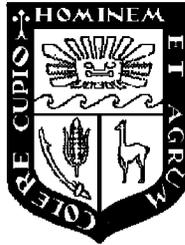


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

*Facultad de Ciencias Forestales*



**Determinación de las Reservas de  
Carbono en la Biomasa Aérea en  
Plantaciones de 8 años de  
*Calycophyllum spruceanum* b. en el  
Valle del Aguaytía.**

*Tesis para optar el Título de*  
**INGENIERO FORESTAL**

**Guillermo Eduardo Gorbitz Dupuy**

Lima – Perú  
2011

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. GUILLERMO EDUARDO GORBITZ DUPUY, intitulado “DETERMIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA EN PLANTACIONES DE 8 AÑOS DE *CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM* B. EN EL VALLE DEL AGUAYTÍA.”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de .....

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**6 de Mayo de 2011

.....  
Ing. Carlos Alberto Llerena Pinto  
Presidente

.....  
Ing. Víctor Barrena Arroyo  
Miembro

.....  
Ing. Fernando Bulnes Soriano  
Miembro

.....  
Dr. Julio Alegre Orihuela  
Patrocinador

.....

## RESUMEN

Este estudio evaluó el potencial de *Calycophyllum spruceanum* b. para capturar carbono en plantaciones en dos zonas de la cuenca del río Aguaytía, Provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali, Perú. La recolección de información se llevó a cabo en las plantaciones donde el Centro Mundial para la Agroforestería “ICRAF” realiza ensayos de progenie. La metodología consistió en elaborar una ecuación alométrica mediante muestreo destructivo de 30 individuos de *Calycophyllum spruceanum* b., se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP = 1,30m), el diámetro de la base (DB) y la altura total (H) de los árboles para utilizarlas como variables predictivas. La ecuación alométrica que mejor se ajustó para la determinación de la biomasa seca total fue la exponencial e la forma  $Bt = 0,072 * D^{2,642}$ , con un  $R^2$  mayor a 0,98.

La investigación siguió con un muestreo estratificado de 35 parcelas temporales de 100 m<sup>2</sup>, 15 parcelas en el Estrato I o cuenca media y 20 parcelas en el Estrato II o cuenca alta. Se estimó la cantidad de carbono equivalente en la biomasa arbórea, herbácea y en la hojarasca en toneladas métricas por hectárea. Para este estudio el contenido de carbono es una función constante proporcional a la biomasa: 0,45. El carbono total almacenado en plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* b en la cuenca del Aguaytía es de 125,9 tC<sub>eq</sub>/ha; habiéndose registrado en el Estrato I 84,7 tC<sub>eq</sub>/ha y en el Estrato II 156,8 tC<sub>eq</sub>/ha. En el Estrato I, el 74,4% se halló en la biomasa arbórea mientras que el 5,4% y 20,2% en la herbácea y hojarasca respectivamente, en el Estrato II la biomasa arbórea representó el 82,7% mientras que el 2,6% y 14,7% en la herbácea y hojarasca respectivamente.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS RECURSOS NATURALES.....	3
2.2 PAPEL DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	4
2.3 PLANTACIONES FORESTALES.....	5
2.4 BIOMASA .....	6
2.5 CICLO DE CARBONO .....	7
2.6 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR BIOMASA .....	7
2.7 ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO .....	9
2.8 ELABORACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS .....	10
2.8.1 <i>Criterios para seleccionar el modelo de mejor ajuste.</i> .....	11
2.9 ESTUDIOS DE DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN BIOMASA AÉREA REALIZADOS EN EL PERÚ 12	
2.10 ESTUDIOS DE BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIONES JÓVENES.....	15
2.11 CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE.....	16
2.11.1 <i>Aspectos Taxonómicos:</i> .....	16
2.11.2 <i>Descripción Botánica.</i> .....	17
2.11.3 <i>Distribución y Hábitat.</i> .....	17
2.11.4 <i>Fenología.</i> .....	18
2.11.5 <i>Descripción de la Madera.</i> .....	18
2.11.6 <i>Propiedades Físicas.</i> .....	18
2.11.7 <i>Propiedades Mecánicas.</i> .....	18
2.11.8 <i>Usos.</i> .....	19
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO .....	20
3.1.1 <i>Ubicación.</i> .....	20
3.1.2 <i>Estratificación.</i> .....	21
3.1.3 <i>Suelos.</i> .....	22
3.1.4 <i>Características del Clima.</i> .....	22
3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTACIONES ESTUDIADAS.....	23
3.2.1 <i>Antecedentes.</i> .....	23
3.2.2 <i>Ubicación de las Plantaciones Estudiadas.</i> .....	25
3.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO ALOMÉTRICO.....	27
3.3.1 <i>Toma de información en campo.</i> .....	27
3.3.2 <i>Traslado de las muestras.</i> .....	28
3.3.3 <i>Análisis de Laboratorio y Gabinete.</i> .....	28
3.3.4 <i>Análisis de la Información.</i> .....	29
3.4 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL CARBONO AÉREO ALMACENADO.....	30
3.4.1 <i>Sistema de Muestreo en campo.</i> .....	30
3.4.2 <i>Calculo de la Biomasa Aérea Total.</i> .....	31
3.4.3 <i>Calculo del Carbono en la Biomasa Vegetal Total.</i> .....	33
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>

4.1	BIOMASA DE ÁRBOLES INDIVIDUALES.....	34
4.2	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO ALOMÉTRICO PARA <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> B.....	36
4.3	BIOMASA TOTAL Y CARBONO ALMACENADO EN LAS PARCELAS.....	40
4.3.1	<i>Biomasa Arbórea</i> .....	40
4.3.2	<i>Biomasa de Árboles Muertos en Pie</i> .....	40
4.3.3	<i>Biomasa de Árboles Caídos Muertos</i> .....	40
4.3.4	<i>Biomasa Arbustiva Herbácea</i> .....	41
4.3.5	<i>Biomasa de Hojarasca</i> .....	41
4.3.6	<i>Biomasa Vegetal Total por estrato</i> .....	41
4.3.7	<i>Biomasa vegetal total</i> .....	42
4.3.8	<i>Calculo del Carbono y Carbono Equivalente en la biomasa Vegetal Total</i> .....	43
4.4	FLUJO DE CARBONO.....	44
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>45</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>46</b>
<b>ANEXO 1</b> .....		<b>53</b>
	PESO HÚMEDO DE LOS COMPONENTE DE LOS 30 INDIVIDUOS MUESTREADOS.....	53
<b>ANEXO 2</b> .....		<b>54</b>
	PESO HÚMEDO DE LAS MUESTRAS DE LOS COMPONENTES DE LOS 30 INDIVIDUOS MUESTREADOS.....	54
<b>ANEXO 3</b> .....		<b>55</b>
	PESO SECO DE LAS MUESTRAS DE LOS COMPONENTES DE LOS 30 INDIVIDUOS MUESTREADOS .....	55
<b>ANEXO 4</b> .....		<b>56</b>
	PESO SECO DE LOS COMPONENTES DE LOS 30 INDIVIDUOS MUESTREADOS.....	56
<b>ANEXO 5</b> .....		<b>57</b>
	DÁTOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA PREDICCIÓN DE BIOMASA	57
<b>ANEXO 6</b> .....		<b>58</b>
	BIOMASA ARBÓREA.....	58
<b>ANEXO 7</b> .....		<b>59</b>
	BIOMASA HERBÁCEA.....	59
<b>ANEXO 8</b> .....		<b>60</b>
	BIOMASA DE HOJARASCA.....	60
<b>ANEXO 9</b> .....		<b>61</b>
	BIOMASA DE ÁRBOLES MUERTOS EN PIE.....	61
<b>ANEXO 10</b> .....		<b>62</b>
	BIOMASA DE ÁRBOLES CAÍDOS MUERTOS.....	62
<b>ANEXO 11</b> .....		<b>63</b>
	BIOMASA VEGETAL TOTAL.....	63
<b>ANEXO 12</b> .....		<b>64</b>
	CARBONO TOTAL.....	64
<b>ANEXO 13</b> .....		<b>65</b>
	CARBONO EQUIVALENTE TOTAL (CO <sub>2</sub> ).....	65

## *Lista de cuadros*

<b>CUADRO 1</b>	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DE LAS PLANTACIONES (0 – 15 CM).	22
<b>CUADRO 2</b>	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DE LAS PLANTACIONES (15 – 30 CM).	22
<b>CUADRO 4</b>	UBICACIÓN DE LAS PLANTACIONES.	26
<b>CUADRO 5</b>	ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN LA MEDICIÓN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE LA ESPECIE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM B.</i>	34
<b>CUADRO 6</b>	CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS DE ÁRBOLES INDIVIDUALES.	35
<b>CUADRO 7</b>	ESTADÍSTICOS DE AJUSTE DE LOS MODELOS PROBADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA TOTAL PARA <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM B.</i>	38
<b>CUADRO 8</b>	CONTENIDO DE BIOMASA ARBÓREA SEGÚN ESTRATOS.	40
<b>CUADRO 9</b>	CONTENIDO DE BIOMASA DE ÁRBOLES MUERTOS EN PIE SEGÚN ESTRATOS.	40
<b>CUADRO 10</b>	CONTENIDO DE BIOMASA DE ÁRBOLES CAÍDOS MUERTOS SEGÚN ESTRATOS.	40
<b>CUADRO 11</b>	CONTENIDO DE BIOMASA ARBUSTIVA HERBÁCEA SEGÚN ESTRATOS.	41
<b>CUADRO 12</b>	CONTENIDO DE BIOMASA DE HOJARASCA SEGÚN ESTRATOS.	41
<b>CUADRO 13</b>	CONTENIDO DE BIOMASA VEGETAL TOTAL POR ESTRATO (T/HA).	42
<b>CUADRO 14</b>	BIOMASA, CARBONO Y CARBONO EQUIVALENTE (T/HA).	43

## *Lista de figuras*

FIGURA 1	UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL AGUAYTÍA, UCAYALI, PERÚ. ....	20
FIGURA 2	UBICACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE <i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> EVALUADAS. ....	26
FIGURA 3	PORCENTAJE DE BIOMASA SEGÚN COMPONENTES PARA LOS 30 ÁRBOLES. ....	36
FIGURA 4	RELACIÓN ENTRE EL DAP Y LA BIOMASA AÉREA TOTAL. ....	37
FIGURA 5	RELACIÓN ENTRE LA ALTURA TOTAL Y EL DAP DE LOS ÁRBOLES MUESTREADOS. ....	37
FIGURA 6	RELACIÓN ALométrICA DE BIOMASA TOTAL CON RESPECTO AL DIÁMETRO. ....	39
FIGURA 7	BIOMASA TOTAL POR DEPÓSITO. ....	42

## 1. INTRODUCCIÓN

El vertiginoso incremento de la temperatura promedio de la tierra es producido por el aumento de la concentración del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal gas responsable generador del efecto invernadero. En los últimos 200 años el incremento ha sido de 280 a 375 ppm de CO<sub>2</sub> en la atmosfera y sigue aumentando a tasa promedio superior a 1,5 ppm por año (Velarde *et al*, 2005).

Debido a la preocupación actual por el aumento acelerado en la concentración de gases de efecto invernadero, algunos países industrializados se comprometieron en el Protocolo de Kioto a reducir sus emisiones, empleando diferentes mecanismos de flexibilidad. Entre ellos, los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) que ofrecen la posibilidad de invertir en proyectos de captura de carbono en plantaciones forestales en países en vías de desarrollo por medio de la compra derivada de los certificados de créditos de carbono (Lopera & Gutiérrez, 2001).

El Protocolo de Kioto establece que las estrategias para reducir el calentamiento global deben ser, entre otros, verificables en el tiempo. Así, para que los proyectos de captura de carbono en plantaciones forestales puedan ser desarrollados, se requieren estudios que permitan determinar de manera confiable el comportamiento del carbono en los diferentes componentes del bosque y su dinámica a través del ciclo o rotación forestal (Lopera & Gutiérrez, 2001).

Sin embargo, las metodologías y procedimientos exigidos para comprobar la captura y almacenamiento del carbono por proyectos forestales son considerados restrictivos, siendo que la mayoría de estos mercados no negocia certificados originados a partir de la reducción de emisiones por deforestación y degradación (Rügnitz, 2009).

Tales limitaciones para acceder a mercados de carbono se vuelven todavía mayores en caso de pequeños y medianos productores rurales que desconocen el potencial para captura de carbono de sus áreas, así como las modalidades de proyectos, componentes elegibles para cada tipo de mercado y los procedimientos necesarios para negociar créditos de carbono en los respectivos mercados (Rügnitz, 2009).

La falta de acceso a métodos precisos y de bajo costo para la cuantificación y monitoreo de stocks de carbono constituyen uno de los principales obstáculos para la implementación de proyectos dirigidos a la inserción de comunidades de productores familiares en los mercados de carbono (Rügnitz, 2009).

Es por ello que la presente investigación desarrolla una serie de elementos técnicos, confiables, conservadores y de bajo costo para la estimación eficiente de la biomasa aérea total y el carbono almacenado en pequeñas plantaciones forestales a través de modelos alométricos, además, se complementa la investigación con el análisis de los contenidos de carbono de la vegetación herbácea y de hojarasca presentes en las plantaciones señaladas.

Es esencial que la política de mitigación del cambio climático se rija por la mejor información científica disponible sobre el carbono en los ecosistemas, y que las decisiones se basen en información sobre los costos y beneficios generales de dicha gestión.

El objetivo general del estudio es:

Estimar las reservas de carbono presente en la biomasa aérea en Plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* b.de 8 años.

Los objetivos específicos fueron:

- Generar una ecuación alométrica para la especie Capirona, (*Calycophyllum spruceanum* b), aplicable a distintas zonas de la amazonia.
- Generar información técnica científica como base para la elaboración de proyectos de comercialización de créditos de carbono, en el marco de los MDL propuesto por el Protocolo de Kioto.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS RECURSOS NATURALES.**

La problemática ambiental que enfrentan las naciones es cada vez más compleja y preocupante debido al desequilibrio creciente entre el crecimiento de la población y la capacidad de los recursos para sustentar el aumento en la demanda de servicios ecosistémicos (IPCC, 2007).

Principalmente la preocupación radica en el inminente calentamiento de la superficie de la tierra, producido a causa de la deforestación, la producción y consumo de combustible fósil, por ello el balance natural del ecosistema en términos de estabilidad climática se ha roto, lo que provoca que se pierdan enormes cantidades de biodiversidad y cultivos (Malhin & Grace, 2000).

El clima de la Tierra depende de la composición de la atmósfera, en particular, de la concentración de gases de efecto invernadero, los cuales aumentan la cantidad de calor solar retenido. Los más importantes son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>). Ambos se encuentran de forma natural en la atmósfera, como parte del ciclo del carbono, pero su concentración se ha incrementado mucho a causa de las actividades humanas, en particular desde la industrialización. Hay más dióxido de carbono en la atmósfera ahora que en cualquier otro momento en los últimos 650 000 años. En 2006, la concentración promedio mundial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera era de 381 partes por millón (ppm), en comparación con 280 ppm cuando empezó la Revolución Industrial, alrededor de 1750. El ritmo al que está creciendo esta concentración es el más alto desde que se le comenzó a dar seguimiento continuo en 1959 (Canadell *et al.*, 2007).

A fin de mantener los aumentos de la temperatura promedio en menos de 2°C, las emisiones globales deben reducirse, para 2050, hasta 85 por ciento con respecto a los niveles de 2000, y su punto máximo no tiene que ir más allá de 2015, de acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007).

Sin embargo, en vez de disminuir, la tasa de emisiones de gases de efecto invernadero va en aumento. De acuerdo con los cálculos más recientes, en la actualidad las actividades humanas

son responsables de alrededor de 10 Gt de emisiones de carbono al año en todo el mundo; de esta cantidad, aproximadamente 1.5 Gt son consecuencia del cambio en el uso del suelo (Canadell et al., 2007). Esto ha provocado una tasa anual promedio de incremento en las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera de poco menos de 2 ppm para el periodo 1995-2000, en comparación con las 1.25 ppm, aproximadamente, para el periodo 1960-1995 (IPCC, 2007).

Con la aprobación en 1997 del protocolo de Kioto (Japón) se establecieron las bases para desarrollar el mercado de carbono a nivel internacional como instrumento legal para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en los países más industrializados bajo la normatividad de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Los países más desarrollados se comprometieron a reducir sus emisiones en un 5% con respecto a las generadas en 1990 y a evaluar los resultados en el período 2008 – 2012 (OCIC, 1998). El protocolo estableció el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para permitir a los países que más contaminan financiar proyectos que almacenen emisiones de GEI en países en vías de desarrollo, a través de un mercado internacional de emisiones certificadas que les permita cumplir los compromisos ante la CMNUCC (OCIC, 1998).

## **2.2 PAPEL DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

La contaminación de la atmósfera es un problema de orden mundial y el sector forestal tiene la posibilidad de contribuir a mitigarlo, no solo por la conservación de sumideros de carbono ya existentes (bosques primarios), sino por el incremento de nuevas áreas forestales, sean bosques secundarios o plantados (PNUD, 1997). Los bosques, naturales o plantados, son sumideros de carbono que tienen la capacidad de fijar en forma continua carbono si la madera de estos es utilizada para la construcción de muebles y/o casas, ese carbono fijado queda en la estructura por largo tiempo (Alfaro, 1997a).

Todos los ecosistemas terrestres almacenan alrededor de 2100 Gt carbono en organismos vivos, hojarasca y materia orgánica del suelo, lo que equivale casi al triple del que se encuentra presente en la atmósfera. Los diferentes tipos de ecosistemas almacenan distintas

cantidades de carbono dependiendo de la composición de sus especies, el tipo de suelo, el clima y otras características (Trumper *et al*, 2009).

Si se dividiese al mundo en siete biomas, se calcula que los bosque tropicales y sub tropicales almacenan la mayor cantidad de carbono, casi 550 Gt, luego el bioma de bosque boreal, con reservas de carbono de 384 Gt (Olsen *et al*, 2001).

Sin embargo, cuando los bosques están maduros no ocurre asimilación neta de carbono, debido a que se encuentran saturados (Masera *et al*, 2001).

### **2.3 PLANTACIONES FORESTALES.**

Una plantación forestal es un ecosistema boscoso establecido por medio de la instalación en el terreno de plántulas, semillas o ambos, en el proceso de forestación o reforestación (Helms, 1998 citado por Llerena *et al*. 2007). Para el PRONAMACHCS y la FAO es la acción de plantar árboles en una zona para que se desarrollen con diferentes propósitos (Llerena *et al*. 2007).

Las plantaciones forestales cumplen un importante papel en el ciclo del carbono global, dado que gran parte de la biomasa está conformada por carbono (aproximadamente el 50%)(IPCC, 2007) y por lo general se consideran sumideros de carbono, a menos que sustituyan a los bosques naturales, que suelen ser más ricos en este elemento. El mayor potencial de ganancia de carbono para las plantaciones está en las tierras agrícolas poco productivas y en los suelos degradados (Lal, 2002). Sin embargo, una vez alcanzada la madures, los ecosistemas forestales alcanzan un balance con respecto al carbono, pues la tasa que acumulan es la misma que liberan. Las prácticas silviculturales pueden por lo tanto ofrecen una solución temporal, las cuales quizás podrían extenderse a través de 30 a 100 años (Andrasko, 1990, citado por Sawyer, 1993).

La importancia de este papel ha sido reconocida por el Protocolo de Kioto, en el marco del cual se permite el desarrollo de proyectos de remoción de carbono atmosférico en países que no

tienen compromisos de reducciones, comúnmente conocidos como proyectos forestales bajo el Mecanismos para un Desarrollo Limpio (MDL) (IPCC, 2007).

La estimación de carbono en estos proyectos es un aspecto de fundamental importancia, pues la unidad transferible en el mercado internacional del carbono es la reducción (o captura) de CO<sub>2</sub>, medida en toneladas y comercializada en reducciones certificadas de emisiones (CERs, por sus siglas en inglés) (IPCC 2007).

## **2.4 BIOMASA**

La biomasa de la vegetación leñosa se define como la cantidad total de materia orgánica viva que existe por arriba del suelo (incluyendo hojas, varas, ramas, fuste y corteza) expresada como peso anhidro (seco en estufa) en toneladas por unidad de área (Brown, 1997).

La determinación adecuada de la biomasa forestal es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar la cantidad de carbono y otros elementos existentes en las hojas, ramas, fuste y raíces, así como, la cantidad de dióxido de carbono que puede ser removida de la atmósfera por la reforestación (Polzot, 2004).

La información de la biomasa se utiliza también para propósitos como: a) estimación del contenido de carbono en el bosque (Brown y Lugo, 1984; Brown *et al.*, 1989; Brown, 1997); b) cuantificación para la cantidad de nutrientes en los ecosistemas (Baker *et al.*, 1984; Lim, 1988); c) determinación de la fijación de energía en los ecosistemas forestales (Satto, 1968); d) descripción cuantitativa de ecosistemas y fuentes de biomasa disponibles (Young y Tryon, 1978; Brown, 1997); e) evaluar cambios en la estructura del bosque (Brown, 1997); f) cuantificación de la cantidad de gases de efecto invernadero que no se libera evitando la deforestación (Brown, *et al* 2000) y g) cuantificación del incremento, rendimiento de bosques en crecimiento – productividad (Brown, 1997).

## **2.5 CICLO DE CARBONO**

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

En general, las plantas absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de la fotosíntesis y este compone las materias primas como la glucosa, que participa en procesos fenológicos para la formación de componentes (flores, frutos, follaje, ramas y fuste) del árbol. Estos a su vez proporcionan elementos necesarios para su desarrollo y el crecimiento en altura, diámetro, área basal y diámetro de copa principalmente. El carbono se deposita en follaje, tallos, y sistemas radiculares y, principalmente, en el tejido leñoso de los troncos y ramas principales de los árboles. Estos componentes aportan materia orgánica al suelo y al degradarse dan origen al humus, que a su vez contiene CO<sub>2</sub>. Por esta razón "los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico" (Hipkins 1984, Ordoñez 1998, 1999).

Los árboles actúan como sumideros de carbono y liberan oxígeno (O<sub>2</sub>), reteniendo el carbono en la biomasa, principalmente en la madera. La madera contiene un 48% de lignina y celulosa; para almacenar una tonelada de carbono es necesario producir 2.2 toneladas de madera (FWPRDC, 1996). Al quemarse la madera el proceso se revierte, usando el O<sub>2</sub> del aire y el carbono almacenado en la madera para liberar al final CO<sub>2</sub>. Los bosques pueden ser sumideros pero también fuentes de carbono, esto dependerá de cómo y con qué propósito sean manejados y cómo sean utilizados sus productos (Chaturveni, 1994).

## **2.6 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR BIOMASA.**

En el ámbito internacional se han iniciado estrategias para la mitigación del calentamiento global como las negociaciones de créditos de carbono. Para hacer realidad estas estrategias en

proyectos forestales es necesario medir y monitorear el carbono almacenado, especialmente en el compartimiento de biomasa arriba del suelo (aérea). Las ecuaciones de biomasa son las más utilizadas para estimar la captura de carbono en bosques, y como consecuencia se adoptan en la mayoría de las investigaciones relacionadas con cuantificación de biomasa en los bosques naturales (Higuchi et ál. 1998).

Existen dos métodos para medir o estimar la biomasa arbórea sobre el suelo: el método directo (o destructivo) utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa, consiste en cortar uno o más individuos (árboles), determinar la biomasa por medio del peso directo de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas) y extrapolar los resultados para el área total. El método indirecto, consiste en utilizar ecuaciones o factores de expansión que permitan relacionar algunas dimensiones básicas obtenidas en campo (de fácil medición) con características de interés, de forma que no sea necesario medir estas últimas. Por ejemplo se puede calcular la biomasa total de un árbol mediante la medición de su diámetro. Estas ecuaciones son generadas por medio de una técnica estadística llamada análisis de regresión (Rugnitz *et al.*, 2009).

Las ecuaciones alométricas para estimar biomasa arbórea por encima del suelo están en función del tipo de vegetación, especie medida (plantaciones forestales en monocultivo, purmas, bosques naturales, así como también, para árboles dispersos) y tipo de componente (Rugnitz *et al.*, 2009).

Se aconseja también emplear modelos específicos para cada especie y que hayan sido construidos bajo condiciones similares a las del lugar donde se quieran aplicar, principalmente en términos de tamaño de árboles y densidad arbórea. (Andrade e Ibrahim, 2003).

Segura y Kanninem (2001), proponen el uso de metodologías destructivas (muestreos para estimación en campo mediante la tumba de individuos) siguiendo criterios estadísticos y generación de modelos alométricos que incluyan las variables DAP y biomasa aérea total principalmente.

Dentro de los estudios de biomasa, la medición de raíces representa un trabajo más amplio y tedioso con niveles bajos de precisión (MacDiken, 1997), por esta razón, algunos autores recomiendan utilizar valores reportados en literatura para bosques tropicales, donde el

porcentaje de biomasa radical puede encontrarse en un rango entre 11 y 54%, aportando en promedio 18% de la biomasa total (Sierra *et al.*, 2001).

Se recomienda construir gráficos de puntos entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes, para probar cuales modelos o ecuaciones de regresión explican mejor esta relación. Después se debe aplicar un análisis de varianza y escoger el o los modelos de mejor ajuste con la ayuda de algunos estadígrafos (Ortiz, 2006, cit. por Larrea, 2007). Según, estos modelos pueden ser construidos usando como mínimo una muestra representativa de treinta árboles (Mac Diken, 1997 citado por Larrea, 2007).

Este mismo autor estimó que la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, secundarios y plantaciones forestales, casi en su totalidad asume el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% para todas las especies en general (Gonzales, 2008).

## **2.7 ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO.**

La reserva de carbono es la cantidad de carbono contenida en la biomasa llamada “almacén de carbono” (‘stock’ en la literatura en inglés). Varios almacenes de carbono pueden ser identificados dentro de los sistemas forestales. Estos incluyen el suelo, la madera viva de los árboles, la madera subterránea en las raíces y la materia orgánica muerta en la superficie del suelo en el bosque. El carbono total almacenado en el ecosistema es simplemente la suma del carbono almacenado en los diferentes almacenes o depósitos (Maser *et al.*, 2000).

El almacén de carbono se expresa usualmente en toneladas de carbono por hectárea (t C/ha). A veces se emplean las unidades equivalentes de Mg ha<sup>-1</sup> (Davalos *et al.*, 2008).

Es importante hacer la distinción entre carbono “almacenado” y carbono “capturado”. El carbono almacenado es la cantidad total de carbono contenida por la biomasa, mientras que el carbono “capturado” o “secuestrado” es una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa (Davalos *et al.*, 2008).

Conocido el peso seco de cada componente de los árboles es posible determinar el contenido de carbono. El contenido de carbono a nivel especie puede variar desde 40,27 hasta 46,29 e incluso más de 50% (Gayoso et al. 2002). Una ponderación específica e ínter específica de factores de contenido de carbono de raíces, fuste, ramas y hojas arroja una aproximación cercana al 50% (Brown 1997), dado un factor de proporcionalidad entre la biomasa forestal y su contenido de carbono, entre 0,45 y 0,5 (Barbaran, 1998; IPCC, 1996; citado por Callo, 2001), siendo utilizado para este estudio el factor de conversión de 0,45 (IPCC 1996, Barbarán 1998, Callo 2001, Lapeyre 2003, Concha 2006, Larrea 2007) lo que sugiere que el 45% del peso anhidro de sus constituyentes sólidos es equivalente a contenido de carbono.

En laboratorio el contenido de carbono de la biomasa seca se halla mediante los siguientes métodos:

**Colorimétrico:** Este método se basa en la oxidación mediante una solución de dicromato de potasio en medio sulfúrico. Según la cantidad de reactivo en la reacción se calcula la equivalencia de carbono presente en la muestra, la determinación se realiza colorimétricamente midiendo la intensidad del color producido por iones de cromo (Cr III), según la Sociedad Chilena del Suelo. Este método tiene la desventaja de que solo evalúa carbono orgánico (Guerra, 2001).

**Calorimétrico:** consiste en la combustión en seco de una muestra pulverizada y homogenizada dentro de un horno, con lo cual se obtiene la cantidad de energía total en Kcal/kg, transformándose a moles de carbono potencial fijado mediante la relación de moles (g/peso molecular) y con el peso de la muestra inicial se determina la fracción de carbono fijado. Este método para la estimación de la cantidad de carbono es más directo pues no trabaja bajo ningún supuesto y el cálculo se basa en la cantidad de energía que requiere una planta para fijar un mol de carbono aproximadamente (Cubero y Rojas, 1999).

## **2.8 ELABORACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS**

Existen una gran variedad de modelos matemáticos para realizar el análisis de regresión, utilizándose generalmente, modelos “alométricos” de la forma  $y = ax^b$ , donde “y” es biomasa

(en toneladas, kilogramos, etc) y “x” es diámetro a 1.30 metros sobre el nivel del suelo (Ortíz, 1993).

Ortíz (1993) indica que los modelos alométricos se fundamentan en la hipótesis de que el crecimiento proporcional de alguna característica dimensional de un organismo (variable “y”), es una razón constante (el coeficiente “b”) del crecimiento proporcional de alguna otra característica dimensional del mismo organismo, en este caso la variable “x”. A pesar de ser un modelo no lineal, puede linealizarse utilizando logarítmicos, asimismo el modelo permite la inclusión de la altura del árbol como variable independiente o desarrollar variables combinadas utilizando el diámetro y la altura, por ejemplo  $d^2 h$ .

El modelo “alométrico” de razón constante puede modificarse a un modelo “alométrico” de razón variable de la forma  $y=ax^b e^{cx}$ , modelo que transformado logarítmicamente puede expresarse como:  $\ln y = \ln a + b \ln x + cx$ . La transformación logarítmica del modelo alométrico facilita el cálculo de los coeficientes de regresión, y además permite obtener ecuaciones en las cuales la varianza de los residuos se mantiene constante (Ortíz 1993).

#### 2.8.1 CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL MODELO DE MEJOR AJUSTE.

Coefficiente de determinación ajustado ( $R^2$ -ajust): Este es uno de los más usados, porque facilita la comparación entre el poder explicatorio de ecuaciones de regresión y diferentes variables independientes, usando diferente número de observaciones. El término ajustado implica que el coeficiente se ajusta por los grados de libertad asociados con la suma de cuadrados. El  $R^2$ -ajustado es siempre más bajo que  $R^2$  no ajustado. En casos excepcionales es posible obtener un valor negativo, si el valor de  $R^2$  es bajo y los grados de libertad son pocos. Este estadígrafo indica la proporción de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo (Segura, 2000).

Índice de Furnival (IF): Este se utiliza para comparar modelos con y sin transformación de variables, como por ejemplo logarítmicos. Entre más pequeño es el IF, el modelo será de mayor ajuste (Furnival 1961).

## 2.9 ESTUDIOS DE DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN BIOMASA AÉREA REALIZADOS EN EL PERÚ

Gamarra, citado por Catpo (2004), realizó un estudio en el que estima el contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus L*, en la comunidad campesina de Hualhuas situada en el departamento de Junín, Perú. La metodología que siguió fue desarrollar un inventario de diámetros y alturas de árboles en parcelas de medición, con medidas adicionales de maleza, hojarasca y suelo. El inventario partió de un muestreo sistemático estratificado equidistante entre sitios de 200 m y entre líneas de 250 m, levantándose un total de 45 sitios cuadrados concéntricos de 625 m<sup>2</sup>, cada uno, 30 en el estrato I, y 15 en el estrato II, el procedimiento que señala presenta una intensidad de muestreo de 2%. Para obtener los valores de biomasa se utilizaron ecuaciones de biomasa generales (no específicas para el país). Tomando en cuenta el área de las parcelas establecidas en el inventario se obtuvo valores de carbono por hectárea. El total de carbono estimado tiene un rango de variabilidad de +/- 15t C/ha. Los resultados son: biomasa arriba del suelo 73.39 tC/ha, biomasa abajo del suelo 21.64 tC/ha, hojarasca 4.99 tC/ha. Asimismo, para determinar la fijación anual de carbono por crecimiento de la masa forestal se obtuvo la tabla de incremento del género *Eucalyptus*, la cual implicó un análisis detallado del estudio dasonómico conducido en la comunidad. El mismo determinó un incremento medio anual (IMA) de 7.96 m<sup>3</sup>/ha/año, representando 26.61 toneladas de fijación de dióxido de carbono.

Barbaran *et al.*, citado por Catpo (2004), realizaron un estudio sobre la cuantificación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en Campo Verde, Ucayali, Perú. El cual consistió en la utilización de transectos de 100 m<sup>2</sup>, en los cuales se evaluaron los árboles existentes mayores a 2.5 cm de DAP; para el caso de arbustos se utilizaron 2 cuadrantes al azar de 1 m<sup>2</sup>, procediendo luego de la colecta del material vegetal menor a 2.5 cm a la colecta de la hojarasca dentro del cuadrante. Estos datos fueron insertados y cuantificados por fórmulas pre establecidas en el protocolo de carbono del ICRAF/ASB. Los sistemas estudiados fueron: bosque primario intervenido, bosque secundario de 15 años, bosque secundario de 25 años, cultivos (maíz, yuca y plátano) y pasturas.

Chambi, citado por Catpo (2004), realizó un estudio que consistió en la valoración económica del secuestro de carbono mediante simulación, el cual se aplicó a la zona boscosa de la cuenca

de Inambari y Madre de Dios. El estudio estimó la biomasa sobre el suelo, con muestras de 10 parcelas de 625 m<sup>2</sup> de la zona elegida. El cálculo del secuestro del carbono y la fijación del dióxido de carbono es obtenida a partir de ecuaciones propuestas por Brown S. y Alpizar. Las estimaciones para el secuestro de carbono se realizaron mediante un software de simulación, obteniéndose el modelo matemático, cuya ecuación principal es  $dNC/dt = FE - FS$ .

Lapeyre (2004), determinó las reservas en sistemas de bosque primario, secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas típicos de la zona: Maíz (*Zea mays*), arroz (*Oriza Sativa*) y pastos (*Brachiarias*) y en sistemas agroforestales (café (*Coffea arabica*) bajo sombra y cacao (*Theobroma cacao* L.), en cada uno de éstos sistemas se establecieron al azar cinco transectos donde se evaluó la biomasa arbórea; dentro de éstos transectos se establecieron cuadrantes también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. El carbono total en el bosque primario fue de 485 tC/ha, habiéndose reducido las reservas en más de 50% con el bosque secundario de 50 años (234 tC/ha). El bosque descremado de 20 años perdió más del 80% de reservas (62 tC/ha). Se observó que los sistemas boscosos alterados, difícilmente recuperan sus reservas de carbono y mucho más si son frecuentemente perturbados, como se observó en el bosque secundario de 20 años. El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Los sistemas agroforestales presentaron 19 y 47 tC/ha, dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo.

Alegre, citado por Larrea (2007), demostró en investigaciones en diferentes sistemas de uso de la tierra, que el barbecho natural comparado con los barbechos de ciclo corto aumentan ligeramente el contenido de carbono en el tiempo. El nivel de carbono de la biomasa en todos los sistemas manejados fue más bajo que el de los bosques naturales. Sin embargo entre los sistemas manejados el contenido de carbono en los sistemas perennes con árboles fue más alto y fluctúa desde 63 t/ha para la plantación de amburana (*Caerensis* (Allemão) A C Smith) hasta 99 t/ha para la plantación de marupa (*Simarouba Amara*). En huertos familiares se encontraron 85 t/ha vs. 53 t/ha en plantaciones de cacao (Pucallpa). En el sistema agroforestal de Yurimaguas estos valores fueron bajos para los barbechos cortos y aumentan ligeramente cuando se combinan con especies arbóreas de rápido crecimiento como *Inga* sp. con las

coberturas con centrosema (*Centrosema macrocarpum*) que almacenaron 33 t/ha en 3 años y solo 9 t/ha con un bosque secundario natural de la misma edad. Estos resultados resaltan que los cultivos de árboles perennes basados en sistemas de multiestratos, huertos semilleros o plantaciones a campo abierto alcanzan del 17 al 27% del Carbono secuestrado del bosque primario de 200 años comparado con sólo 1% con los sistemas de coberturas o pastos. Los cultivos perennes y los sistemas de multiestratos o huertos son más económicos y atractivos para los agricultores que los cultivos anuales tal como los pastos. Los flujos de Carbono variaron entre 1 hasta 11 t/ha siendo las plantaciones perennes así como los barbechos cortos con inga los que presentaron los mayores flujos.

Larrea (2007) realizó la evaluación de la biomasa aérea en diferentes combinaciones agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociados con especies forestales, maderables y frutales; a fin de conocer la reserva potencial de carbono para los ámbitos de las regiones de San Martín y Huanuco, provincias de Mariscal Cáceres (Villaprado, Pajarillo, Juanjui y Pachiza) y Leoncio Prado (Tingo María). Se estudiaron 7 sistemas de cacao, evaluándose tres sistemas de 3 años, dos de 6 años y dos de 8 años de edad. Los resultados de carbono almacenado en cada sistema varían desde 5.95 hasta 73.79 tC ha<sup>-1</sup>; mientras que el flujo de carbono fluctuaron desde 0.99 a 8.02 tC ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; el sistema agroforestal de cacao de 8 años asociado con capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth.), bolaina (*Guazuma crinita*) y caoba (*Swietenia macrophylla* King), mostró mayor almacenamiento y flujo de carbono.

Concha *et al.* (2007) evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes SAFs de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociado con especies forestales, maderables y frutales; en dos diferentes sitios ubicados en la región San Martín (provincias de San Martín y Mariscal Cáceres). Los sistemas agroforestales estimados presentaron edades de 5, 12 y 20 años. Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal variaron desde 26.2 t C ha<sup>-1</sup> para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t C ha<sup>-1</sup> del sistema también de Pachiza de 12 años; Así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, oscilaron desde 12.09 t ha<sup>-1</sup> hasta 35.5 t ha<sup>-1</sup>, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha<sup>-1</sup> hasta 9.97 t ha<sup>-1</sup>; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. SAFs de 12 y 20 años representan el 66.7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que los sistemas de 5 años se

encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C ha<sup>-1</sup>. Los SAFs de 5 años ubicados en Juanjui y Pachiza presentaron el mayor flujo de carbono anual.

Samaniego (2009), evaluó la cantidad de carbono de la biomasa aérea de los árboles de *Guazuma crinita* plantados por ICRAF el 2001 en Ucayali. Para ello determinó 4 clases diamétricas. Determinó la fracción de carbono mediante pruebas de valor calórico. En una muestra de 30 árboles encontró que el promedio de carbono presente en los individuos de *Guazuma crinita* es de 31,6 kg.

## **2.10 ESTUDIOS DE BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIONES JÓVENES.**

Samaniego (2009), encontró que el porcentaje de biomasa promedio en el fuste de 30 árboles de *Guazuma crinita* evaluados de plantaciones de 8 años superó en todos los casos el valor de 80% de la biomasa total.

Montero (2002), en estudios realizados en plantaciones de *Terminalia amazonia* de 10 años, encontró que la densidad de 1600 árboles/ha (2,5 x 2,5 m) es la más recomendable para maximizar el crecimiento dimétrico y la altura total, con lo cual se alcanzó una mayor productividad de biomasa seca (106,7 t/ha), además, encontró que a un espaciamiento de 2 x 2 m la misma especie almacenó 101,6 t/ha y, finalmente, el espaciamiento 3 x 3 m almacenó 82,8 t/ha.

Cubero y Rojas (1999), en estudios realizados en plantaciones de 8 años en 2 sitios de productividad, alta y promedio (para Costa Rica), encontró que *Gmelina arborea* en la biomasa arborea almacena 40,18 tC/ha y 17,80 tC/ha respectivamente, además, *Tectona grandis* en plantaciones de 8 años, en el mismo depósito (arbóreo), almacena 24,81 tC/ha en sitios de productividad alta y 28,17 tC/ha en sitios de productividad promedio (para este caso no concuerda la productividad de los sitios con lo producido por la especie).

Jiménez y Landeta (2009), en estudios realizados en Ecuador con *Tectona grandis* de diferentes procedencias encontraron que la procedencia local (ECU 02) almacena la mayor cantidad de carbono en plantaciones de 8 años (33,06 t/ha), luego le sigue la procedencia de Brasil (BRS)

con 28, 32 t/ha y finalmente la procedencia Costa Rica (CR) con 13,84 t/ha. Así mismo, el carbono en la hojarasca en las 3 procedencias fue de 3,17 t/ha en ECU 02, en BRS se encontró 2,26 t/ha y por último 2,31 t/ha en la procedencia CR. El estudio también muestra valores de carbono almacenados en las raíces, los cuales representan entre el 18,1% y el 24,3% del carbono total almacenado. Además, encontraron que las plantaciones de *Tectona grandis* con la mejor procedencia, “Ecuador” (ECU 02), llega a almacenar 121,06 tCO<sub>2</sub>/ha o carbono equivalente a los 8 años.

## 2.11 CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE.

### 2.11.1 ASPECTOS TAXONÓMICOS:

Reino : Vegetal

División : Fanerógama

Sub división : Angiosperma

Clase : Dicotiledónea

Familia : Rubiaceae

Género : *Calycophyllum*

Especie : *Calycophyllum spruceanum Benth*

Nombre común : Capirona, capirona de bajo, capirona negra.

(Aróstegui 1987)

### 2.11.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

*Calycophyllum spruceanum* es un árbol de 50-120 cm de diámetro y 20-35 m de alto, con el fuste muy recto, cilíndrico, regular, la copa en el último tercio, la base del fuste recta. Presenta corteza externa lisa, color verde, muy característica, homogénea, tersa y lustrosa, dando la impresión de un poste bien pulido, provista de ritidoma papiráceo rojizo que se desprende en placas grandes, irregulares, revelando la superficie verdusca de la corteza. La Corteza interna es homogénea, muy delgada, de 1- 2 mm espesor, color crema verdusco. Las ramitas terminales con sección circular o aplanadas en las zonas terminales, de 5-6 mm de diámetro, color marrón rojizo cuando secas, lisas, lustrosas, provistas de lenticelas blanquecinas. Las hojas simples, opuestas decusadas, elípticas u oblongas, de 5-10 cm de longitud y 3-5 cm de ancho, los peciolo de 1.5-2.5 cm de longitud, acanalados, las láminas enteras, el ápice agudo gruesamente acuminado, la base obtusa, la nervación pinnada, los nervios secundarios 12-15 pares, levemente impresos en la haz y en relieve en el envés, al igual que el nervio central, las axilas de los nervios secundarios con diminutos mechones de pelos o domatios en el envés (10x), las láminas cartáceas. Las inflorescencias cimas terminales de 10-15 cm de longitud, provistas de numerosas flores. Presenta flores hermafroditas, con cáliz y corola presentes, las flores de 1-1.5 cm de longitud, cuando tiernas envueltas totalmente en una bráctea decidua, que es normalmente eliminada primero por la flor central de cada trío de la cima, los pedicelos de 2-3 mm de longitud, pubescentes, el cáliz provisto de 5-6 apéndices de 1 mm de longitud, la corola tubular-campanulada, 5-6-lobulada, pubescente en el interior, los estambres 5-6 , epipétalos en la comisura de los lóbulos, exsertos, las anteras dorsifijas, el pistilo con ovario ínfero, elipsoide-truncado, el estilo filiforme y el estigma bifido, exserto. Sus Frutos son cápsulas pequeñas, elipsoide-alargadas, de 5-8 mm de longitud, pubescentes en su superficie; abren en dos valvas cuando maduran, las semillas diminutas, aladas y alargadas, con el embrión en posición central (Reynel, 2003).

### 2.11.3 DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT.

Toda la Amazonía, hasta el sur de Brasil y Bolivia, debajo de los 1200 msnm. Es común en zonas de bosques secundarios, aunque se le encuentra también en los bosques primarios (Reynel, 2003).

Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. Es una especie heliófita, frecuente en bosques secundarios pioneros y tardíos, en suelos mayormente limosos a arenosos, aluviales, fértiles, a veces temporalmente inundables y en las zonas ribereñas; tolera la pedregosidad elevada (Reynel, 2003).

Se trata de un árbol característico en bosques ribereños temporalmente inundables por aguas claras, "Várzeas", (Sears et al. 2002).

#### 2.11.4 FENOLOGÍA.

Registros de floración desde inicios de la estación seca hasta su final, entre Abril-Septiembre y fructificación a fines de ésta, entre Agosto-Septiembre (Reynel, 2003).

#### 2.11.5 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA.

La madera seca al aire presenta un color blanco cremoso, siendo un duramen ligeramente más oscuro con una tonalidad rojiza con un cambio gradual entre ellas, anillos de crecimientos que se distinguen a simple vista. Se presenta en bandas claras regulares, grano crespado a recto, textura compacta (Arostegui 1975).

#### 2.11.6 PROPIEDADES FÍSICAS.

Densidad básica : 0.76 gr./cm<sup>3</sup> (alta)

Contracción volumétrica : 15%

Contracción tangencial : 09%

Contracción radial : 05%

Relación T / R : 1.8 (baja)

(Arostegui 1987)

#### 2.11.7 PROPIEDADES MECÁNICAS.

Módulo de ruptura en flexión : 723 kg/cm<sup>2</sup>

Compresión paralela : 344 Kg/cm<sup>2</sup>

Compresión perpendicular : 47 Kg/cm<sup>2</sup>

Corte paralelo a las fibras : 87 Kg/cm<sup>2</sup>

Dureza de lados : 2 Kg-m

(Arostegui 1987).

#### 2.11.8 USOS.

La madera es de muy buena calidad, dura, pesada, con grano recto a ondulado y textura fina, de excelente durabilidad, usada extensamente para construcción rural (puntales, travesaños). Es apreciada como leña, ya que el poder calorífico es muy alto y arde aún fresca. Tiene excelentes cualidades para carpintería y moldurado. En años recientes, su demanda para la producción de parquet a nivel nacional es creciente (Reynel, 2003).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.

##### 3.1.1 UBICACIÓN.

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Aguaytía, Provincia de Coronel Portillo, Región de Ucayali Perú (Figura 1). El área de estudio está conformada por la cuenca del río Aguaytía, tributario del río Ucayali y cubre una superficie de 1 762 086 ha con una población de 360 000 habitantes. La cuenca del Aguaytía se extiende hacia el sudoeste de la ciudad de Pucallpa, presenta un paisaje montañoso del lado occidental mientras que hacia el este es predominante plano e inundable. Debido a la facilidad de acceso terrestre y la promoción de políticas de colonización, la población ha crecido rápidamente y la deforestación se ha concentrado a ambos lados de la carretera de penetración. La cuenca se ubica en el lado más occidental de la Amazonía peruana y pertenece a la región de Ucayali, se encuentra entre las UTM 400 000 y 600 000 Oeste y 8 960 000 y 9 120 000 Sur (Ugarte, 2008).

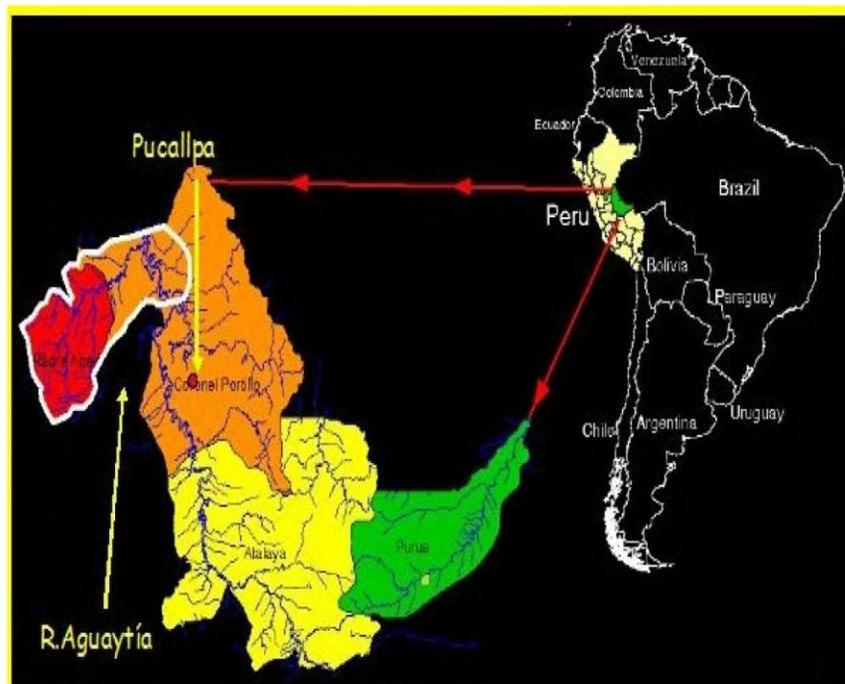


Figura 1 Ubicación de la cuenca del Aguaytía, Ucayali, Perú.

### 3.1.2 ESTRATIFICACIÓN.

Si bien todas las plantaciones se encuentran en la zona ecológica de Holdridge denominada Bosque premontano tropical, se ha establecido la estratificación en base a la calidad de sitio de la cuenca con la finalidad de distinguir la diferencia de la zona de mayor capacidad productiva de la zona de menor capacidad de producción de biomasa.

La calidad de sitio es definida por las características fisiográficas, edáficas y climáticas, las cuales tienen mayor influencia en el crecimiento de la especie (Ugarte, 2008). En función a ello se han considerado dos estratos:

- Estrato I: comprende la parte media de la cuenca, entre las altitudes de 150 a los 240 m.s.n.m., abarca la zona entre los poblados de Neshuya y Curimana a la altura del kilómetro 49 de la carretera Federico Basadre, caracterizándose por ser una extensa área plana en la zona oriental y volverse colinosa en el sector occidental. Los suelos son muy ácidos (20 – 50% saturación de aluminio), con niveles bajos de disponibilidad de fósforo y niveles intermedios de potasio, calcio y magnesio; la textura es franco arenosa con poco porcentaje de arcillas (Ugarte, 2008). En este estrato se evaluaron 15 parcelas.
- Estrato II: comprende la parte alta de la cuenca, entre los 240 a 300 m.s.n.m. de altitud, abarca la zona de San Alejandro a partir del kilómetro 70 de la carretera Federico Basadre. Se caracteriza por ser colinosa en la zona más baja y volverse montañoso en la parte más occidental. Los suelos en la parte alta de la cuenca son ligeramente ácidos (pH: 6.0), con niveles altos de disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio. Además, es un suelo de origen aluvial, el cual es muy fértil de textura arcillosa o arcillo limosa (Ugarte, 2008). En este estrato se evaluaron 20 parcelas.

El área del estudio se extiende encima de una distancia de aproximadamente 200 Km. A lo largo de los 80 km de ancho, la elevación aumenta de aproximadamente 180 a 300 m. Los procesos tectónicos, geológicos y geomorfológicos, y los constantes cambios climáticos han originado la configuración actual del relieve, caracterizada en dos zonas biofísicas bien definidas: La Cordillera Sub-andina y Llanura del Ucayali (Ugarte, 2008).

### 3.1.3 SUELOS

A continuación, en el cuadro 1 y cuadro 2, se aprecia los resúmenes de los resultados del análisis de caracterización de los suelos de las plantaciones de *Calycophyllum spruceanum b* realizados por el “ICRAF” a profundidades de 0–15 cm y 15–30cm, en ellos se aprecia que son suelos ácidos, presentan bajo contenido de materia orgánica y la baja capacidad de intercambio cationico, así mismo, la deficiencia de fosforo y niveles medios de potasio.

**Cuadro 1** Caracterización del suelo de las plantaciones (0 – 15 cm).

Estrato	Arcilla %	Limo %	Arena %	Clase Textural	pH	P ppm	Acidez	K*	Ca*	Mg*	CICE*	Sat. Al %	C.O %
I	25.52	37.08	37.4	Franco	4.52	5.544	1.96	0.176	2.288	0.792	5.214	36.328	1.246
II	41.92	28.08	30	Arcilla	5.908	3.412	0.32	0.168	23.48	2.402	26.368	1.28	1.7

**Cuadro 2** Caracterización del suelo de las plantaciones (15 – 30 cm).

Estrato	Arcilla %	Limo %	Arena %	Clase Textural	pH	P ppm	Acidez	K*	Ca*	Mg*	CICE*	Sat. Al %	C.O %
I	33.92	32.88	33.2	Arcilla Franca	12.266	1.31	5.04	0.126	0.98	0.364	6.512	76.254	0.67
II	46.32	25.68	28	Arcilla	5.834	1.082	0.2	0.098	25.69	2.084	28.072	0.762	1.042

### 3.1.4 CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA.

Como se observa en el cuadro 3 de la estación meteorológica de Puente Aguaytía del SENAMHI-Huánuco, la temperatura media anual en la zona de Aguaytía es de 24,98 °C, siendo mayor la registrada por estaciones en la parte más baja de la cuenca (Sotelo, 2001); la precipitación pluvial promedio alcanza a 4471.08 mm por año, siendo los meses de diciembre, enero y febrero los de mayor precipitación, y la menor precipitación se presenta en los meses de julio y agosto. En términos generales se trata de una zona de alta precipitación pluvial. La humedad relativa es en promedio 82% de febrero a octubre, y 74% entre junio a agosto; y la velocidad promedio de los vientos es de 1.4 m/s con dirección predominante de Norte a Sur (GOREU, 2004).

**Cuadro 3** Datos climáticos de la zona de Aguaytía.

Meses	AGUAYTIA(*)	
	Temper. (°C).	Precip. (mm)
Enero	24,95	618,75
Febrero	25,1	615,17
Marzo	25,1	550,67
Abril	25,4	335,38
Mayo	24,6	248,25
Junio	23,3	223,33
Julio	24,7	103,32
Agosto	25,4	111,41
Setiembre	25,6	202,36
Octubre	25,5	306,14
Noviembre	25,03	496,91
Diciembre	25,13	639,42
Promedio	24.98	4471.08

*Fuente: SENAMHI – Huánuco (2001)*

*(\*) Registro de 10 años (1990 –1999)*

## **3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTACIONES ESTUDIADAS.**

### **3.2.1 ANTECEDENTES.**

En 1996 ICRAF y sus colaboradores nacionales seleccionaron 11 sitios de colecta en la zona aluvial de los principales sistemas hidrográficos de la amazonia peruana, en los departamentos de Ucayali y Loreto, esperando recoger la mayor variabilidad entre las poblaciones. Las poblaciones seleccionadas corresponden a las zonas relacionadas con los ríos Ucayali, Huallaga, Pastaza, Marañón, Napo y el Amazonas, adicionalmente se realizó una colecta en la zona no aluvial perteneciente a la cuenca del río Aguaytía en la localidad de Von Humboldt Ucayali, posteriormente denominada “procedencia local” (Ugarte *et al.* 2003)..

Evaluaciones conducidas a los 18 meses demostraron la superioridad de las procedencias locales (Sotelo, 2001). Con este resultado se decidió establecer el ensayo de progenie, con material procedente de la cuenca del Aguaytia. Estos ensayos están orientados a detectar las

diferencias a nivel de familia, la cual está constituida por individuos provenientes de un mismo árbol (progenitor). (Ugarte *et al.* 2003).

En Junio de 1998 se inició una nueva colecta de material en el ámbito de la cuenca del Aguaytía. Fueron seleccionadas 14 procedencias con la misma metodología de cosecha de semillas que el ensayo de procedencias. Cada procedencia estuvo representada por un número variable de individuos. Finalmente se identificaron 200 progenies (árboles padres) para ser establecidas en el ensayo. Las localidades fueron denominadas: Nva. Requena-Río, Quebrada Neshuya (CFB.Km. 49,5), Quebrada Tahuayo(CFB.Km.72), Curimana-Río, Aguaytía-Río, Quebrada Yurac (Aguaytía), Puerto Inca, Von Humboldt, Macuya, San Alejandro, CFB. Hasta Km 72, Carretera a Curimaná y Carretera a Tournavista (Ugarte *et al.* 2003).

Las semillas fueron trasladadas al vivero de ICRAF en Pucallpa, los frutos fueron secados al aire y la semilla se separó manualmente, la semilla se almacenó en envases de plástico sellados con insecticidas y fungicidas hasta el inicio de su etapa de producción en vivero. Cada una de las 200 familias constituyó un lote separado, no se hizo una mezcla de progenies. En el mes de julio del año 1999 se inicia la producción de plántulas. La preparación del almácigo se hizo con una mezcla de dos partes de suelo forestal y una de arena. Las plántulas a partir de la sexta semana fueron trasladadas a bolsas de 5 x 8 x 2 pulgadas en mezcla de suelo forestal, arena y humus en relación 2:1:0,1, manteniéndose la separación por lotes. Las plantas alcanzaron 40 cm de altura en diciembre del 2000. Paralelamente se llevó a cabo labores de acondicionamiento de las áreas para plantación. Durante su etapa en vivero se desarrolló labores de poda de raíces y hojas, además de manejo de fertilización, sombra y riego para mantener en tamaño adecuado a las plantas (Ugarte *et al.* 2003).

Las plántulas fueron establecidas en febrero del 2001 dentro de la zona no inundable de la cuenca del río Aguaytía. La cuenca del Aguaytía representa a las cuencas del oeste amazónico, con precipitaciones mayores y suelos más fértiles en la parte más cercana a la cordillera de los andes (Ugarte *et al.* 2003).

Las plantas fueron establecidas dentro de un diseño de Bloques completos randomizado, se consideró 3 bloques correspondientes a la parte baja, media y alta del área de estudio referidos como zonas, cada bloque consta de 5 repeticiones haciendo un total de 15 repeticiones. Cada

repetición consta de 2 representantes por cada familia haciendo un total de 400 plantas evaluables, presentando un distanciamiento de 2.5 m x 2.5m que cubre una extensión de 0.25 ha, ello representa una densidad inicial de 1600 árboles/ha para cada repetición. Todas las repeticiones poseen un borde no evaluable formado por al menos dos árboles de alrededor de la repetición, adicionalmente se rodea con una faja corta fuego de 5 metros de ancho y un cerco de alambre de púas. Después de los primeros 3 meses de crecimiento se sembró *Centrosema macroporum*, leguminosa que ayudaría a mantener el avance de plantas invasoras, ayudaría a la mantención de una cubierta sobre el suelo y disminuiría la erosión. En el momento de la plantación se aplicó 1600 kg de humus de lombriz ha<sup>-1</sup> y 320 kg de roca fosfórica ha<sup>-1</sup> (1 kg de humus de lombriz y 200 gr de roca fosfórica por planta a un distanciamiento de 2.5 m x 2.5 m.). Durante el segundo y tercer año se repitieron las fertilizaciones 112 kg de urea ha<sup>-1</sup>, 316 kg roca fosfórica ha<sup>-1</sup> y 160 kg ha<sup>-1</sup> de cloruro de potasio (correspondiendo respectivamente a 70 gr., 185 gr., y 100 gr. De cada producto por planta. Todas las repeticiones fueron establecidas participemente en parcelas de agricultores los que se comprometieron a dar mantenimiento en coordinación y bajo supervisión técnica del equipo de ICRAF, sin embargo, no ha sido posible asegurar el mismo nivel de mantenimiento para todas las repeticiones. Se recalzaron las repeticiones hasta en tres ocasiones durante el primer año de establecimiento para mantener la densidad inicial (Ugarte *et al.* 2003).

### 3.2.2 UBICACIÓN DE LAS PLANTACIONES ESTUDIADAS.

Al momento de la evaluación solo se consideró 7 plantaciones, 3 plantaciones en el estrato I o zona media de la cuenca y 4 plantaciones en el estrato II o zona alta, debido a que las restantes habían sido perdidas por acción del fuego. El espaciamento de los árboles en las plantaciones es de 2.5 m x 2.5 m, lo que equivale a una extensión de 0,25 ha por cada plantación.

En el cuadro 4 se aprecia la ubicación de las plantaciones y el estado de las mismas, en donde se confirma que la totalidad de las plantaciones de la zona baja de la cuenca (repeticiones 1 a la 5) se han perdido., así como también, 2 de la zona media de la cuenca (repeticiones 7 y 10) y una de la zona alta (repetición 15).

**Cuadro 4** Ubicación de las plantaciones.

Beneficiario	Ubicación	Repetición	Estado	Coordenadas UTM	
				X - Este	Y - Norte
Enrique Inuma	Km 5 carretera NR*	1	Perdida	519729	9067405
Jorge Grandez	Km 6 carretera NR*	2	Perdida	519733	9068969
Ludeño García	Km 14 carretera NR*	3	Perdida	516134	9077000
Vidal Inocente	Km 15 carretera NR*	4	Perdida	517183	9077718
Glicería Pascal	Km 17 carretera NR*	5	Perdida	516734	9079512
Ines Torres	Km 15 carretera CU**	6	Viva	494587	9055212
José Trigo	Km 18 carretera CU**	7	Perdida	493763	9058448
Nemesio Damian	Km 26 carretera CU**	8	Viva	489016	9064825
Giter Del Aguila	Km 27.5 carretera CU**	9	Viva	489869	9067199
Marcelino Rojas	Km 12 carretera CU**	10	Perdida	497607	9054042
Estela Nieves	Km 96 carretera FB***	11	Viva	487080	9022181
Magbis Pinedo	Km 100.1 carretera FB***	12	Viva	483981	9020308
Jerferson Cardenas	Km 111 carretera FB***	13	Viva	475990	9025045
Gregorio Mejia	Km 113 carretera FB***	14	Viva	474351	9025171
Carlos Trinidad	Km 105 carretera FB***	15	Perdida	480531	9021190

En la figura 2 se aprecia la distribución de las plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* evaluadas a los largo de la cuenca del río Aguaytía, provincia de Coronel Portillo, Ucayali, Perú.

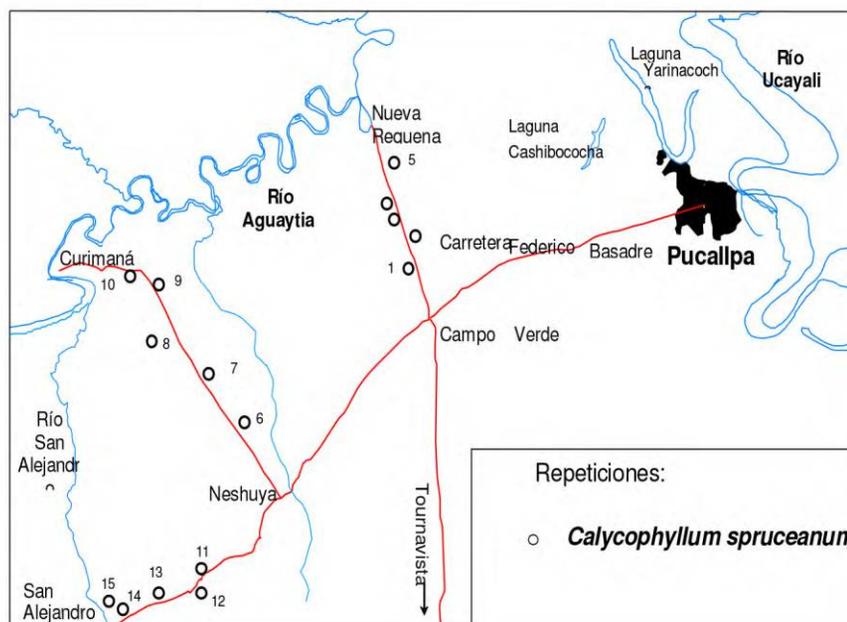


Figura 2 Ubicación de las Plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* evaluadas.

### 3.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO ALOMÉTRICO.

Para la recolección de información en campo, cálculo de la relación peso seco: peso fresco de cada componente, así como para calcular la biomasa total de cada árbol utilizado en la construcción del modelo alométrico se siguió la metodología establecida por Palm *et al* (1999).

#### 3.3.1 TOMA DE INFORMACIÓN EN CAMPO.

Se seleccionaron 30 árboles tipo, dentro de las 7 plantaciones, cubriendo todo el rango diamétrico de las plantaciones de acuerdo a los censos realizados por ICRAF.

El término “típico” se refiere a que los individuos deben tener la forma, sanidad del fuste y volumen de copa de la población muestreada (Segura, 2008).

Las mediciones realizadas antes del apeo fueron: diámetro del árbol a la altura de 1,3 m (DAP mayor y DAP menor) y diámetro de la base al ras del suelo (DB mayor y DB menor), medidos con una forcípula de aluminio de 40 cm con precisión de 0,5 cm marca Haglof; altura total del árbol en pie, medido con un Hipsómetro Haga a una distancia 15 m.

Los árboles seleccionados para el muestreo fueron apeados y divididos con motosierra marca Sthil y/o cola de zorro, de acuerdo al diámetro, y su biomasa fue separada según sus componentes: el componente fuste fue dividido en trozos menores a 100 kg, el componente ramas mayores ( $\geq 2,5$  cm de diámetro), el componente ramas menores ( $\leq 2,5$  cm de diámetro) y el componente hojas.

El peso fresco de cada uno de los componentes del árbol fue obtenido con una balanza tipo reloj de 100 kg, con precisión de 50 gr, y registrado. Luego se tomó una muestra de cada uno de los componentes de aproximadamente 300 gr, para determinar su contenido de humedad. Las muestras fueron inmediatamente pesadas en una balanza tipo platillo de 1 Kg de capacidad y precisión de 2 gr.

### 3.3.2 TRASLADO DE LAS MUESTRAS.

Cada muestra fue introducida a una bolsa de papel, la cual fue marcada con los datos de la plantación, del transecto, del árbol, del componente y cerrada. Todas las muestras provenientes del mismo árbol fueron introducidas en uno o dos sacos de algodón, dependiendo del tamaño del árbol, y trasladada a la ciudad de Pucallpa. En la ciudad de Pucallpa las muestras fueron retiradas del saco para ser colocadas sobre una mesa, con lo cual se buscaba evitar la proliferación de hongos y promover el secado. Para el traslado a Lima, por vía terrestre, las muestras fueron introducidas de nuevo en los sacos de algodón y empacadas en cajas de cartón.

### 3.3.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO Y GABINETE.

#### *A) CALCULO DE LA BIOMASA SECA DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES DE ÁRBOL.*

Las muestras fueron llevadas al horno de secado del Centro Internacional de la Papa, en donde se determinó el contenido de humedad y el peso seco de la muestra. Las muestras fueron sometidas al horno a 60°C durante un rango de 168 a 240 horas, según lo requería el componente. La ecuación general para la obtención de la biomasa seca del componente fue:

$$BSc = (PS/PH) * BHc$$

Donde:

BSc = Biomasa seca del componente (Kg).

PS = Peso seco de la muestra (gr).

PH = Peso húmedo de la muestra (gr).

BHc = Biomasa húmeda del componente (Kg).

## B) CALCULO DE LA BIOMASA SECA TOTAL DE ÁRBOL.

$$BT = (bsf + bsrmay + bsrme + bshojas)$$

Donde;

BT = Peso de la Biomasa seca total.

bsf = Peso seco del fuste.

bsrmay = Peso seco de las ramas mayores a 2,5cm de diámetro.

bsrme = Peso seco de las ramas menores a 2,5cm de diámetro.

bshojas = Peso seco de las hojas.

### 3.3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

La información de los árboles individuales fue estructurada en una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel, para su análisis estadístico se utilizó el software SPSS versión 15.0. Se probaron 6 modelos para la estimación de la biomasa seca total por árbol para la especie *Calycophyllum spruceanum* a partir de variables predictivas: diámetro a la altura de 1,3 m (DAP), diámetro de la base (DB) y altura total (H). Los 30 árboles presentaron un rango de DAP de 2,55 a 22,4 cm., así mismo, un rango del diámetro de la base de 3,35 a 33,3 cm y un rango de altura de 4,1 a 20,8 m. Para la selección del modelo de mejor ajuste se utilizaron los siguiente parámetros estadísticos: la lógica biológica del modelo, el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  ajustado), el índice de Furnival (IF) y la prueba de F (análisis de la varianza) (Rügnitz, 2009), las pruebas de hipótesis para las variables regresoras se realizaron con un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$  también, se utilizó el error estándar de estimación o cuadrado medio del error (CME) y la simplicidad de obtención de las variables.

### **3.4 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL CARBONO AÉREO ALMACENADO.**

Se utilizó la metodología desarrollado por ICRAF (Arévalo *et al*, 2003), para la determinación de las reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra. En total se obtuvieron 35 parcelas temporales de 100 m<sup>2</sup>, 15 parcelas en el Estrato I o cuenca media y 20 parcelas en el Estrato II o cuenca alta, el procedimiento señalado representa una intensidad de muestreo de 20%.

#### **3.4.1 SISTEMA DE MUESTREO EN CAMPO.**

Se tomaron muestras de los diferentes tipos de biomasa aérea para la estimación de la cantidad total de carbono en el sistema, considerando:

- Inventario de árboles en pie (vivos o muertos)
- Inventario de árboles caídos muertos.
- Vegetación herbácea y arbustiva.
- Hojarasca.

#### **A) BIOMASA ARBÓREA**

Como todos los árboles presentes en las plantaciones oscilaron entre los 2,5 y 25 cm de DAP, se marcaron 5 transectos (parcelas) de 4 x 25 m en cada una de las 7 plantaciones. Cada transecto fue delimitado por una cuerda (raña) y sostenida por 4 estacas, las cuales fueron colocadas en el campo con la ayuda de una brújula. En cada transecto se evaluó el diámetro a la altura de 1,3m (DAP), el diámetro de la base (DB) y la altura total (H) de los árboles vivos, parados muertos y caídos muertos. La metodología señala que, de encontrarse árboles con DAP mayores a 30 cm., los resultados de la parcela de 4 x 25 m deben extrapolarse a otra de 10 x 50 m. en donde se evalúan los individuos con DAP mayor a 30 cm.

### *B) BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBÁCEA*

Se eligió al azar un cuadrante de 1 x 1 m. en cada uno de los transectos de 4 x 25 m. Este cuadrante fue definido por un marco de metal de 1 x 1 m, en el cuadrante se cortó con machete toda la biomasa epigea fresca procedente de arbustos menores a 2,5 cm. de diámetro y la biomasa herbácea. Se obtuvo el peso fresco total y el peso fresco de una muestra de aproximadamente 300 gr, que se envió a la estufa hasta obtener el peso seco constante.

### *C) BIOMASA DE HOJARASCA*

Dentro del cuadrante de 1 x 1 m. se tomó un sub cuadrante de 0,5 x 0,5 m. Este cuadrante fue definido por un marco de metal de 0,5 x 0,5 m, en él se colectó toda la hojarasca acumulada, luego se obtuvo el peso fresco total y el peso fresco de una muestra aproximada de 300 gr (peso fresco) para enviarla a la estufa hasta que alcance peso seco constante.

## 3.4.2 CALCULO DE LA BIOMASA AÉREA TOTAL.

### *A) BIOMASA ARBÓREA (BA)*

Se estimó la biomasa de los árboles vivos y de los muertos en pie a partir del modelo o ecuación alométrica generada.

### *B) BIOMASA PARA ÁRBOLES CAÍDOS MUERTOS*

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{BACM} = 0,4 * \text{DP}^2 * \text{L} * 0,25 \pi$$

Donde,

DP = Diámetro promedio (cm)

L = Largo del tronco (m)

$\pi$  = 3,1416

0,4 y 0,25 = Constantes

*C) BIOMASA ARBUSTIVA HERBÁCEA.*

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{BAH (t/ha)} = ((\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}) * 0,01$$

Donde,

BAH = Biomasa arbustivo/ herbácea.

PSM = Peso seco de la muestra colectada (gr)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (gr)

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

0,01 = Factor de conversión.

*D) BIOMASA DE HOJARASCA*

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Bh (t/ha)} = ((\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}) * 0,004$$

Donde,

Bh = Biomasa de la hojarasca.

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

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

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

0,004 = Factor de conversión.

*E) CALCULO DE LA BIOMASA VEGETAL TOTAL.*

$$\mathbf{BVT (t/ha) = BA + BACM + BHA + Bh}$$

Donde,

BVT = Biomasa vegetal total. (t/ha)

BA = Biomasa arbórea.

BACM = Biomasa de árboles caídos muertos.

BHA = Biomasa herbácea arbustiva.

Bh = Biomasa de hojarasca.

**3.4.3 CALCULO DEL CARBONO EN LA BIOMASA VEGETAL TOTAL.**

$$\mathbf{CBV (t/ha) = BVT * 0,45}$$

Donde,

CBV = Carbono en la Biomasa Vegetal.

BVT = Biomasa Vegetal Total.

0,45 = Fracción de Carbono (45%).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 BIOMASA DE ÁRBOLES INDIVIDUALES.

El tamaño muestral de árboles utilizados para la construcción de las ecuaciones alométricas de *Calycophyllum spruceanum* b en plantaciones de 8 años fue de 30 individuos (Arevalo *et al*, 2003). Para la elección del modelo se evaluaron 3 variables. A estas variables se les calculó la estadística descriptiva básica, tal como se observa en el cuadro 5.

**Cuadro 5** Estadísticas descriptivas de las variables consideradas en la medición de árboles individuales de la especie *Calycophyllum spruceanum* b.

	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
DAP	10,98	2,55	22,4	5,11
DB	16,28	3,35	33,3	7,35
H	11,63	4,1	20,8	8,8

En el cuadro 6 se observan las características dasométricas de los árboles, la altura total (H) osciló entre 4,1 m y 20,8 m, el diámetro al ras del suelo (DB) entre 3,35 cm a 33,3 cm y el diámetro a la altura de 1,3m (DAP) entre 2,55 cm y 22,4 cm, cubriendo todo el rango diamétrico presente en la plantación. Se aprecia además, que el árbol con mayor DAP (No. 6) fue el que presentó mayor DB y mayor altura total.

**Cuadro 6** Características dasométricas de árboles individuales.

No.	DB	DAP	H Total	No.	DB	DAP	H Total
1	12,85	8,35	10,23	16	25,15	17,3	18,4
2	10,65	7	9,8	17	3,35	2,55	4,1
3	8,8	5,85	6,4	18	23,05	16,8	18,6
4	14,9	9,65	9,9	19	6,8	4,3	4,9
5	27,35	19,6	19,15	20	17,8	12	9,8
6	33,3	22,4	20,8	21	12,8	9	10,5
7	25,8	18,65	19,6	22	20,9	12,5	10,4
8	16,35	11	12,4	23	10,5	6,4	7,5
9	6,35	4,65	7,3	24	22,6	15,4	17,1
10	6,1	3,25	4,1	25	23,1	15	12,5
11	10,75	7,5	10,5	26	20,6	13	13,1
12	19,65	14,7	16,2	27	12,65	8,05	9,3
13	19,6	10,4	12,3	28	18,9	13,35	12,8
14	17,3	11,3	13,3	29	13,75	9,95	8,1
15	20,75	14,2	14,8	30	6,05	5,15	5

Como se aprecia en la figura 3, se encuentra mayor porcentaje de biomasa en el fuste de árboles con DAP menor a 10 cm que en los de mayor DAP, sin embargo, los árboles con DAP mayor a 10 cm contienen mayor porcentaje de biomasa en las ramas (se considera las ramas mayores y las ramas menores) que los árboles pequeños.

La biomasa promedio de los diferentes componentes de los 30 árboles se distribuye de la siguiente manera: El mayor contenido se encontró en el fuste con un 81,4%, continuando con las ramas (considerando las ramas mayores y las menores) con un 16,24% y en las hojas con un 2,36%.

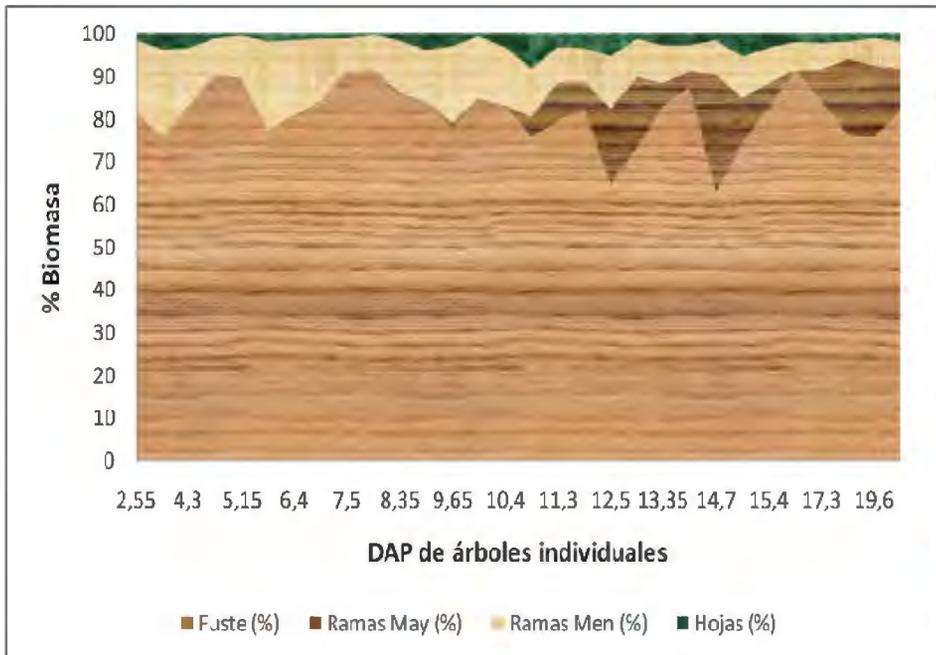


Figura 3 Porcentaje de biomasa según componentes para los 30 árboles.

#### 4.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO ALOMÉTRICO PARA *CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM B.*

Como primera aproximación del modelo alométrico a ser utilizado, se graficó la tendencia de las variables independientes (DAP, Densidad de la Base y Altura total) y la variable dependiente (biomasa aérea total).

En la figura 4, biomasa vs DAP, se aprecia que a mayor DAP, la biomasa aumenta de manera exponencial. Una característica importante que se puede apreciar, también, es que se comprueba la tendencia homocedástica de las variables, es decir, no se aprecia dispersión conforme la variable independiente aumenta, con lo que se concluye que no es necesaria la transformación logarítmica de las variables.

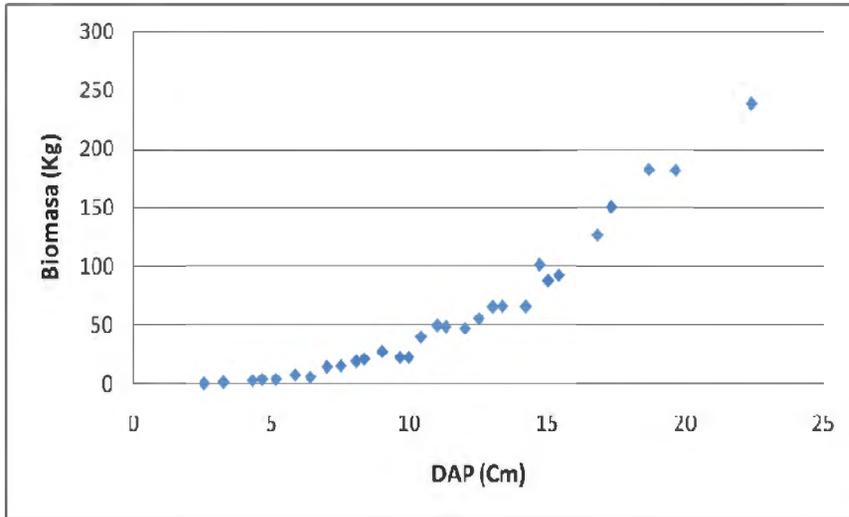


Figura 4 Relación entre el DAP y la Biomasa Aérea Total.

En la figura 5, se observan los 30 diámetros (DAP) y las 30 alturas (H) que se utilizaron para la construcción de las ecuaciones alométricas, en ella se aprecia que a mayor DAP mayor altura, lo cual indica que la plantación se encuentra en las primeras etapas, además que presenta una correlación significativamente positiva ( $P < 0,005$  y  $r^2 > 0,90$ ).

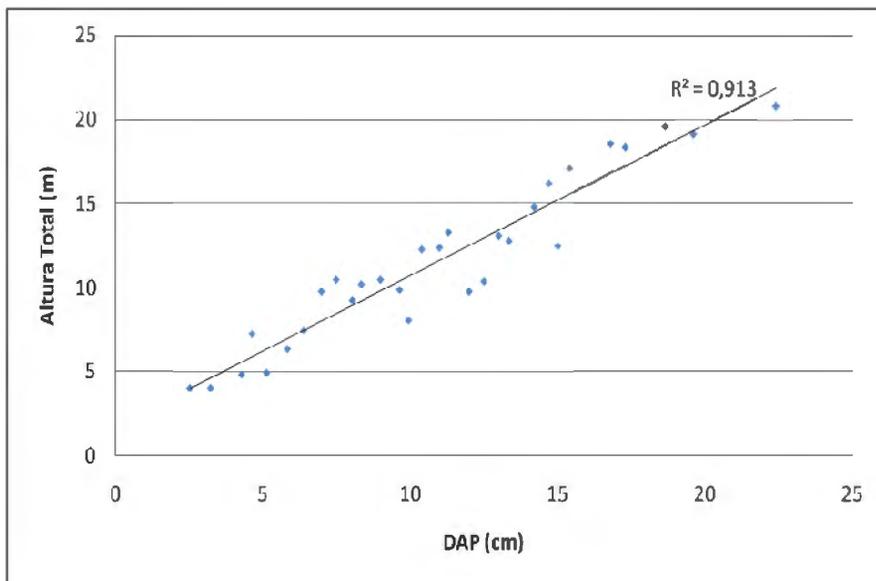


Figura 5 Relación entre la altura total y el DAP de los árboles muestreados.

Como se observa en el cuadro 7, se evaluaron diferentes modelos para estimar la biomasa aérea total a partir de variables independientes como diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro de la base (DB) y altura total (H). Los modelos que presentaron mejor ajuste fueron los que incluían DAP y H en la ecuación, estos presentaron valores de  $R^2$  y  $R^2$  – ajustado mayores a 0,98. Para cada modelo se realizó el análisis de varianza (ANVA) llegando a determinarse que todas las ecuaciones obtenidas de los modelos arrojan resultados altamente significativos, con un alto valor de la razón F, por tanto representa un buen ajuste de dichos modelos ( $P < 0,001$ ).

Además, para la validación de los modelos se consideraron criterios estadísticos como el cuadrado medio del error (CME) ó error estándar de estimación, y el Índice de Furnival (1961), siendo este último utilizado como un criterio de selección entre un grupo de ecuaciones de regresión ajustada y otro grupo de ecuaciones de regresión no ajustada. De acuerdo a estos criterios un modelo es mejor que el otro cuando se identifica el modelo con CME y el IF más cercano a cero.

El cuadro 7 muestra también, que el modelo más sencillo para *Calycophyllum spruceanum b.* es un modelo exponencial, el cual considera solo el DAP que es una de las variables de fácil medición y mayor precisión que la altura.

**Cuadro 7** Estadísticos de ajuste de los modelos probados para la estimación de biomasa total para *Calycophyllum spruceanum b.*

Modelos	$R^2$	$R^2$ ajus	CME	RCME	IF	p
$Bt = 0,072 * D^{2,642}$	0,988	0,988	0,025	0,15818	4,5882	0,001
$Bt = 0,0359 * (DAP * H)^{1,446}$	0,984	0,984	0,034	0,18319	5,3166	0,001
$Bt = -13,41 + 0,5 * (D^2)$	0,978	0,977	88,919	9,42967	9,4297	0,001
$Bt = 5,819 + 0,024 * (D^2 * H)$	0,984	0,983	65,403	8,08718	8,0872	0,001
$Bt = 9,464 - 4,494 * D + 0,681 * D^2$	0,985	0,984	61,173	7,82129	7,8213	0,001
$LnBt = -3,11 + 0,939 Ln((D^2 * H))$	0,99	0,99	0,021	0,14528	4,2167	0,001

La ecuación elegida para estimar la cantidad de biomasa aérea en plantaciones de *Calycophyllum spruceanum b* en la cuenca del río Aguaytia tiene una expresión de la forma **Bt**

=  $0,072 \cdot D^{2,642}$ , esta ecuación utiliza solo el DAP como variable regresora, presentando un nivel de confianza aceptable con un  $R^2$  y  $R^2$  – ajustado mayor a 0,98, además, de un CME e IF cercanos a cero.

En la figura 6 se puede apreciar la relación de la biomasa con respecto al DAP, en la figura se observa la curva de la ecuación  $Bt = 0,072 \cdot D^{2,642}$ , la cual presenta una razón exponencial.

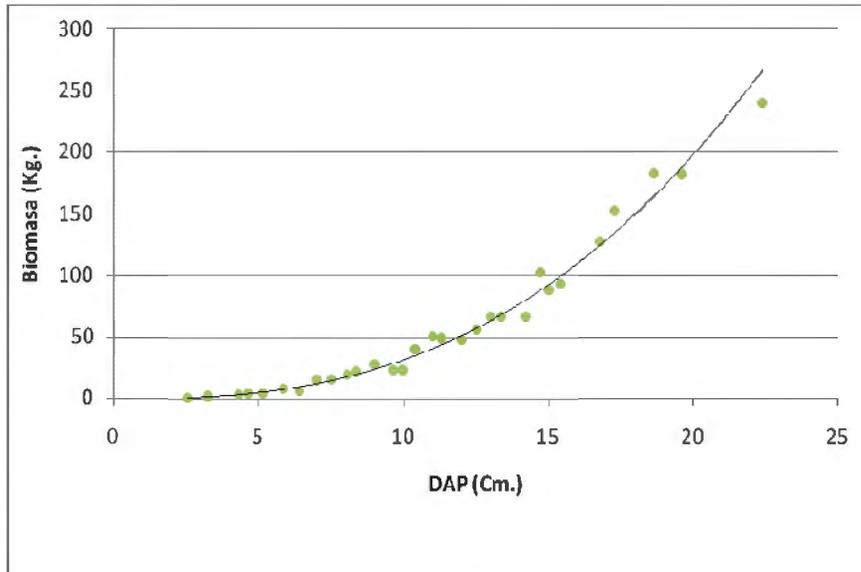


Figura 6 Relación Alométrica de Biomasa total con respecto al diámetro.

La ecuación logarítmica de la forma  $\ln Bt = -3,11 + 0,939 \ln(D^2H)$ , que incluye la variable altura presenta valores estadísticos de mejor ajuste y explica en un mayor porcentaje la relación que existe en la variación de los datos, sin embargo, en función de los valores estadísticos presentados y teniendo en cuenta los costos que representa la evaluación en campo de las distintas variables y la facilidad para su medición, la introducción de esta variable no justifica la mejoría del modelo.

### 4.3 BIOMASA TOTAL Y CARBONO ALMACENADO EN LAS PARCELAS.

#### 4.3.1 BIOMASA ARBÓREA.

La estimación de la biomasa total de árboles individuales presentes en cada una de las parcelas temporales fue obtenida a través de la ecuación  $Bt = 0,072 * D^{2,642}$ . El cuadro 8 muestra el contenido de biomasa arbórea según el estrato, en el que se aprecia que el contenido del estrato II es aproximadamente el doble que el estrato I.

**Cuadro 8** Contenido de Biomasa Arbórea según estratos.

Estrato	Biomasa (t/ha)
I	38,111
II	77,676

#### 4.3.2 BIOMASA DE ÁRBOLES MUERTOS EN PIE.

Como se aprecia en el cuadro 9, el estrato II presenta mayor contenido de biomasa proveniente de árboles muertos en pie.

**Cuadro 9** Contenido de Biomasa de Árboles Muertos en Pie según estratos.

Estrato	Biomasa (t/ha)
I	0,006
II	0,435

#### 4.3.3 BIOMASA DE ÁRBOLES CAÍDOS MUERTOS.

En el cuadro 10 observamos que no hay biomasa de árboles muertos en el estrato I, mientras que el estrato II presenta 0,261 t/ha.

**Cuadro 10** Contenido de Biomasa de Árboles Caídos Muertos según estratos.

Estrato	Biomasa (t/ha)
I	0,000
II	0,261

#### 4.3.4 BIOMASA ARBUSTIVA HERBÁCEA.

De acuerdo al cuadro 11, el estrato I (2,784 t/ha) contiene mayor biomasa que el estrato II, aunque esta diferencia sea mínima, nos muestra que al ser menos denso el estrato I que el estrato II, el estrato I permite que la vegetación arbustiva-herbáceas se desarrolle mejor al recibir mayor cantidad de luz solar.

**Cuadro 11** Contenido de Biomasa Arbustiva Herbácea según estratos.

Estrato	Biomasa (t/ha)
I	2,784
II	2,575

#### 4.3.5 BIOMASA DE HOJARASCA.

Tal como se aprecia en el cuadro 12, el estrato II contiene 14,324 t/ha y el estrato I contiene 10,482 t/ha, esta diferencia se debe al mayor aporte de hojas de los árboles presentes en el estrato II y a la menor velocidad de descomposición que se da en el mencionado estrato.

**Cuadro 12** Contenido de Biomasa de Hojarasca según estratos.

Estrato	Biomasa (t/ha)
I	10,482
II	14,324

#### 4.3.6 BIOMASA VEGETAL TOTAL POR ESTRATO.

Como se aprecia en el cuadro 13, el estrato II almacena 95,032 t/ha, cerca del doble de biomasa vegetal total que el estrato I con 51,379 t/ha, lo cual es explicado por Ugarte (2008) en un estudio realizado en la misma área, en el cual señala que el crecimiento de *Calycophyllum spruceanum b* es superior y recomendable en zonas de precipitación alta y media, con suelos aluviales, pH de ácido a ligeramente ácido, baja saturación de aluminio, con disponibilidad de magnesio y potasio como se da en el estrato II.

**Cuadro 13** Contenido de Biomasa Vegetal Total por Estrato (t/ha).

Biomasa \ Estrato	I	II
Arbórea	38,111	77,676
Muertos en Pie	0,006	0,435
Caídos Muertos	0,000	0,261
Herbácea	2,784	2,575
Hojarasca	10,482	14,324
TOTAL	51,379	95,032

Sin embargo, como se mencionó líneas arriba, se aprecia en la figura 7, que tal diferencia se da gracias al aporte de la biomasa arbórea, pues el aporte en el estrato II representa más del doble que el aporte al estrato I.

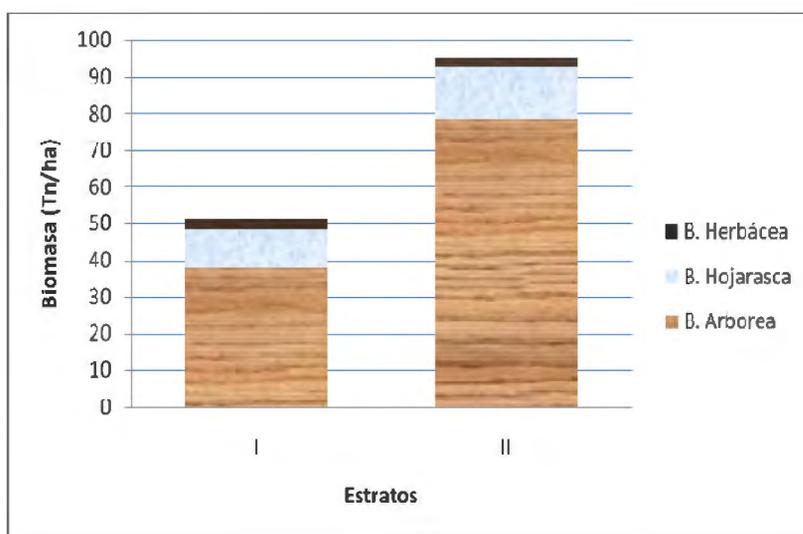


Figura 7 Biomasa total por depósito.

#### 4.3.7 BIOMASA VEGETAL TOTAL.

Como lo muestra el cuadro 14, la biomasa vegetal total promedio en plantaciones de *Callycophyllum spruceanum* b. de la cuenca del Aguaytía es de 76,324 t/ha. Distribuyéndose de la siguiente manera: en el estrato I un total de 51,379 t/ha y en el estrato II un total de 95,032 t/ha.

#### 4.3.8 CALCULO DEL CARBONO Y CARBONO EQUIVALENTE EN LA BIOMASA VEGETAL TOTAL.

En términos de contenido de carbono las plantaciones de *Callycophyllum spruceanum b.* en la cuenca del Aguaytía contienen en promedio 34,346 t/ha, de ellos 27,324 t/ha provienen de la biomasa arbórea, 1,199 t/ha de la biomasa herbácea y 5,704 de la hojarasca.

Desagregando el contenido de carbono total, apreciamos que 23,121 t/ha se encuentran en el estrato I y 42,775 t/ha en el estrato II. Estas cantidades se distribuyen de la siguiente manera: el carbono de la biomasa arbórea representa el 74,4% en el estrato I y 82,7% en el estrato II del carbono total, esto debido principalmente al mayor desarrollo de los árboles de la parte alta de la cuenca del Aguaytía. El carbono en la biomasa herbácea del estrato I representa un 5,4% y en la hojarasca 20,2% mientras que en el estrato II el carbono en la biomasa herbácea fue de 2,6% y en la hojarasca fue 14,7%.

**Cuadro 14** Biomasa, carbono y carbono equivalente (t/ha).

Estratos	Biomasa			Carbono			Carbono equivalente		
	I	II	Promedio	I	II	Promedio	I	II	Promedio
Arbórea	38,111	77,676	60,719	17,150	34,954	27,323	62,882	128,164	100,186
Muertos en Pie	0,006	0,435	0,251	0,003	0,196	0,113	0,010	0,718	0,414
Caídos Muertos	0,000	0,261	0,149	0,000	0,117	0,067	0,000	0,431	0,246
Herbácea	2,784	2,575	2,665	1,253	1,159	1,199	4,594	4,249	4,397
Hojarasca	10,482	14,324	12,677	4,716	6,446	5,704	17,294	23,635	20,917
TOTAL	51,379	95,032	76,324	23,121	42,765	34,346	84,776	156,803	125,935

La cantidad de CO<sub>2</sub> o carbono equivalente almacenado en la plantaciones de *Calycophyllum spruceanum b* es de 125,935 t/ha, de ello 84,776 t/ha se encuentran en el estrato I y en el estrato II se encuentran 156,803 t/ha.

#### 4.4 FLUJO DE CARBONO

El carbono equivalente capturado por año en las plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* b de 8 años es: 15,74 t/ha, sin embargo, haciendo el cálculo por estrato encontramos que cada año se captura 10,59 t/ha/año en el estrato I y 19,60 t/ha/ año en el estrato II.

## 5. CONCLUSIONES

- El modelo exponencial,  $Y = aX^b$ , presentó un buen ajuste a los datos y fue utilizado para la estimación de la biomasa aérea total de los árboles en las parcelas.
- El carbono almacenado en la biomasa aérea de *Calycophyllum spruceanum* b. varió de acuerdo al lugar de la plantación en la cuenca en función a la calidad de sitio con un promedio de 34,35 tC/ha o 125,94 tCeq/ha.
- El flujo de captura potencial promedio de carbono también vario según el lugar, encontrándose mayor potencial en la parte superior de la cuenca que en la parte media.
- La metodología empleada en este estudio demostró ser eficiente para obtener modelos confiables para la determinación del carbono presente en los diferentes componentes de la plantación.

## 6. RECOMENDACIONES

- Si bien todos los modelos para la estimación de biomasa presentados en este trabajo tuvieron un buen ajuste y por lo tanto pueden ser usados para la predicción de biomasa aérea, se recomienda usar aquellos modelos que contengan solamente el DAP como variable regresora. Esto permitiría analizar un mayor número de árboles y/o parcelas, con lo cual se conseguiría un aumento en la precisión de las estimaciones.
- Las muestras de material vegetal deben ser analizadas lo más pronto posible para evitar que estas sean contaminadas, dificultando así la determinación del contenido de humedad.
- Para complementar la información sobre carbono en ecosistemas forestales como las plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* b, se recomienda realizar estudios relacionados con la medición del carbono almacenado en las raíces de los árboles, además, del carbono presente en el suelo.
- Sería interesante utilizar la ecuación propuesta con la información proveniente de los censos que realiza el ICRAF a sus plantaciones, un censo anterior y otro posterior a la presente investigación, con la finalidad de definir cuán preciso resultó el estudio.
- La información generada en este estudio puede ser utilizada para la generación de políticas de promoción de plantaciones forestales en la cuenca del Aguaytía, además, a las instituciones y personas interesadas puede proveer un marco para el análisis y consulta técnica en investigaciones y proyectos de cuantificación de carbono.

## *BIBLIOGRAFÍA*

- Alfaro, M.** 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Revista Forestal Centro Americana. 9 – 12.
- Andrade, H; Ibrahim, M.** 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? Agroforestería en las Américas 10 (39 – 40): 109 - 116 .
- Andrasko, K.** 1990. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques: Estado actual de los conocimientos. UNASYLVA.
- Arévalo, L.; Alegre, J. y Palm, C.** 2003. Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. Lima, PE, ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. 24 p.
- Aróstegui, A.** 1975. Estudio tecnológico de maderas del Perú Vol. III, características y usos de 4 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humbolt. Lima-Perú. UNALM. 172 p.
- Aróstegui, A.** 1987. Estudio de trabajabilidad de la madera de selva baja (Zona Pucallpa) IIAP-Pucallpa y CENFOR XII. Pucallpa. 7 p.
- Baker, TG; Attiwill, PM; y Stewart HTL.** 1984. Biomass equations for *Pinus Radiata* in Gippsland, Victoria. New Zealand of Forest science 18:89 – 96.
- Barbaran, J.** 1998. Determinación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en la zona de Campo Verde. Tesis (Ing. Forestal). Ucayali, PE: Universidad Nacional de Ucayali. 54p.
- Brown, P; Carbale, B.; Livernash, R.** 1997. Carbon counts: Estimating climate change mitigation in forestry projects. World Resources Institute, US. 25 p.
- Brown, S; Gillespie, A; Lugo, AE.** 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science 35 (4):381-902.
- Brown, S. and Lugo, AE.** 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. Science 223 No. 4642: 1290- 1293.

- Brown, S.; Burnham, M; Delaney, M.; Vaca, R; Powell, M; Moreno, A.** 2000. Issues and challenges for forest-based carbon-offset projects: a case study of the Noel Kempff Climate Action Project in Bolivia. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 5:99 – 121.
- Callo-Concha, D.** 2001. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales y testigos en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. Tesis (M. Sc.). Chapingo ME. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. 72p.
- Canadell, JG; Le Quéré, C; Raupach, MR; Field, CB, Buitenhuis, ET; Ciais, P; Conway, TJ; Gillett, NP; Houghton, RA and Arland, G.** 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 18866-18870.
- Ciesla, WM.** 1996. Climate change, forest and forest management: an overview. Roma, Forest resources division, FAO Forestry Paper, N° 126. 147p.
- Concha, J; Alegre, J; Pocomucha, V.** 2007. Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales de *Theobroma cacao* L. Departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6: 75 – 82.
- Chaturveni, A.** 1994. Sequestration of atmospheric carbon in India's forest. *Ambio* 23: 461.
- Dávalos, R; Sotelo, E; Martínez, M.** 2008. Almacenamiento de Carbono. Instituto Nacional de Ecología. MX. 11 p.
- Furnival, GM.** 1961. An index for comparing equations used in constructing volumen tables. *Forest Science* 4(7): p 337 – 341.
- FWPRDC** (Forest and Wood Products Research and Development Corporation). 1996. Environmental properties of timber. Brisbane, Australia.
- Gayoso, J; Guerra, J; Alarcón, D.** 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 157 p.

- Gobierno Regional de Ucayali (GOREU).** 2004. Perfil Ambiental de la Región Ucayali. Gerencia Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente GRNGMA. Pucallpa, PE. GRNGMA. 38 p.
- Gonzales, M.** 2008. Estimación de la biomasa aérea y captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *Ochoterenai* MTZ. Y *Quercus sp* en el norte del estado de Chiapas, Mexico. Tesis (M.Sc.). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 97 p.
- Higuchi, N; Santos, J; Ribeiro, R; Miente, L; Biot, Y.** 1998. Biomassa de parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra – firme da Amazônia brasileira. Acta Amazonica 28:153– 166.
- Hipkins, MF.** 1984. Photosynthesis. In: Wilkins, MB. (ed.) 1984. Plant physiology. Pitman Publishing Limited, London, UK. P 219 – 248.
- Holdrige, LR.** 1982. Ecología basada en zonas de vida. (Tr) Jiménez H. San José, CR, IICA.
- ICRAF.** 2001. Resultados de caracterización de suelos, de ensayo de Capirona-98.
- IPCC.** 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook and Reference Manual Revised Versión 1996. UNEP, WMO.
- IPCC.** 2007. Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC WG1 AR4 Final Report. 996 p.
- Jiménez, E.; Landeta, A.** 2009. Fijación de biomasa y producción de carbon en plantaciones de Teca (*Tectona grandis Linn F.*) Campus Prosperina – ESPOL.
- Lal, R.** 2002. The potencial of soils of the tropics to sequester carbón and mitígate the green house effect. Advances in Agronomy, 76: 1 – 30.
- Lapeyre, T.** 2004. Determinación de las Reservas de Carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas de Uso de la Tierra en San Martín, Perú. Tesis (M. Sc.), Universidad Nacional Agraria La Molina, 61 p.

- Larrea, G.** 2007. Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Combinaciones Agroforestales de *Theobroma cacao L.* Departamento de San Martín. Tesis (Ing. Forestal), Universidad Nacional Agraria La Molina 89 p.
- Lim, MT.** 1988. Studies on *Acacia mangium* in *Kemasul*, Malaysia. Biomass and productivity. *Journal of tropical ecology* 4:293 – 302.
- Llerena, CA.; Hermoza, RM.; Llerena, LM.** Plantaciones forestales, agua y gestión de cuencas. *Debate agrario* 42: 79 - 110.
- Lopera, G y Gutierrez, V.** 2001. Flujo de carbono y respuesta a diferentes estrategias de manejo en plantaciones tropicales de *Pinus patula*. Universidad Nacional de Colombia. 20 p.
- Malhi, Y. & J. Grace.** 2000. Tropical forest and atmospheric carbón dioxide. *Trends in ecology and evolution* 15: 332 – 337.
- Masera, O; De Jong, B; Ricalde, I; Ordoñez, J.** 2000. Consolidación de la oficina mexicana para la mitigación de gases de efecto invernadero. Reporte Final. IdeE-UNAM. 168 p.
- Masera, OR; Ceron, AD; y Ordoñez, JA.** 2001. Forestry mitigation options for México: finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change*.
- Mc Diken, KG.** 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. *Forest Carbon Monitoring Program*. S.L.: Winrock International Institute for Agricultural Development. Arlington
- OCIC, (Oficina Costarricense de Implementación Conjunta).** 1998. Actividades de implementación Conjunta. San José, Costa Rica. 6 p.
- Montero, M. Kanninem, M.** 2002. Bioamsa y carbono en plantaciones de *Terminalia* amazonia en la zona sur de Costa Rica. 6 p.
- Ordoñez, A.** 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.

- Ordoñez, A.** 1999. Captura de carbono en un bosque templado: El caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México D.F. Junio.
- Ortiz, A; Riasco, L.** 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* L y laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. CATIE.
- Ortiz, MA.** 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71 p.
- Palm, CA., Woome, PL, Alegre, J; Arévalo, L; Castilla, C; Cordeiro, DG; Feigl, B; Hairiah, K; Kotto-Same, J; Mendes, A; Moukam, A; Murdiyarso, D; Njomganag, R; Parton, WJ; Ricse, A;Rodrigues, V; Sitompul, SM and Van Noordwijk, M.** 1999. Carbon Sequestration and Trace Emissions in Slash and Burn and alternative Land Uses in the Humid Tropics. ASB Climate Change working group report, Final report, Phase 2. 27 p.
- Polzot, C.** 2004. Carbon storage in coffee agroecosystems of southern Costa Rica: Potential applications for the Clean Development Mechanism. Thesis, Faculty of Environmental Studies, Master in Environmental Studies, York University, Toronto, Ontario, Canada 149p.
- PNUD.** 1997. Protocolo de Kyoto para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. P 2 – 4.
- Reynel, C; Pennington, T.D; Pennington, R.T; Flores, C; Daza, A.** 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos. Darwin Initiative, ICRAF. Lima, Perú. 509p.
- Rugnitz, MT.; Chacón, ML.; Porro R.** 2009. Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais. Belém, Brasil.: Consórcio Iniciativa Amazônica (IA) e Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF). 73p.
- Samaniego, D.A.** 2009. Estimación de la cantidad de carbono almacenado por *Guazuma crinita* en una plantación de 8 años en Ucayali. Tesis (Ing. Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina. 148p.

- Sawyer, J.** 1993. Climate change and plantations. Plantations in the tropics environmental concerns. The IUCN Forest Conservation Programme. IUCN/UNEP/WWF. Surrey, UK. Pp 47 – 53.
- Sears, R.; Ugarte, J.; Soudre, M.** La autoecología y la ecología de *Calycophyllum spruceanum*, un árbol de la varzea amazónica in: IX Congreso Nacional de Botánica, Iquitos, Perú.
- Segura, M.; Kanninen, M.; Alfaro, M.; Campos, JJ.** 2000. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona atlántica de Costa Rica. Comunicación Técnica 30: 23-28.
- Sierra, C.** 2001. Biomasa radical de los bosques secundarios del área de influencia de la Central Hidroeléctrica Porce II. Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Sin publicar.
- Sotelo, C; Weber, J.** 2001 Variation in growth and wood traits among provenances of *Calycophyllum spruceanum Benth.* from the Peruvian Amazon. Research Report International Tropical Timber Organization Scholarship Programme Reference 090/99A. Pucallpa, Perú.
- Trumper, K; Bertzky, M; Dickson, B; Van der Heijden, G; Jenkins; Manning, P.** 2009. ¿La Solución Natural? El papel de los ecosistemas en la mitigación del cambio climático. Evaluación rápida del PNUMA. 76 p.
- Ugarte, L.J.; Revilla, J; Lopez, E.** 2003. Programa de Domesticación de Árboles Agroforestales del World Agroforestry Centre. Pucallpa PE.
- Ugarte, L.J.** 2008. Evaluación de los factores de sitio en la productividad de *Calycophyllum spruceanum b.* (Capirona) a través del índice de sitio en la Cuenca del Río Aguaytía, Ucayali, Perú. Tesis (M. Sc.). Universidad Nacional Agraria La Molina. 75 p.
- Velarde S., Alegre J., Tomish T.** 2005. Alternative to Slash and Burn in Peru. Summary report and synthesis of phase edited; ASB Programme, ICRAF.
- Young, H.F. y T.C. Tryon.** 1978. A national forest biomass inventory. IUFRO, S 4.01. forest inventory meeting in Burcharest, Romania. 11 p.

## ANEXO 1

### PESO HÚMEDO DE LOS COMPONENTE DE LOS 30 INDIVIDUOS MUESTREADOS

No.	Fuste								Ramas May.	Ramas Men.	Hojas
	Fuste 1	Fuste 2	Fuste 3	Fuste 4	Fuste 5	Fuste 6	Fuste 7	Fuste 8			
1	19.500	10.500	3.600	x	x	x	x	x	0.330	5.035	1.154
2	14.100	7.500	2.000	x	x	x	x	x	x	3.750	0.572
3	8.000	3.700	x	x	x	x	x	x	x	2.825	0.479
4	20.200	9.800	7.100	x	x	x	x	x	0.680	8.500	2.050
5	74.100	51.200	41.700	65.800	x	x	x	x	61.700	28.830	8.300
6	98.800	65.400	54.300	46.500	42.300	36.200	24.100	19.400	53.500	39.300	17.500
7	76.300	49.800	43.800	38.800	34.600	26.800	x	x	73.200	26.000	12.240
8	24.800	17.200	12.100	8.000	7.100	X	x	x	4.800	13.400	13.850
9	5.750	2.650	x	x	x	x	x	x	x	0.800	0.158
10	3.150	x	x	x	x	x	x	x	x	1.000	0.260
11	11.200	8.100	5.700	4.600	x	x	x	x	x	3.660	0.590
12	37.800	30.900	20.400	20.100	x	x	x	x	52.100	20.000	5.400
13	23.900	15.800	10.300	12.200	x	x	x	x	x	13.200	4.400
14	30.600	17.700	14.600	9.700	x	x	x	x	9.100	10.300	5.300
15	35.400	25.200	19.500	18.500	10.200	x	x	x	5.400	11.100	5.900
16	61.100	60.500	44.100	38.500	20.200	x	x	x	22.500	25.300	10.400
17	1.700	x	x	x	x	x	x	x	x	0.342	0.074
18	77.800	46.100	36.400	25.700	15.100	4.700	x	x	x	22.900	8.600
19	5.050	x	x	x	x	x	x	x	x	1.250	0.412
20	41.700	24.400	x	x	x	x	x	x	6.000	11.600	6.360
21	23.500	17.800	x	x	x	x	x	x	x	9.000	4.300
22	37.700	27.400	x	x	x	x	x	x	20.900	20.400	10.800
23	4.700	7.200	x	x	x	x	x	x	x	2.900	0.366
24	58.300	43.900	37.300		x	x	x	x	10.300	18.200	11.100
25	64.100	30.000	20.900	x	x	x	x	x	19.400	23.500	15.100
26	45.800	26.900	12.700	x	x	x	x	x	21.850	15.100	2.600
27	16.400	17.200	x	x	x	x	x	x	x	3.150	0.185
28	46.100	32.400	23.800	x	x	x	x	x	7.600	13.100	5.200
29	23.400	12.500	x	x	x	x	x	x	x	7.600	0.460
30	7.700	x	x	x	x	x	x	x	x	0.950	0.055

## ANEXO 2

### PESO HÚMEDO DE LAS MUESTRAS DE LOS COMPONENTES DE LOS 30 INDIVIDUOS MUESTREADOS

No.	Fuste								Ramas May.	Ramas Men.	Hojas
	Fuste 1	Fuste 2	Fuste 3	Fuste 4	Fuste 5	Fuste 6	Fuste 7	Fuste 8			
1	0.349	0.220	0.096	x	x	x	x	x	0.152	0.226	0.314
2	0.254	0.168	0.158	x	x	x	x	x	x	0.318	0.256
3	0.307	0.168	x	x	x	x	x	x	x	0.251	0.270
4	0.411	0.306	0.260	x	x	x	x	x	0.142	0.242	0.204
5	1.022	1.205	0.734	0.428	x	x	x	x	0.173	0.436	0.394
6	1.480	0.588	0.584	0.476	0.495	0.258	0.200	0.242	0.315	0.401	0.325
7	0.876	0.728	0.560	0.560	0.529	0.306	x	x	0.440	0.395	0.415
8	0.284	0.218	0.302	0.254	0.135	x	x	x	0.422	0.396	0.282
9	0.062	0.108	x	x	x	x	x	x	x	0.174	0.158
10	0.136	x	x	x	x	x	x	x	x	0.185	0.260
11	0.388	0.380	0.189	0.184	x	x	x	x	x	0.236	0.204
12	1.000	0.656	0.452	0.525	x	x	x	x	0.600	0.362	0.216
13	0.488	0.359	0.264	0.197	x	x	x	x	x	0.306	0.220
14	0.494	0.368	0.304	0.220	x	x	x	x	0.280	0.300	0.206
15	0.512	0.350	0.287	0.299	0.260	x	x	x	0.335	0.305	0.285
16	0.778	0.600	0.662	0.332	0.275	x	x	x	0.334	0.255	0.289
17	0.099	x	x	x	x	x	x	x	x	0.161	0.074
18	0.912	0.575	0.480	0.418	0.281	0.205	x	x	x	0.208	0.378
19	0.160	x	x	x	x	x	x	x	x	0.218	0.202
20	0.586	0.461	x	x	x	x	x	x	0.341	0.240	0.300
21	0.461	0.305	x	x	x	x	x	x	x	0.264	0.265
22	0.656	0.358	x	x	x	x	x	x	0.335	0.240	0.235
23	0.248	0.205	x	x	x	x	x	x	x	0.240	0.235
24	0.598	0.476	0.380	x	x	x	x	x	0.415	0.280	0.254
25	0.645	0.464	0.439	x	x	x	x	x	0.343	0.192	0.240
26	0.566	0.460	0.276	x	x	x	x	x	0.205	0.175	0.208
27	0.315	0.254	x	x	x	x	x	x	x	0.288	0.185
28	0.664	0.395	0.315	x	x	x	x	x	0.170	0.164	0.240
29	0.411	0.340	x	x	x	x	x	x	x	0.236	0.269
30	0.268	x	x	x	x	x	x	x	x	0.150	0.055

## ANEXO 3

### PESO SECO DE LAS MUESTRAS DE LOS COMPONENTES DE LOS 30 INDIVIDUOS MUESTREADOS

No.	Fuste								Ramas May.	Ramas Men.	Hojas
	Fuste 1	Fuste 2	Fuste 3	Fuste 4	Fuste 5	Fuste 6	Fuste 7	Fuste 8			
1	0.210	0.108	0.043	X	X	X	X	X	0.072	0.120	0.088
2	0.141	0.089	0.079	X	X	X	X	X	X	0.185	0.073
3	0.175	0.077	X	X	X	X	X	X	X	0.147	0.078
4	0.203	0.149	0.119	X	X	X	X	X	0.064	0.118	0.062
5	0.619	0.773	0.424	0.237	X	X	X	X	0.086	0.175	0.079
6	0.757	0.305	0.301	0.240	0.256	0.128	0.095	0.112	0.140	0.154	0.079
7	0.482	0.370	0.283	0.275	0.267	0.155	x	x	0.195	0.113	0.110
8	0.168	0.121	0.162	0.127	0.064	X	X	X	0.213	0.168	0.082
9	0.029	0.051	X	X	X	X	X	X	X	0.078	0.043
10	0.063	X	X	X	X	X	X	X	X	0.074	0.068
11	0.172	0.216	0.092	0.089	X	X	X	X	X	0.076	0.058
12	0.626	0.381	0.247	0.293	X	X	X	X	0.324	0.147	0.059
13	0.286	0.194	0.141	0.089	X	X	X	X	X	0.128	0.061
14	0.281	0.200	0.159	0.100	X	X	X	X	0.136	0.118	0.056
15	0.293	0.191	0.148	0.150	0.118	X	X	X	0.151	0.113	0.082
16	0.487	0.356	0.369	0.162	0.137	X	X	X	0.166	0.093	0.087
17	0.040	X	X	X	X	X	X	X	X	0.066	0.012
18	0.557	0.324	0.262	0.218	0.137	0.104	X	X	X	0.076	0.105
19	0.088	X	X	X	X	X	X	X	X	0.078	0.053
20	0.359	0.257	X	X	X	X	X	X	0.179	0.076	0.073
21	0.280	0.159	X	X	X	X	X	X	X	0.098	0.063
22	0.393	0.179	X	X	X	X	X	X	0.158	0.081	0.062
23	0.108	0.085	X	X	X	X	X	X	X	0.089	0.059
24	0.349	0.259	0.191	X	X	X	X	X	0.222	0.117	0.068
25	0.381	0.267	0.224	X	X	X	X	X	0.161	0.070	0.073
26	0.333	0.254	0.143	X	X	X	X	X	0.103	0.068	0.063
27	0.174	0.133	X	X	X	X	X	X	X	0.139	0.057
28	0.389	0.203	0.154	X	X	X	X	X	0.081	0.073	0.080
29	0.228	0.181	X	X	X	X	X	X	X	0.102	0.079
30	0.138	X	X	X	X	X	X	X	X	0.068	0.016

## ANEXO 4

### PESO SECO DE LOS COMPONENTES DE LOS 30 INDIVIDUOS MUESTREADOS

No.	Fuste								Ramas May.	Ramas Men.	Hojas
	Fuste 1	Fuste 2	Fuste 3	Fuste 4	Fuste 5	Fuste 6	Fuste 7	Fuste 8			
1	11.745	5.150	1.601	X	X	X	X	X	0.157	2.667	0.322
2	7.799	3.951	1.005	X	X	X	X	X	0.000	2.186	0.163
3	4.552	1.691	X	X	X	X	X	X	0.000	1.650	0.139
4	9.953	4.759	3.239	X	X	X	X	X	0.306	4.148	0.627
5	44.844	32.823	24.100	36.405	X	X	X	X	30.600	11.585	1.671
6	50.542	33.968	27.996	23.436	21.885	17.960	11.435	8.987	23.795	15.122	4.259
7	42.017	25.276	22.150	19.061	17.477	13.531	X	X	32.491	7.418	3.247
8	14.635	9.531	6.479	4.013	3.345	X	X	X	2.422	5.671	4.003
9	2.708	1.244	X	X	X	X	X	X	0.000	0.360	0.043
10	1.459	X	X	X	X	X	X	X	0.000	0.397	0.068
11	4.965	4.611	2.784	2.228	X	X	X	X	0.000	1.183	0.169
12	23.674	17.928	11.130	11.210	X	X	X	X	28.160	8.127	1.483
13	14.007	8.547	5.517	5.481	X	X	X	X	0.000	5.513	1.218
14	17.400	9.629	7.631	4.427	X	X	X	X	4.433	4.062	1.451
15	20.224	13.781	10.076	9.275	4.637	X	X	X	2.439	4.105	1.704
16	38.278	35.887	24.608	18.809	10.093	X	X	X	11.183	9.207	3.131
17	0.690	X	X	X	X	X	X	X	0.000	0.140	0.012
18	47.525	25.984	19.891	13.385	7.357	2.394	X	X	0.000	8.400	2.378
19	2.790	X	X	X	X	X	X	X	0.000	0.445	0.107
20	25.575	13.576	X	X	X	X	X	X	3.146	3.693	1.543
21	14.248	9.291	X	X	X	X	X	X	0.000	3.341	1.026
22	22.609	13.662	X	X	X	X	X	X	9.845	6.843	2.868
23	2.047	2.989	X	X	X	X	X	X	0.000	1.078	0.091
24	34.034	23.850	18.709	X	X	X	X	X	5.517	7.625	2.950
25	37.834	17.250	10.674	X	X	X	X	X	9.095	8.531	4.618
26	26.938	14.848	6.575	X	X	X	X	X	10.978	5.824	0.785
27	9.064	9.013	X	X	X	X	X	X	0.000	1.521	0.057
28	26.980	16.651	11.666	X	X	X	X	X	3.630	5.823	1.733
29	12.981	6.643	X	X	X	X	X	X	0.000	3.275	0.135
30	3.951	X	X	X	X	X	X	X	0.000	0.433	0.016

## ANEXO 5

### DATOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA PREDICCIÓN DE BIOMASA

No.	D Base (cm)		D Base Prom. (cm)	DAP (cm)		DAP Prom. (cm)	Altura (m)	Biomasa Seca Total (kg)
	1	2		1	2			
1	13.80	11.90	12.85	8.00	8.70	8.35	10.23	21.642
2	11.10	10.20	10.65	7.00	7.00	7.00	9.80	15.105
3	8.80	8.80	8.80	5.80	5.90	5.85	6.40	8.032
4	15.60	14.20	14.90	9.70	9.60	9.65	9.90	23.031
5	26.70	28.00	27.35	19.00	20.20	19.60	19.15	182.028
6	33.50	33.10	33.30	22.80	22.00	22.40	20.80	239.384
7	25.50	26.10	25.80	18.90	18.40	18.65	19.60	182.669
8	17.50	15.20	16.35	10.90	11.10	11.00	12.40	50.098
9	6.30	6.40	6.35	4.60	4.70	4.65	7.30	4.356
10	6.00	6.20	6.10	3.20	3.30	3.25	4.10	1.924
11	10.40	11.10	10.75	7.70	7.30	7.50	10.50	15.939
12	18.90	20.40	19.65	15.00	14.40	14.70	16.20	101.711
13	18.00	21.20	19.60	11.00	9.80	10.40	12.30	40.283
14	16.60	18.00	17.30	11.00	11.60	11.30	13.30	49.033
15	21.20	20.30	20.75	14.50	13.90	14.20	14.80	66.240
16	25.50	24.80	25.15	17.40	17.20	17.30	18.40	151.195
17	3.70	3.00	3.35	2.50	2.60	2.55	4.10	0.843
18	23.70	22.40	23.05	17.40	16.20	16.80	18.60	127.313
19	7.20	6.40	6.80	4.20	4.40	4.30	4.90	3.343
20	17.60	18.00	17.80	11.50	12.50	12.00	9.80	47.533
21	12.90	12.70	12.80	8.80	9.20	9.00	10.50	27.905
22	21.00	20.80	20.90	12.40	12.60	12.50	10.40	55.825
23	12.00	9.00	10.50	6.50	6.30	6.40	7.50	6.205
24	23.00	22.20	22.60	15.10	15.70	15.40	17.10	92.685
25	25.30	20.90	23.10	15.20	14.80	15.00	12.50	88.002
26	20.80	20.40	20.60	12.50	13.50	13.00	13.10	65.949
27	15.30	10.00	12.65	8.10	8.00	8.05	9.30	19.656
28	18.30	19.50	18.90	13.50	13.20	13.35	12.80	66.483
29	12.60	14.90	13.75	10.50	9.40	9.95	8.10	23.034
30	6.00	6.10	6.05	5.20	5.10	5.15	5.00	4.400

## ANEXO 6

### BIOMASA ARBÓREA

Árborea (t/ha)							
Total	60.719	Estrato 1	38.111	Plantación 6	30.482	Trans. 1	28.690
						Trans. 2	35.691
						Trans. 3	39.564
						Trans.4	24.226
						Trans. 5	24.239
				Plantación 8	51.517	Trans. 1	33.811
						Trans. 2	80.892
						Trans. 3	51.854
						Trans.4	41.363
						Trans. 5	49.666
				Plantación 9	32.333	Trans. 1	33.701
						Trans. 2	47.027
						Trans. 3	32.085
						Trans.4	20.493
						Trans. 5	28.360
		Estrato 2	77.676	Plantación 11	83.651	Trans. 1	106.185
						Trans. 2	87.962
						Trans. 3	80.571
						Trans.4	82.738
						Trans. 5	60.796
				Plantación 12	53.714	Trans. 1	36.265
						Trans. 2	80.539
						Trans. 3	54.102
						Trans.4	67.999
						Trans. 5	29.667
Plantación 13	84.183			Trans. 1	109.419		
				Trans. 2	73.670		
				Trans. 3	82.787		
				Trans.4	72.080		
				Trans. 5	82.960		
Plantación 14	89.154	Trans. 1	74.204				
		Trans. 2	98.704				
		Trans. 3	97.311				
		Trans.4	96.403				
		Trans. 5	79.148				

## ANEXO 7

### BIOMASA HERBÁCEA

Herbácea (t/ha)							
Total	2.665	Estrato 1	2.784	Plantación 6	2.785	Trans. 1	2.235
						Trans. 2	3.432
						Trans. 3	2.961
						Trans.4	2.376
						Trans. 5	2.922
		Plantación 8	2.782	Trans. 1	3.748		
				Trans. 2	2.286		
				Trans. 3	2.247		
				Trans.4	3.449		
				Trans. 5	2.179		
	Plantación 9	2.786	Trans. 1	2.958			
			Trans. 2	0.336			
			Trans. 3	4.430			
			Trans.4	2.791			
			Trans. 5	3.414			
	Estrato 2	2.576	Plantación 11	1.887	Trans. 1	2.198	
					Trans. 2	1.244	
					Trans. 3	2.735	
					Trans.4	1.693	
					Trans. 5	1.564	
Plantación 12			2.638	Trans. 1	2.160		
				Trans. 2	2.978		
				Trans. 3	2.974		
				Trans.4	2.703		
				Trans. 5	2.375		
Plantación 13	3.583	Trans. 1	2.462				
		Trans. 2	1.734				
		Trans. 3	3.667				
		Trans.4	7.326				
		Trans. 5	2.724				
Plantación 14	2.195	Trans. 1	3.008				
		Trans. 2	2.589				
		Trans. 3	2.111				
		Trans.4	2.061				
		Trans. 5	1.208				

## ANEXO 8

### BIOMASA DE HOJARASCA

Hojarasca (t/ha)							
Total	12.677	Estrato 1	10.482	Plantación 6	9.421	Trans. 1	8.674
						Trans. 2	6.218
						Trans. 3	8.998
						Trans.4	12.694
						Trans. 5	10.519
		Estrato 2	14.324	Plantación 8	10.710	Trans. 1	8.427
						Trans. 2	9.804
						Trans. 3	13.945
						Trans.4	12.641
						Trans. 5	8.733
	Plantación 9	11.314	Trans. 1	7.635			
			Trans. 2	11.945			
			Trans. 3	12.976			
			Trans.4	13.327			
			Trans. 5	10.688			
	Plantación 11	9.587	Trans. 1	5.252			
			Trans. 2	12.180			
			Trans. 3	10.960			
			Trans.4	9.911			
			Trans. 5	9.631			
Plantación 12	14.434	Trans. 1	13.572				
		Trans. 2	15.373				
		Trans. 3	16.473				
		Trans.4	10.898				
		Trans. 5	15.855				
Plantación 13	18.324	Trans. 1	11.022				
		Trans. 2	24.217				
		Trans. 3	16.515				
		Trans.4	27.363				
		Trans. 5	12.503				
Plantación 14	14.951	Trans. 1	15.338				
		Trans. 2	17.428				
		Trans. 3	13.572				
		Trans.4	17.912				
		Trans. 5	10.506				

## ANEXO 9

### BIOMASA DE ÁRBOLES MUERTOS EN PIE

Muertos en Pié (t/ha)							
Total	0.251	Estrato 1	0.006	Plantación 6	0.018	Trans. 1	0.041
						Trans. 2	0.000
						Trans. 3	0.000
						Trans.4	0.000
						Trans. 5	0.000
		Plantación 8	0.000	Trans. 1	0.000		
				Trans. 2	0.000		
				Trans. 3	0.000		
				Trans.4	0.000		
				Trans. 5	0.000		
	Plantación 9	0.000	Trans. 1	0.000			
			Trans. 2	0.000			
			Trans. 3	0.000			
			Trans.4	0.000			
			Trans. 5	0.000			
	Estrato 2	0.435	Plantación 11	1.742	Trans. 1	0.000	
					Trans. 2	0.000	
					Trans. 3	0.000	
					Trans.4	3.919	
					Trans. 5	0.000	
Plantación 12			0.000	Trans. 1	0.000		
				Trans. 2	0.000		
				Trans. 3	0.000		
				Trans.4	0.000		
				Trans. 5	0.000		
Plantación 13	0.000	Trans. 1	0.000				
		Trans. 2	0.000				
		Trans. 3	0.000				
		Trans.4	0.000				
		Trans. 5	0.000				
Plantación 14	0.000	Trans. 1	0.000				
		Trans. 2	0.000				
		Trans. 3	0.000				
		Trans.4	0.000				
		Trans. 5	0.000				

## ANEXO 10

### BIOMASA DE ÁRBOLES CAÍDOS MUERTOS

Caídos Muertos (t/ha)							
Total	0.149	Estrato 1	0.000	Plantación 6	0.000	Trans. 1	0.000
						Trans. 2	0.000
						Trans. 3	0.000
						Trans.4	0.000
						Trans. 5	0.000
		Plantación 8	0.000	Trans. 1	0.000		
				Trans. 2	0.000		
				Trans. 3	0.000		
				Trans.4	0.000		
				Trans. 5	0.000		
	Plantación 9	0.000	Trans. 1	0.000			
			Trans. 2	0.000			
			Trans. 3	0.000			
			Trans.4	0.000			
			Trans. 5	0.000			
	Estrato 2	0.261	Plantación 11	1.044	Trans. 1	0.000	
					Trans. 2	0.000	
					Trans. 3	0.000	
					Trans.4	5.222	
					Trans. 5	0.000	
Plantación 12			0.000	Trans. 1	0.000		
				Trans. 2	0.000		
				Trans. 3	0.000		
				Trans.4	0.000		
				Trans. 5	0.000		
Plantación 13	0.000	Trans. 1	0.000				
		Trans. 2	0.000				
		Trans. 3	0.000				
		Trans.4	0.000				
		Trans. 5	0.000				
Plantación 14	0.000	Trans. 1	0.000				
		Trans. 2	0.000				
		Trans. 3	0.000				
		Trans.4	0.000				
		Trans. 5	0.000				

## ANEXO 11

### BIOMASA VEGETAL TOTAL

Biomasa Total (t/ha)							
Total	76.324	Estrato 1	51.379	Plantación 6	42.696	Trans. 1	39.641
						Trans. 2	45.341
						Trans. 3	51.524
						Trans. 4	39.296
						Trans. 5	37.680
		Estrato 2	95.032	Plantación 8	65.009	Trans. 1	45.986
						Trans. 2	92.982
						Trans. 3	68.047
						Trans. 4	57.453
						Trans. 5	60.577
	Plantación 9	46.433	Trans. 1	44.294			
			Trans. 2	59.308			
			Trans. 3	49.490			
			Trans. 4	36.611			
			Trans. 5	42.463			
	Plantación 11	96.953	Trans. 1	113.635			
			Trans. 2	101.387			
			Trans. 3	94.266			
			Trans. 4	103.484			
			Trans. 5	71.991			
Plantación 12	70.786	Trans. 1	51.997				
		Trans. 2	98.889				
		Trans. 3	73.549				
		Trans. 4	81.600				
		Trans. 5	47.897				
Plantación 13	106.090	Trans. 1	122.904				
		Trans. 2	99.621				
		Trans. 3	102.969				
		Trans. 4	106.769				
		Trans. 5	98.186				
Plantación 14	106.301	Trans. 1	92.549				
		Trans. 2	118.721				
		Trans. 3	112.995				
		Trans. 4	116.376				
		Trans. 5	90.862				

## ANEXO 12

### CARBONO TOTAL

Carbono Total (t/ha)							
Total	34.346	Estrato 1	23.121	Plantación 6	19.213	Trans. 1	17.838
						Trans. 2	20.404
						Trans. 3	23.186
						Trans.4	17.683
						Trans. 5	16.956
		Estrato 2	42.765	Plantación 8	29.254	Trans. 1	20.694
						Trans. 2	41.842
						Trans. 3	30.621
						Trans.4	25.854
						Trans. 5	27.260
	Estrato 2	42.765	Plantación 9	20.895	Trans. 1	19.932	
					Trans. 2	26.689	
					Trans. 3	22.271	
					Trans.4	16.475	
					Trans. 5	19.108	
			Plantación 11	43.629	Trans. 1	51.136	
					Trans. 2	45.624	
					Trans. 3	42.420	
					Trans.4	46.568	
					Trans. 5	32.396	
Plantación 12	31.854	Trans. 1	23.399				
		Trans. 2	44.500				
		Trans. 3	33.097				
		Trans.4	36.720				
		Trans. 5	21.554				
Plantación 13	47.740	Trans. 1	55.307				
		Trans. 2	44.829				
		Trans. 3	46.336				
		Trans.4	48.046				
		Trans. 5	44.184				
Plantación 14	47.835	Trans. 1	41.647				
		Trans. 2	53.424				
		Trans. 3	50.848				
		Trans.4	52.369				
		Trans. 5	40.888				

## ANEXO 13

### CARBONO EQUIVALENTE TOTAL (CO<sub>2</sub>)

Carbono Equivalente (t/ha)							
Total	125.935	Estrato 1	84.776	Plantación 6	70.449	Trans. 1	65.407
						Trans. 2	74.813
						Trans. 3	85.014
						Trans.4	64.838
						Trans. 5	62.172
		Estrato 2	156.803	Plantación 8	107.265	Trans. 1	75.878
						Trans. 2	153.420
						Trans. 3	112.277
						Trans.4	94.798
						Trans. 5	99.952
	Estrato 2	156.803	Plantación 9	76.615	Trans. 1	73.085	
					Trans. 2	97.858	
					Trans. 3	81.659	
					Trans.4	60.408	
					Trans. 5	70.064	
	Estrato 2	156.803	Plantación 11	159.972	Trans. 1	187.498	
					Trans. 2	167.288	
					Trans. 3	155.539	
					Trans.4	170.748	
					Trans. 5	118.786	
Estrato 2	156.803	Plantación 12	116.797	Trans. 1	85.795		
				Trans. 2	163.167		
				Trans. 3	121.355		
				Trans.4	134.639		
				Trans. 5	79.030		
Estrato 2	156.803	Plantación 13	175.048	Trans. 1	202.791		
				Trans. 2	164.375		
				Trans. 3	169.898		
				Trans.4	176.169		
				Trans. 5	162.007		
Estrato 2	156.803	Plantación 14	175.396	Trans. 1	152.706		
				Trans. 2	195.889		
				Trans. 3	186.442		
				Trans.4	192.021		
				Trans. 5	149.922		