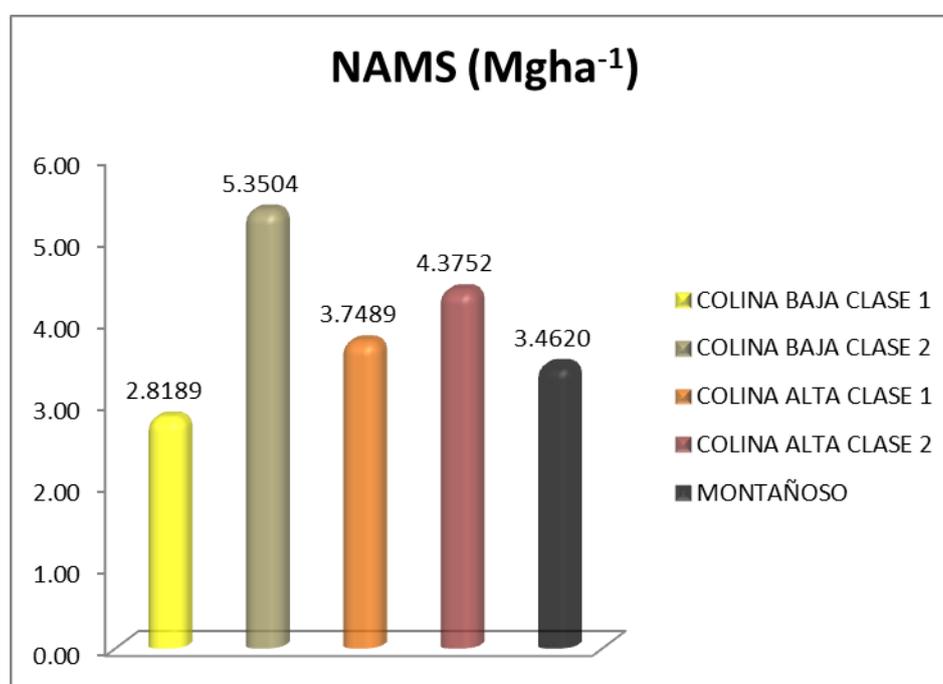


Figura 5. Necromasa de árboles muertos sobre la superficie del suelo por unidad fisiográfica.

El total de necromasa mayor es de  $31.7167 \text{ Mgha}^{-1}$  que representa el 76.06 % de la necromasa total del BRUNAS, esta necromasa mayor se divide en AMP cuyo valor es de  $11.9613 \text{ Mgha}^{-1}$  que representa el 28.37 % y AMS cuyo valor es de  $19.7554 \text{ Mgha}^{-1}$  que representa el 47.37 %, este valor

esta dentro del rango de lo que se refiere a necromasa mayor ya que CRUZADO (2010), determino que la necromasa mayor en los bosques altoandinos de la Concesión para Conservación Alto Huayabamba es de 22.79  $\text{Mgha}^{-1}$  esto en la región San Martín, además ALONSO *et al.* (2001), determinó que en los bosques primarios y secundarios en Colombia obtuvo 7.31  $\text{Mgha}^{-1}$  y 14.77  $\text{Mgha}^{-1}$  respectivamente esto en condiciones templadas, en Argentina FERNANDEZ *et al.* (2010), encontró que la necromasa mayor en condiciones de bosque homogéneo en plantaciones de 2 años distintos de *Araucaria angustifolia* fue de 4.3 (20 años) y 15.2 (40 años)  $\text{Mgha}^{-1}$ . En todos los casos los factores más representativos que influyeron en la necromasa fueron la topografía y la altitud.

#### **4.1.2. Necromasa menor**

En el Cuadro 7 y Figura 6 se observa que los valores del componente necromasa menor varían de 8.5142  $\text{Mgha}^{-1}$  determinado en la unidad fisiográfica de colina alta clase 1 a 11.0940  $\text{Mgha}^{-1}$  determinado en la unidad fisiográfica de montaña, esto debido a que en esta unidad fisiográfica existe mayor concentración de hojarasca y detritos finos.

Cuadro 7. Necromasa menor por unidad fisiográfica.

UNIDAD FISIAGRÁFICA	NmH (Mgha <sup>-1</sup> )
Colina baja clase 1	8.9694
Colina baja clase 2	10.8122
Colina alta clase 1	8.5142
Colina alta clase 2	10.5204
Montañoso	11.0940

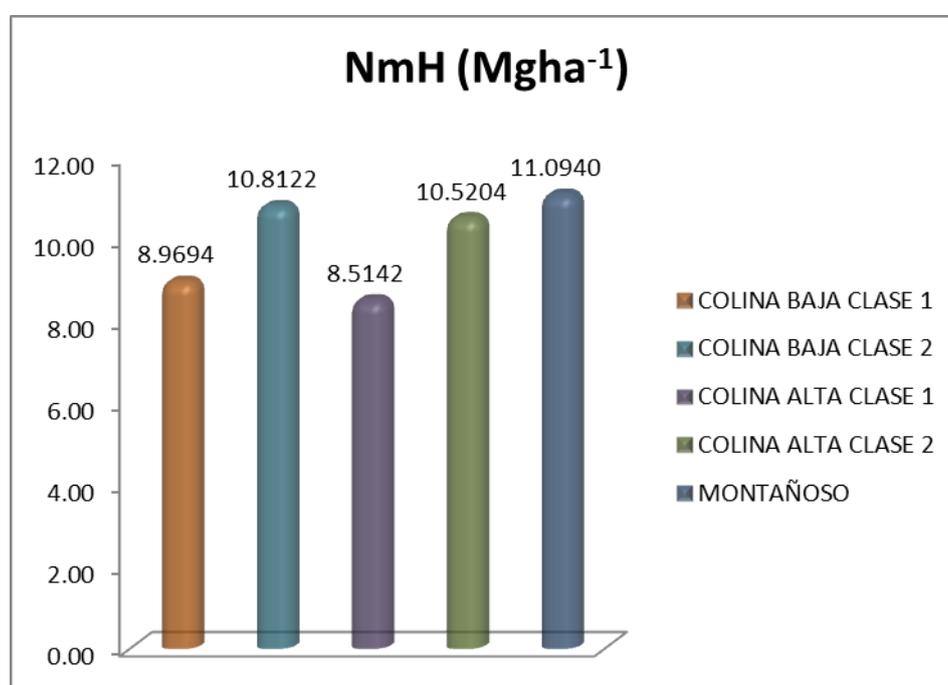


Figura 6. Necromasa menor por unidad fisiográfica.

La necromasa menor total es de 9.9818 Mgha<sup>-1</sup> representa el 23.94 % de la necromasa total, este valor se encuentran dentro de los márgenes de los bosques de la zona tropical del Perú ya que CRUZADO (2010) determinó que la necromasa menor en los bosques altoandinos de la Concesión para Conservación Alto Huayabamba es de 8.04 Mgha<sup>-1</sup> esto en la región San Martín, la necromasa de hojarasca es muy variable esto depende de las

condiciones donde se evaluaron y la climatología de la zona puesto que RODRIGUEZ *et al.* (2009), determino que la necromasa en hojarasca en un bosque homogéneo (Bosque de Pino – Enciso en Tamaulipas - México) es de  $19.74 \text{ Mgha}^{-1}$ , mientras que en la cuenca media del rio Porce esto en la parte baja de la Cordillera central de los Andes colombianos HERRERA *et al.* (2001), determino que la hojarasca es de  $2.7 \text{ Mgha}^{-1}$ .

En el Cuadro 8 y Figura 7 se observa claramente la mayor cantidad de necromasa mayor superándolo en un poco más del triple al valor de la necromasa menor, esto debido al que el componente necromasa menor solo está representado por hojarasca y detritos finos mientras que la necromasa mayor esta conforma por árboles muertos en pie y muertos sobre la superficie del suelo.

Cuadro 8. Necromasa total.

	NECROMASA ( $\text{Mgha}^{-1}$ )
Nmenor	9.9818
Nmayor	31.7167
Total	41.6985

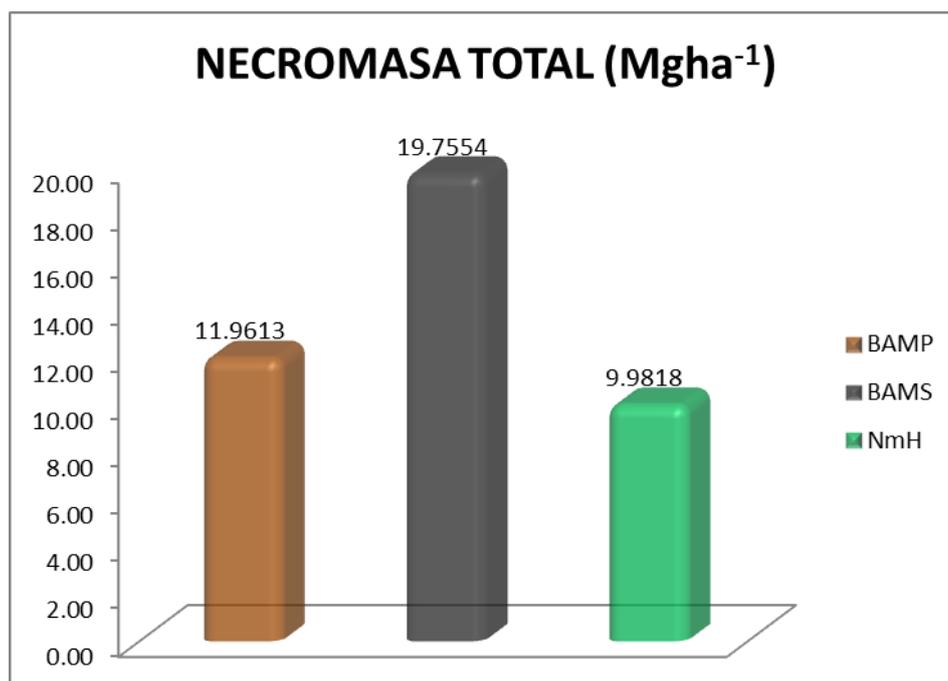


Figura 7. Necromasa total.

La necromasa total del BRUNAS es de 41.6985 Mgha<sup>-1</sup>, este valor representa el 100 % del total de la necromasa, además CHAO *et al.* (2005), en estudios realizados en los bosques amazónicos de Jenaro Herrera (Iquitos), obtuvo 20.3 Mgha<sup>-1</sup> en un bosque de suelos arcillosos y 41.1 Mgha<sup>-1</sup> en un bosque de suelos de arena blanca en lo que se refiere al componente necromasa, esto nos indica que el valor obtenido en nuestro estudio está dentro de un rango aceptable en lo que se refiere a la totalidad de necromasa.

#### 4.2 Carbono total

Cuadro 9. Carbono total.

---

Carbono total =	Necromasa total * 0.5
Carbono total =	20.8493 MgCha <sup>-1</sup>

---

El total de carbono determinado en el componente necromasa del Bosque Reservado de la UNAS (BRUNAS) es de 20.8493 MgCha<sup>-1</sup>, tal cantidad de carbono encontrado contrasta con estudios anteriores realizados en los bosques amazónicos CHAO *et al.* (2005), determino que la cantidad de carbono almacenado en necromasa es de 20.55 MgCha<sup>-1</sup>, así mismo CRUZADO (2010), en una zona de San Martín determino que el carbono almacenado en necromasa es de 13.78 MgCha<sup>-1</sup>, este resultado es menor al del trabajo realizado debido a que esa zona estudia se encuentra dentro la representación de bosques altoandinos.

## V. CONCLUSIONES

1. La necromasa total del Bosque Reservado de la UNAS (BRUNAS) es de 41.6985 Mgha<sup>-1</sup>, dividiéndose en necromasa menor 9.9818 Mgha<sup>-1</sup> que representa el 23.94 %, y en necromasa mayor 31.7167 Mgha<sup>-1</sup> (AMP y AMS) que representan el 76.06 % del total de necromasa.
2. La necromasa mayor varió de acuerdo a la forma en la que se presenta, obteniéndose 11.9613 Mgha<sup>-1</sup> en árboles muertos en pie y 19.7554 Mgha<sup>-1</sup> en árboles muertos sobre la superficie del suelo.
3. El total de carbono en necromasa determinado en el Bosque Reservado de la UNAS (BRUNAS) es de 20.8493 MgCha<sup>-1</sup>, encontrándose mayor cantidad de carbono almacenado en necromasa mayor tanto en árboles muertos en pie como en la superficie del suelo 6.41 MgCha<sup>-1</sup> y 8.03 MgCha<sup>-1</sup> respectivamente mientras que en necromasa menor se obtuvo 4.96 MgCha<sup>-1</sup>.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Realizar también un estudio a nivel de biomasa aérea y de suelo para determinar el valor real del stock de carbono existente en el BRUNAS, para posteriores estudios que se puedan realizar en este ecosistema tan heterogéneo.

Realizar un estudio anual de la hojarasca para determinar la productividad de esta, y concluir si el BRUNAS se encuentra en un estado de equilibrio o si existen variaciones.

Buscar una metodología estándar para la evaluación de necromasa con la finalidad de obtener un valor casi constante de la totalidad de carbono existente en esta forma, y de esta manera ofertar los servicios ambientales como la de secuestro de carbono.

## ABSTRACT

This research evaluated the content of carbon in the necrom component of the Reserve Forest of the National Agrarian University of the Forest (BRUNAS), located in the district of Rupa Rupa, in the Province of Leoncio Prado, in the region of Huánuco, during the months December 2010 and May 2011. The aim was to evaluate the content of carbon in the necromass component of the forest; using the proposed methodologies by CHAVE et al. (2005); NASCIMENTO and LAURANCE (2002); AREVALO et al. (2003) and by HONORIO and BAKER (2010); it is considered an effective sampling of the studied area, according to the physiographic units classified by MARCOS (1996). The obtained results of the total necromass of the forest, was of  $41.6985 \text{ Mgha}^{-1}$ ; corresponding to the higher necromass ( $31.7167 \text{ Mgha}^{-1}$ ) and the lower necromass ( $9.9818 \text{ Mgha}^{-1}$ ), which compose respectively 76.06 % (higher necromass) and 23.94 % (lower necromass). In relation to the carbon, was obtained  $20.8493 \text{ MgCha}^{-1}$ , which corresponds to 50 % of the total necromass existing in BRUNAS.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ALONSO, S., IGNACIO, J., 2001. Existencias y tasas de crecimiento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia. Simposio internacional medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia – Chile. 2 p.

ÁLVAREZ, E. 1993. Composición florística, diversidad, estructura y biomasa de un bosque inundable, en la Amazonia Colombiana. [En Línea]: ([www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/28\\_Alvarez.pdf](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/28_Alvarez.pdf), dptos, 08 Oct. 2009).

AREVALO, L., ALEGRE, J., PALM, CH. 2003. Manual determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. Centro Mundial de Agroforestería – Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali – Instituto Nacional de Investigación Agraria – Instituto Nacional de Recursos Naturales, Perú.

BUENDIA, F. 1996. Características de los bosques secundarios. [En Línea]: (<http://www.hegoa.ehu.es/es/bosquessecundarios/sensintro>, dptos, 08 Oct. 2009).

CHAO, K; PHILLIPS, O. 2005. Manual de campo para censos sobre tipo de mortandad de árboles. Proyecto Pan Amazonia. Pan Amazonía: Universidad de Leeds [En línea]: RAINFOR

([http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/manuals/RAINFOR\\_manual\\_de\\_campo\\_version\\_Junio\\_2009\\_ESP.pdf](http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/manuals/RAINFOR_manual_de_campo_version_Junio_2009_ESP.pdf), documentos 27, Agosto 2009).

CHAVE, J., ANDALO, C., BROWN, S., CAIRNS, M., CHAMBERS, J., EAMUS, D., FOLSTER, H., FROMARD, F., HIGUCHI, N., KIRA, T., LESCURE, J., NELSON, B., OGAWA, H., PUIG, H., RIERA, B., YAMAKURA, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. [En línea]: WINROCK, ([http://www.winrock.org/ecosystems/files/chave\\_et\\_al-2005.pdf](http://www.winrock.org/ecosystems/files/chave_et_al-2005.pdf), doc., 03 ago.)

CONCHA, J., ALEGRE, J., POCOMUCHA, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao l.* En el departamento de san Martín, Perú. 8 p.

CONSULTORIA MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE Y COMUNIDAD (CMFSC). 2010. Mecanismos de valoración de servicios ambientales. Argentina. 113p.

CRUZADO, L. 2010. Determinación de la biomasa aérea – carbono Almacenado, en los bosques de la Concesión para Conservación Alto Huayabamba. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María - Perú. 120 p.

FERNANDEZ, R., MARTIARENA, R., LUPI, A., GOYA, J., FRANGI, J., BERNIO, J., KUZDRA, H., 2010. Biomasa aérea y caída de hojarasca en

plantaciones de diferentes edades de *Araucaria angustifolia*. Décimas Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. El dorado – Argentina. 9 p.

FRANCIS, A. 1951. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en el área de influencia de la Central Hidroeléctrica Porce II. Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. [En Línea]: (<http://www.bst.ehu.es/es/biomasadebosques/pdf>, dctos, 08 Oct. 2009).

GALLOSO, J. 2006. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. In revista forestal iberoamericana Vol. 1, N° 1. Universidad Austral de Chile.

GUTIERREZ, F. 2007. Plan de ordenación del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tesis Magister Scientiae. Lima – Perú. 145 p.

HERRERA, M., IGNACIO, J., ALONSO, S., 2001. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques primarios y secundarios de Colombia. Simposio internacional medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia – Chile. 18 p.

HONORIO, C. 2010. Taller de mediciones integradas de los flujos de carbono en la amazonia. Instituto de la amazonia peruana. Iquitos – Perú. 16 p.

- HONORIO, C., BAKER, T. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de la amazonia peruana/Universidad de Leeds. Iquitos – Perú. 56 p.
- INRENA, 1994. Mapa Ecológico del Perú, Guía explicativa. Reimpresión. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 179 p.
- IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de Síntesis. Ginebra Suiza [EN LÍNEA]: IPCC ([http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf), documento, 05 Agost, 2007).
- KOECHLIN, J. 1979. Carbono en el suelo en los bosques primarios y secundarios. [En Línea]: (<http://www.bst.ehu.es/es/bosques/pdf>, dctos, 09 Oct. 2009).
- MALHI, Y., *et al.* 2009. Comprehensive assessment of carbón productivity, allocation and storage in three amazonian forests. *Global change biology* 1254 p.
- MALLEUX, J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima – Perú. 414 p.
- MARCOS, C. 1996. Plan maestro para el establecimiento de un Arboreto en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Huánuco. 118 p.

- MÁRQUEZ, L. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Fundación Solar, Guatemala.
- MORAN, J. 2000. Metodologías para determinar la captura de carbono. [En Línea]: (<http://www.iodem.ehu.es/es/bosquessecundarios/sensintro>, dctos, 08 Oct. 2009).
- NASCIMENTO, E., LAURANCE, W. 2001. Total aboveground biomass in central Amazonia rainforest; a landscape – scale study. *Forest Ecology and management* 5793 (2001), 1 – 11. Manaus, Brasil 11 p.
- ODUM, E. 1983. *Ecología del Suelo*. Editorial Interamericana S.A. México. 295
- PORTUGUES, H., HUERTA, P. 2005. Mapa de deforestación de la Amazonía peruana 2000. Memoria descriptiva. INRENA, CONAM. Lima – Perú. 25 p.
- RODRIGUEZ, R., JIMENEZ, J., AGUIRRE, O., TREVIÑO, E., RAZO, RAMON., 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de Pino – Enciso en la reserva de la biosfera el cielo. Tamaulipas – México 12 p.
- RODRIGUEZ, W. 2000. Estudio cuantitativo de la diversidad forestal del BRUNAS. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 119 p.

- RUIZ, A. 2010. Carbono almacenado en el suelo a diferentes altitudes del Parque Nacional Tingo María. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María – Perú. 68 p.
- SALDARRIAGA, G. 1994. Recuperación de la selva de tierra firme en el alto río Negro Amazonia Colombiana-Venezolana. Tropenbos, Santafé de Bogotá, [En Línea]: (<http://www.goeb.ehu.es/es/enlaselva/sensintro>).
- SCHLEGEL, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal Siempreverde. Universidad Austral de Chile. Simposio internacional medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia – Chile. 13 p.
- WOOMER, P. 1998. Captura de carbono en bosques tropicales. [En línea]: Woomeer, (<http://www.bosques.ehu.es/es/tropicales/sensintro>, dctos, 03 Jul. 2009).
- WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE (WCMC). 2007. Servicios de Asesoramiento Técnico en determinación de la calidad de Sitio, Técnicas de preparación de terreno y manejo para plantaciones forestales. [En Línea]: Bosques, (<http://www.fondebosque.org.pe> , dctos, 05 May. 2009).

## **ANEXOS**

## Anexos 1. Cálculos

Cuadro 10. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina baja clase 1 (parcela 1).

<b>COLINA BAJA CLASE 1</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA (m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>	<b>DENSIDAD (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	2	23.10	440.00	0.5264	SI	9.2950
50 X 100	2	25.00	380.00	0.5264	NO	63.8240
50 X 100	2	28.40	1040.00	0.5264	SI	15.6315
50 X 100	2	27.20	460.00	0.5264	SI	10.8159
						99.5664
20 X 20	1	1.50	190.00	0.3970	SI	0.2592
20 X 20	1	2.40	179.00	0.3970	NO	0.2090
20 X 20	1	5.50	280.00	0.3970	SI	2.1342
20 X 20	2	4.30	350.00	0.5264	NO	1.7391
20 X 20	2	8.00	172.00	0.5264	NO	2.9582
						7.2997
					BAMP =	0.1991
					BAMP =	0.1825
						0.3816

Cuadro 11. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina baja clase 1 (parcela 2).

<b>COLINA BAJA CLASE 1</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA (m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>	<b>DENSIDAD (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	1	11.00	150	0.3970	SI	1637.2524
50 X 100	1	10.58	130	0.3970	SI	2.6618
50 X 100	2	24.21	450	0.5264	NO	70.8797
50 X 100	2	30.00	280	0.5264	SI	9.5673
50 X 100	2	17.30	90	0.5264	SI	3.8403
50 X 100	2	27.20	170	0.5264	SI	7.2040
						1731.4055
20 X 20	2	3.10	100	0.3970	SI	0.8777
20 X 20	2	5.00	210	0.5264	NO	1.4108
20 X 20	1	4.80	145	0.5264	NO	0.8977
20 X 20	2	8.50	320	0.3597	NO	3.0886
						3.1863
					BAMP =	6.0363
					BAMP =	0.0796
						6.1160

Cuadro 12. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina baja clase 2 (parcela 1).

<b>COLINA BAJA CLASE 2</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA</b> <b>(m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP</b> <b>(cm)</b>	<b>ALTURA</b> <b>(cm)</b>	<b>DENSIDAD</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS</b> <b>(Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	3	17.50	430.00	0.3597	NO	24.1818
50 X 100	3	23.10	290.00	0.3970	SI	4.3597
50 X 100	3	11.70	1200.00	0.3970	NO	3.3293
						31.8708
20 X 20	1	3.10	180.00	0.3970	SI	0.5483
20 X 20	2	1.70	110.00	0.5264	NO	0.0854
20 X 20	2	1.30	108.00	0.5264	SI	0.2236
20 X 20	3	3.00	550.00	0.3597	SI	0.5301
						1.3874
					BAMP =	0.0064
					BAMP =	0.0347
						0.0411

Cuadro 13. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina baja clase 2 (parcela 2).

<b>COLINA BAJA CLASE 1</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA (m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>	<b>DENSIDAD (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	1	10.00	60	0.3970	SI	522.2208
50 X 100	2	13.40	110	0.5264	SI	2390.6354
50 X 100	2	15.30	200	0.5264	SI	4.8125
50 X 100	2	12.40	180	0.5264	NO	7.4376
50 X 100	2	19.50	180	0.5264	SI	5.6195
						2930.7260
20 X 20	1	4.30	80	0.3597	SI	1.0054
20 X 20	2	5.60	140	0.5264	SI	1.8312
20 X 20	2	7.80	100	0.5264	NO	1.6349
						4.4715
					BAMP =	5.8614
					BAMP =	0.1117
						5.9731

Cuadro 14. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina alta clase 1 (parcela 1).

<b>COLINA ALTA CLASE 1</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA</b> <b>(m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP</b> <b>(cm)</b>	<b>ALTURA</b> <b>(cm)</b>	<b>DENSIDAD</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS</b> <b>(Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	1	10.00	560	0.3970	SI	4.6142
50 X 100	2	18.90	820	0.5264	SI	10.1733
50 X 100	2	16.10	420	0.5264	NO	29.2564
50 X 100	2	12.14	310	0.5260	NO	12.2684
50 X 100	3	19.30	114	0.3597	NO	7.7976
50 X 100	3	26.80	170	0.3597	SI	6.0927
						70.2026
20 X 20	2	8.20	950.00	0.5264	SI	5.4634
20 X 20	3	6.10	230.00	0.3597	SI	2.0586
						7.5220
					BAMP =	0.1404
					BAMP =	0.1880
						0.3284

Cuadro 15. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina alta clase 1 (parcela 2).

<b>COLINA BAJA CLASE 1</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA (m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>	<b>DENSIDAD (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	1	65.15	240	0.3970	NO	206.4594
50 X 100	2	30.00	150	0.5264	NO	36.2788
50 X 100	2	12.50	100	0.5264	SI	3.0747
50 X 100	2	18.60	160	0.5264	SI	5.1530
50 X 100	2	12.00	220	0.5264	NO	8.5134
50 X 100	3	11.60	85	0.3597	NO	2.1002
						261.5799
20 X 20	2	2.80	130	0.3597	SI	0.8635
20 X 20	3	4.70	140	0.5264	NO	0.8310
20 X 20	3	5.90	100	0.5264	NO	0.9354
						2.6299
					BAMP =	0.5231
					BAMP =	0.0657
						0.5888

Cuadro 16. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina alta clase 2 (parcela 1).

<b>COLINA ALTA CLASE 2</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA (m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>	<b>DENSIDAD (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	1	18.00	1700	0.3970	SI	11.7329
50 X 100	2	52.20	1000	0.5264	NO	732.2530
50 X 100	2	69.10	1400	0.5264	NO	1796.4050
50 X 100	2	24.70	500	0.5264	NO	81.9755
50 x 100	1	42.40	1450	0.3970	SI	22.1314
50 x 100	3	26.40	190	0.3597	SI	6.2980
50 x 100	3	37.08	170	0.3597	SI	7.9422
						2658.7380
20 x 20	1	2.50	150	0.3970	SI	0.8689
20 x 20	1	3.30	90	0.3597	SI	0.8499
20 x 20	1	9.64	220	0.3597	SI	2.9374
20 x 20	1	6.70	180	0.3597	SI	2.0108
20 x 20	2	2.71	110	0.5264	SI	0.9175
20 x 20	2	8.30	140	0.5264	NO	2.5918
						10.1763
					BAMP =	5.3117
					BAMP =	0.2544
						5.5661

Cuadro 17. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en colina alta clase 2 (parcela 2).

<b>COLINA ALTA CLASE 2</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA (m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>	<b>DENSIDAD (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	1	28.10	720	0.3970	SI	11.8855
50 X 100	2	11.50	330	0.5264	NO	11.7281
50 X 100	2	32.30	115	0.5264	NO	32.2420
50 X 100	3	16.20	280	0.3597	SI	4.9520
50 X 100	3	22.20	90	0.3597	SI	4.0297
						64.8373
20 x 20	1	2.80	140	0.3970	NO	0.2224
20 x 20	2	3.40	70	0.5264	NO	0.2174
20 x 20	2	5.90	80	0.5264	SI	1.5206
						1.9604
					BAMP =	0.1296
					BAMP =	0.0490
						0.1786

Cuadro 18. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en montaña (parcela 1).

<b>MONTAÑOSO</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA</b> <b>(m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP</b> <b>(cm)</b>	<b>ALTURA</b> <b>(cm)</b>	<b>DENSIDAD</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS</b> <b>(Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	2	165.00	280	0.5264	NO	2048.5476
50 X 100	3	90.00	150	0.3597	NO	223.1110
50 X 100	3	22.00	230	0.3597	SI	5.8671
50 X 100	3	17.00	160	0.3597	SI	4.0988
50 X 100	3	12.00	220	0.3597	NO	5.8174
						2287.4419
BAMP =						4.5749

Cuadro 19. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos en pie en montaña (parcela 2).

<b>COLINA BAJA CLASE 1</b>						
<b>NECROMASA MAYOR</b>						
<b>ARBOLES MUERTOS EN PIE</b>						
<b>PARCELA (m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>	<b>DENSIDAD (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RAMIFICADO</b>	<b>RESULTADOS (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
50 X 100	1	22.80	350	0.3970	SI	7.4648
50 X 100	2	12.90	140	0.5264	NO	6.2607
						13.7255
20 X 20	1	2.80	140	0.3970	NO	0.2224
20 X 20	2	3.40	110	0.5264	NO	0.3417
20 X 20	2	5.90	90	0.5264	NO	0.8419
20 X 20	2	8.10	260	0.5264	SI	3.1869
20 X 20	3	7.30	135	0.3597	NO	1.3210
						5.9140
					BAMP =	0.0274
					BAMP =	0.1478
						0.1752



Cuadro 21. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina baja clase 1 (parcela 2).

COLINA BAJA CLASE 1							
NECROMASA MAYOR							
ARBOLES MUERTOS EN EL SUELO							
PARCELA (m)	CATEGORIA	DAP1 (cm)	DAP2 (cm)	DAP pro. (cm)	LONGITUD (m)	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	RESULTADOS (Mgha <sup>-1</sup> )
25 x 50	1	11.20	13.60	12.40	0.12	0.3970	5.7532
25 x 50	2	12.70	13.20	12.95	0.33	0.5264	22.8802
25 x 50	2	10.60	11.30	10.95	0.18	0.5264	8.9229
25 x 50	2	21.20	16.90	19.05	0.80	0.5264	120.0291
25 x 50	3	17.50	14.50	16.00	0.46	0.3597	33.2682
							190.8536
10 x 10	1	2.80	6.10	4.45	0.16	0.3970	0.9879
10 x 10	1	5.40	9.70	7.55	0.13	0.3970	2.3106
10 x 10	1	3.60	8.50	6.05	0.22	0.3970	2.5108
10 x 10	2	8.10	7.20	7.65	0.18	0.5264	4.3551
10 x 10	2	4.30	5.50	4.90	0.38	0.5264	3.7721
10 x 10	2	3.90	3.80	3.85	0.20	0.5264	1.2256
10 x 10	3	2.60	5.20	3.90	0.46	0.3597	1.9766
10 x 10	3	5.70	6.30	6.00	1.20	0.3597	12.2044
							29.3431
						BTAMS =	1.5268
						BTAMS =	2.9343
							4.4611

Cuadro 22. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina baja clase 2 (parcela 1).

<b>COLINA BAJA CLASE 2</b>							
<b>NECROMASA MAYOR</b>							
<b>ARBOLES MUERTOS EN EL SUELO</b>							
<b>PARCELA</b> <b>(m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP1</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP2</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP pro.</b> <b>(cm)</b>	<b>LONGITUD</b> <b>(m)</b>	<b>DENSIDAD</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RESULTADOS</b> <b>(Mgha<sup>-1</sup>)</b>
25 x 50	1	16.50	13.00	14.75	1.24	0.3970	84.1176
25 x 50	1	15.40	12.60	14.00	0.13	0.3970	7.9448
25 x 50	2	15.50	11.40	13.45	2.43	0.5264	181.7430
25 x 50	2	14.00	12.70	13.35	5.40	0.5264	397.8900
							671.6954
10 x 10	1	5.60	7.70	6.65	0.13	0.3970	1.7925
10 x 10	2	2.50	1.00	1.75	2.80	0.5264	3.5452
10 x 10	2	8.10	5.20	6.65	0.05	0.5264	0.9142
10 x 10	3	3.20	4.40	3.80	0.05	0.3597	0.2040
							6.4559
						BTAMS =	5.3736
						BTAMS =	0.6456
							6.0191

Cuadro 23. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina baja clase 2 (parcela 2).

<b>COLINA BAJA CLASE 2</b>							
<b>NECROMASA MAYOR</b>							
<b>ARBOLES MUERTOS EN EL SUELO</b>							
<b>PARCELA</b> <b>(m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP1</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP2</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP pro.</b> <b>(cm)</b>	<b>LONGITUD</b> <b>(m)</b>	<b>DENSIDAD</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RESULTADOS</b> <b>(Mgha<sup>-1</sup>)</b>
25 x 50	2	14.50	17.00	15.75	2.12	0.3970	217.4221
25 x 50	3	12.40	12.60	12.50	1.30	0.3970	57.3845
25 x 50	3	21.50	18.40	19.95	1.50	0.5264	168.6586
							443.4652
10 x 10	2	5.60	7.70	6.65	0.13	0.5264	2.3768
10 x 10	2	2.50	1.00	1.75	2.80	0.5264	3.5452
10 x 10	2	8.10	5.20	6.65	0.15	0.5264	2.7425
10 x 10	2	2.60	2.78	2.69	0.54	0.5264	1.6155
10 x 10	3	3.20	4.40	3.80	0.26	0.3597	1.0606
							11.3406
						BTAMS =	3.5477
						BTAMS =	1.1341
							4.6818

Cuadro 24. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina alta clase 1 (parcela 1).

<b>COLINA ALTA CLASE 1</b>							
<b>NECROMASA MAYOR</b>							
<b>ARBOLES MUERTOS EN EL SUELO</b>							
<b>PARCELA</b> <b>(m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP1</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP2</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP pro.</b> <b>(cm)</b>	<b>LONGITUD</b> <b>(m)</b>	<b>DENSIDAD</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RESULTADOS</b> <b>(Mgha<sup>-1</sup>)</b>
25 x 50	1	16.10	11.00	13.55	0.62	0.3970	35.4937
25 x 50	2	13.50	11.50	12.50	0.81	0.5264	52.3253
25 x 50	2	23.00	12.30	17.65	0.68	0.5264	87.5800
25 x 50	2	12.50	10.00	11.25	1.65	0.5264	86.3367
							261.7358
10 x 10	1	5.60	5.90	5.75	0.37	0.3970	3.8143
10 x 10	2	2.40	4.60	3.50	0.25	0.3597	0.8651
10 x 10	2	3.40	2.80	3.10	0.54	0.5264	2.1454
							6.8249
						BTAMS =	2.0938
						BTAMS =	0.6824
							2.7763

Cuadro 25. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina alta clase 1 (parcela 2).

<b>COLINA ALTA CLASE 1</b>							
<b>NECROMASA MAYOR</b>							
<b>ARBOLES MUERTOS EN EL SUELO</b>							
<b>PARCELA</b> <b>(m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP1</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP2</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP pro.</b> <b>(cm)</b>	<b>LONGITUD</b> <b>(m)</b>	<b>DENSIDAD</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RESULTADOS</b> <b>(Mgha<sup>-1</sup>)</b>
25 x 50	1	13.10	11.00	12.05	0.62	0.3970	28.0703
25 x 50	1	21.50	22.70	22.10	2.22	0.3970	338.0795
25 x 50	1	11.30	10.90	11.10	0.68	0.3970	26.1237
							392.2736
10 x 10	1	5.60	5.90	5.75	0.37	0.3970	3.8143
10 x 10	1	2.40	4.60	3.50	0.25	0.3970	0.9548
10 x 10	2	3.40	2.80	3.10	0.54	0.5264	2.1454
10 x 10	3	2.50	3.40	2.95	1.20	0.3597	2.9502
10 x 10	3	4.10	5.70	4.90	0.88	0.3597	5.9690
							15.8340
						BTAMS =	3.1381
						BTAMS =	1.5834
							4.7215

Cuadro 26. Cálculos para determinación de necromasa mayor en árboles muertos sobre la superficie del suelo en colina alta clase 2 (parcela 1).

<b>COLINA ALTA CLASE 2</b>							
<b>NECROMASA MAYOR</b>							
<b>ARBOLES MUERTOS EN EL SUELO</b>							
<b>PARCELA</b> <b>(m)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>DAP1</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP2</b> <b>(cm)</b>	<b>DAP pro.</b> <b>(cm)</b>	<b>LONGITUD</b> <b>(m)</b>	<b>DENSIDAD</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>RESULTADOS</b> <b>(Mgha<sup>-1</sup>)</b>
25 x 50	1	11.60	14.50	13.05	1.76	0.3970	93.4577
25 x 50	1	18.40	19.80	19.10	0.15	0.3970	17.0623
25 x 50	1	25.60	23.50	24.55	0.36	0.3970	67.6529
25 x 50	1	17.70	10.10	13.90	0.28	0.3970	16.8682
25 x 50	1	21.80	22.20	22.00	0.12	0.3970	18.1095
							213.1508
10 x 10	1	3.20	6.40	4.80	0.64	0.3970	4.5977
10 x 10	2	6.90	6.40	6.65	0.22	0.5264	4.0222
10 x 10	2	4.20	2.50	3.35	0.63	0.5264	2.9230
10 x 10	3	4.40	4.70	4.55	0.13	0.3597	0.7603
10 x 10	3	6.70	9.20	7.95	0.48	0.3597	8.5705
							20.8739
						BTAMS =	1.7052
						BTAMS =	2.0873
							3.7925







Cuadro 30. Cálculos para determinación de necromasa menor (parcelas 1).

<b>HOJARASCA</b>					
<b>UNIDAD FISIOGRÁFICA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>PFM (g)</b>	<b>PSM (g)</b>	<b>DIFERENCIA (g)</b>	<b>RESULTADO (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
Colina baja clase 1	1	227.22	206.42	20.80	8.2568
Colina baja clase 2	2	283.64	258.94	24.70	10.3576
Colina alta clase 1	3	264.97	237.07	27.90	9.4828
Colina alta clase 2	4	275.30	253.50	21.80	10.1400
Montañoso	5	301.14	284.64	16.50	11.3856
					49.6228
					9.9246

Cuadro 31. Cálculos para determinación de necromasa menor (parcelas 2).

<b>HOJARASCA</b>					
<b>UNIDAD FISIOGRÁFICA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>PFM (g)</b>	<b>PSM (g)</b>	<b>DIFERENCIA (g)</b>	<b>RESULTADO (Mgha<sup>-1</sup>)</b>
Colina baja clase 1	6	262.45	242.05	20.40	9.6820
Colina baja clase 2	7	303.97	281.67	22.30	11.2668
Colina alta clase 1	8	214.34	188.64	25.70	7.5456
Colina alta clase 2	9	295.12	272.52	22.60	10.9008
Montañoso	10	289.46	270.06	19.40	10.8024
					50.1976
					10.0395

Cuadro 32. Valor promedio de la NAMP de las distintas unidades fisiográficas de las 2 parcelas de muestreo.

	<b>NAMP (Mgha<sup>-1</sup>)</b>			
	<b>Parcela N° 1</b>	<b>Parcela N° 2</b>	<b>Total</b>	<b>Promedio</b>
Colina baja clase 1	0.3816	6.116	6.4976	3.2488
Colina baja clase 2	0.0411	5.9731	6.0142	3.0066
Colina alta clase 1	0.3284	0.5888	0.9172	0.4586
Colina alta clase 2	5.5661	0.1786	5.7447	2.8724
Montaño	4.5749	0.1752	4.7501	2.3750
<b>Total</b>				<b>11.9613</b>

Cuadro 33. Valor promedio de la NAMS de las distintas unidades fisiográficas de las 2 parcelas de muestreo.

	<b>NAMS (Mgha<sup>-1</sup>)</b>			
	<b>Parcela N° 1</b>	<b>Parcela N° 2</b>	<b>Total</b>	<b>Promedio</b>
Colina baja clase 1	1.1768	4.4611	5.6379	2.8189
Colina baja clase 2	6.0191	4.6818	10.7009	5.3504
Colina alta clase 1	2.7763	4.7215	7.4978	3.7489
Colina alta clase 2	3.7925	4.9580	8.7505	4.3752
Montaño	3.9905	2.9335	6.924	3.4620
<b>Total</b>				<b>19.7554</b>

Cuadro 34. Cálculos estadísticos en necromasa mayor (árboles muertos en pie).

	ARBOLES MUERTOS EN PIE				MONTAÑOSO
	COLINA BAJA	COLINA BAJA	COLINA ALTA	COLINA ALTA	
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 1	CLASE 2	
TOTAL	106.8659	25.5692	44.5761	2658.7380	2287.4419
PROMEDIO	11.8740	5.1138	11.1440	379.8197	457.4884
VARIANZA	408.5922	113.6609	151.3572	460145.7640	799983.1583
DES. ESTANDAR	20.2137	10.6612	12.3027	678.3404	894.4178
COEF. VARIACION	170.2348	208.4773	110.3977	178.5954	195.5061

Cuadro 35. Cálculos estadísticos en necromasa mayor (árboles muertos sobre la superficie del suelo).

	ARBOLES MUERTOS EN EL SUELO				MONTAÑOSO
	COLINA BAJA	COLINA BAJA	COLINA ALTA	COLINA ALTA	
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 1	CLASE 2	
TOTAL	19.8609	150.4795	110.8416	189.1677	18.8294
PROMEDIO	2.4826	18.8099	15.8345	18.9168	3.7659
VARIANZA	3.1240	500.2521	971.8770	882.5831	17.9061
DES. ESTANDAR	1.7675	22.3663	31.1749	29.7083	4.2316
COEF. VARIACION	71.1947	118.9069	196.8798	157.0475	112.3655

## Anexo 2. Fotografías



Figura 8. Instalación de parcela de muestreo



Figura 9. Muestreo de necromasa mayor (AMS).



Figura 10. Evaluación de necromasa mayor (AMP)



Figura 11. Evaluación de necromasa mayor con forcípula.



Figura 12. Parcela de muestreo instalada.



Figura 13. Evaluación de necromasa mayor (AMP).



Figura 14. Recolección de hojarasca (necromasa menor).



Figura 15. Secado en estufa de la necromasa menor.