

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LOS RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES**



**DETERMINACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA  
ESTIMAR BIOMASA AÉREA Y CAPTURA DE CO<sub>2</sub> EN BOLAINA  
(*Guazuma crinita* C. Martius), EN EL SECTOR DE SANTA ROSA  
DE SHAPAJILLA**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
MENCION FORESTALES**

**MARIO ERNESTO TORRES GARCIA**

**PROMOCIÓN 2007 - II**

**Tingo María – Perú**

**2008**

F60

T73

Torres Garcia, Mario E.

Determinación de Ecuaciones Alométricas para Estimar Biomasa Aérea y captura de CO<sub>2</sub> en Bolaina (Guazuma crinita C. Martius), en el sector de Santa Rosa de Shapajilla. Tingo María, 2008

42 h.; 6 cuadros; 6 fgros.; 15 ref.; 30 cm.

Tesis ( Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales )  
Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María ( Perú ). Facultad  
de Recursos Naturales Renovables.

**GUAZUMA CRINITA C. MARTIUS / ECUACIONES ALOMÉTRICAS**

**/ BIOMASA AÉREA / CAPTURA - CARBONO / METODOLOGÍA /**

**TINGO MARÍA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUÁNUCO / PERÚ.**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 05 de febrero de 2009, a horas 05:00 p.m. en la Sala de Conferencias de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

## “DETERMINACIÓN DE ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA Y CAPTURA DE CO<sub>2</sub> EN BOLAINA (*Guazuma crinita* C. Martius), EN EL SECTOR DE SANTA ROSA DE SHAPAJILLA”

Presentado por el Bachiller: **MARIO ERNESTO TORRES GARCIA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de “MUY BUENO”.

En consecuencia el sustentante queda apto para optar el Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES, mención FORESTALES, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

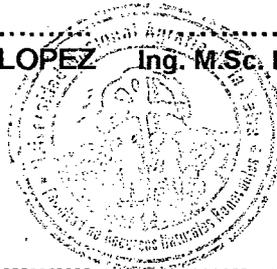
Tingo María, 11 de febrero de 2009

Mcbigo. M.Sc. CESAR SAMUEL LOPEZ LOPEZ  
Presidente

AUSENTE

Ing. M.Sc. FERNANDO GUTIERREZ HUAMAN  
Vocal

Blgo. M.Sc. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE  
Vocal



Blgo. ARMANDO MARTIN ENEQUE PUICON  
Asesor

Ing. M.Sc. TANIA ELIZABETH GUERRERO VEJARANO  
Co asesora

## DEDICATORIA

A Dios creador del universo y dueño de mi vida, por brindarme la fortaleza espiritual, física y sabiduría.

A Todos, los que me apoyaron por sus sabios consejos,

A mi madre Mirtha Garcia Navarro, con todo el respeto que se merece por su fe y confianza depositada en mí.

A mis queridos hermanos: Nilo Torres Garcia y Jorge Luis Torres Garcia.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva "alma mater", a los docentes del departamento académico de ciencias de los Recursos Naturales Renovables, mención forestales, quienes contribuyeron en mi formación académica.
- Al Blgo. Armando Eneque Puicon, por su colaboración como patrocinador por su valiosa orientación, apoyo en la ejecución y redacción del presente trabajo de investigación.
- Al Ing. M. Sc. Tania E. Guerrero Vejarano, por su colaboración como patrocinadora en el análisis y ejecución del presente trabajo de investigación.
- A todas aquellas personas que en forma directa e indirecta colaboraron en la realización del presente trabajo.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Descripción de la especie .....	3
2.1.1. Descripción taxonómica.....	3
2.1.2. Descripción botánica.....	3
2.1.3. Distribución geográfica .....	4
2.1.4. Fenología.....	4
2.15. La madera y sus usos.....	5
2.2. Concepto de biomasa forestal .....	5
2.2.1. Determinación de la biomasa.....	6
2.2.2. Métodos para la estimación de biomasa.....	7
2.2.2.1. Método de cosecha.....	7
2.2.2.2. Método del árbol medio.....	8
2.2.3. Modelos para estimación de la biomasa.....	8
2.3. Secuestro de carbono.....	10
2.3.1. Absorción del carbono .....	10
2.3.2. Conservación del carbono .....	11
2.3.3. Inventarios de carbono .....	12
2.3.4. La función de los bosques en las existencias mundiales de	

carbono.....	13
2.3.5. Estrategias con relación al carbono.....	13
2.4. Antecedentes de la captura de carbono en los bosques.....	14
2.4.1. Protocolo de Kyoto.....	15
2.4.2. El papel de los bosques en el cambio climático.....	15
2.4.3. Proyectos forestales .....	16
2.4.4. Los bosques y el carbono.....	17
2.5. Estudios de estimación de biomasa y de captura de carbono, realizados en el Perú y otros países.....	17
2.5.1. En el Perú.....	17
2.5.2. En otros países.....	18
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	19
3.2. Materiales y equipos de evaluación.....	20
3.3. Metodología.....	20
3.3.1. Determinación de la biomasa aérea.....	20
3.3.1.1. Tamaño de la muestra y selección de árboles a tumbar....	20
3.3.1.2. Medición de árboles muestra.....	20
3.3.1.3. Tumbado y pesado de los árboles muestra.....	21
3.3.1.4. Recolección y secado de las muestras.....	21
3.3.1.5. Cálculo de la biomasa aérea total por árbol.....	21
3.3.2. Determinación del porcentaje de cenizas Iso R 1762.....	22
3.3.3. Cálculo del contenido de carbono total por árbol.....	23
3.3.4. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar	

biomasa y captura de CO <sub>2</sub> .....	23
3.3.4.1. Determinación de la ecuación alométrica para estimar biomasa aérea.....	23
3.3.4.2. Determinación de la ecuación alométrica para estimar captura de CO <sub>2</sub> .....	24
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
4.1. Determinación de la biomasa por componente del árbol .....	25
4.2. Determinación del porcentaje de cenizas por componente del árbol.....	26
4.3. Determinación del contenido de carbono y captura de CO <sub>2</sub> .....	27
4.4. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y captura de CO <sub>2</sub> .....	29
4.4.1. Determinación de la ecuación alométrica para la estimación biomasa aérea .....	29
4.4.2. Determinación de la ecuación alométrica para la estimación de captura de CO <sub>2</sub> .....	34
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>37</b>
<b>VII. ABSTRACT .....</b>	<b>38</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>
<b>IX. ANEXOS.....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1. Biomasa total promedio por componente de árbol y por edad.....	25
2. Porcentaje de cenizas promedio por componente del árbol .....	26
3. Variabilidad de la biomasa total con respecto al % de cenizas.....	27
4. Determinación del contenido de carbono y captura de CO <sub>2</sub> promedio por edades.....	27
5. Resumen de los modelos y de los parámetros para la estimación de biomasa (kg).....	30
6. Biomasa total por categoría diamétrica determinada por la ecuación alométrica propuesta por el presente estudio, comparado con la propuesta por BROWN (1996) y por la determinada por DIAZ (2007) .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Crecimiento de la biomasa por componente de árbol con respecto a la edad.....	26
2. Crecimiento de la biomasa total, contenido de carbono y captura de CO <sub>2</sub> en Kilogramos por edades .....	29
3: Dispersión de los valores observados de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius y la línea de regresión generada con los datos de biomasa.....	30
4. Línea de regresión generada con los datos de biomasa de <i>Guazuma crinita</i> C. Martius.....	31
5. Biomasa total de <i>G. crinita</i> C. Martius, utilizando diferentes ecuaciones alométricas.....	33
6. Línea de regresión lineal generada por los datos de Biomasa total (kg) y por la captura de CO <sub>2</sub> .....	34

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, laboratorio de fotoquímica; con el propósito de determinar ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y captura de CO<sub>2</sub> de una plantación de 78 ha de bolaina (*Guazuma crinita* C. Martius) de 1 a 5 años de edad, ubicado en el sector Santa Rosa de Shapajilla - Luyando. Se seleccionaron 30 árboles, tomándose 6 muestras representativas por año, recolectando 9 muestras de cada uno de los siguientes componentes (fuste, ramas y follaje) de cada árbol. En el campo se determinó el peso fresco, tanto de la muestra como del componente. Las muestras se llevaron al laboratorio para ser secadas y obtener su peso seco, para después estimar la biomasa total de cada árbol, usando para ello la relación peso seco entre el peso fresco de las muestras por el peso fresco total, para este cálculo no se consideró el porcentaje de cenizas por componente. Para determinar el contenido de carbono por árbol se consideró los siguientes porcentajes: para el fuste 49,26%, para la ramas 49,47% y para las hojas 52,21%. La ecuación alométrica obtenidas para estimar la biomasa aérea en kilogramos por árbol quedó expresada como  $0,048 * dap^{2,78}$  y para estimar captura de CO<sub>2</sub> como  $0,0432 (dap)^2 h$ .

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las grandes preocupaciones mundiales es el cambio climático, el cual se sabe es causado por la acumulación de los gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera de la tierra, como parte de las actividades humanas.

Uno de los mecanismos de flexibilidad existentes, son los proyectos llamados Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), a través de los cuales, se podría incentivar las plantaciones forestales con fines de captura de dióxido de carbono. Para ello es de gran importancia tener información adecuada de la biomasa de los bosques naturales y plantaciones, como un medio para mitigar los cambios climáticos generados por el consumo de combustibles fósiles, entre otros, que liberan una gran cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera.

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa y captura de CO<sub>2</sub> de un bosque. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando luego su peso seco. Brown (1997), citado por SCHLEGEL *et al.* (2001) menciona que una forma de estimar la biomasa con el método indirecto es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre variables colectadas en terreno.

Por lo anteriormente mencionado, esta investigación busca estimar, a través de la elaboración de ecuaciones alométricas, el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono de la especie bolaina (*Guazuma crinita* C. Martius), los objetivos planteados fueron:

- Determinar la biomasa total promedio existente en el fuste, ramas y hojas por edades.
- Determinar el porcentaje de ceniza promedio existente en el fuste, ramas y hojas.
- Determinar el contenido promedio de carbono y captura de CO<sub>2</sub>, por edades.
- Determinar las ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y captura de CO<sub>2</sub>.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Descripción general de la especie

#### 2.1.1. Descripción taxonómica

PRO NATURALEZA (2003) clasifica a la especie *Guazuma crinita*

C. Martius, de la siguiente manera:

Familia	: Sterculiaceae
Género	: <i>Guazuma</i>
Especie	: <i>crinita</i>
N. científico	: <i>Guazuma crinita</i> C. Martius
Nombres comunes en el Perú	: Bolaina, bolaina blanca.
Nombre comercial internacional	: Bolaina blanca

#### 2.1.2. Descripción botánica

Es un árbol que alcanza hasta 35 m de altura y 50 cm de diámetro; perfectamente adaptable a terrenos débiles de bosques secundarios. La superficie del tronco es grisácea, negruzca, agrietada a fisurada. Presenta una copa plana aparasolada, con hojas simples, alternas, dispuestas en un solo plano con estípulas pequeñas y caducas. Las flores dispuestas en racimos en las axilas de las hojas o al final de las ramitas; las flores son de color rosado-

lila. El fruto es globoso de 5 a 6 mm de diámetro, cubierto de pelos largos de 2-4 cm de longitud (PRO NATURALEZA, 2003).

### **2.1.3. Distribución geográfica**

Generalmente se encuentra en bosques secundarios y a orillas de los ríos. Se ha adaptado para forraje y mucho más, son árboles pequeños a medianos. Se encuentra ampliamente distribuido a través del Caribe, México y América Central y Sur. Es una importante fuente de forraje para el ganado en muchas áreas, particularmente durante la estación seca cuando los pastos son escasos.

### **2.1.4. Fenología**

Esta especie está ampliamente adaptada, crece en suelos aluviales y arcillosos, y en climas húmedos y secos. Es una especie pionera que crece mejor en plena luz solar, coloniza áreas recientemente alteradas y también se le encuentra creciendo en las orillas de los arroyos y en pasturas. Es una especie común en el crecimiento secundario de los bosques. Crece mayormente en elevaciones por debajo de los 400 m con temperaturas promedio a menudo por encima de los 24 °C.

Las hojas permanecen en el árbol durante todo el año excepto en áreas muy secas donde las hojas se derraman al final de cada estación seca.

La propagación se puede realizar por plantado directo con semillas o plantando de estacas, tocones de raíz, o plántulas a raíz desnuda. Las

semillas requieren de escarificación antes de ser plantadas. Verter agua hirviendo sobre las semillas, remojarlas por 30 segundos y después escurrir el; cuando las semillas son frescas, la germinación ocurre dentro de los 7-14 días con un porcentaje del 60-80%. Las plántulas estarán listas para plantarlas en el campo cuando alcancen una altura de 30-40 cm (aproximadamente presentan de 100 000-225 000 semillas por kilogramo).

### **2.1.5. La madera y sus usos**

La madera de *Guazuma crinita* C. Martius posee una densidad básica de 0,41 g/cm<sup>3</sup>, en cuanto a su durabilidad es moderadamente resistente al ataque biológico. Actualmente se utiliza en construcción rural y urbana, cajonería, carpintería en general, laminado, paletas de chupetes, mondadientes, fósforos, juguetería, pulpa para papel (PRO NATURALEZA, 2003).

## **2.2. Biomasa forestal**

La biomasa se define como la suma total de la materia viva que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso seco masa o volumen (GAYOSO *et al.*, 2002).

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo (SCHLEGEL *et al.*, 2001), los estudios de biomasa forestal son importantes para comprender el ecosistema forestal, ya que entregan la distribución de la materia orgánica en el sistema y

permiten evaluar los efectos de una intervención, respecto a su equilibrio con el ecosistema (GAYOSO *et al.*, 2002).

El carbono se acumula en los árboles, en la vegetación arbustiva y en la vegetación herbácea; en la biomasa bajo el suelo (raíces); en el mantillo (capa de material orgánico sobre el suelo); en la necromasa (todo el material muerto de ecosistema) y en el suelo, considerado éste, hasta una profundidad de 30 cm (SCHLEGEL *et al.*, 2001).

La biomasa se puede cuantificar de forma directa e indirecta. La forma indirecta implica recolectar datos a campo y en inventarios para su posterior utilización en ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión. La forma directa, consiste en el apeo y pesado del árbol y determinar el peso seco Brown (1997), citado por SCHLEGEL *et al.* (2001).

Otro método, de menor confiabilidad es la utilización de funciones de volumen de fuste asociadas a la densidad básica de la madera (GAYOSO *et al.*, 2002).

### **2.2.1. Determinación de la biomasa**

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes. Esta información es de especial importancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer los montos de carbono capturados por los

bosques naturales y plantaciones, como un medio para mitigar los cambios climáticos generados por el consumo de combustibles fósiles, que liberan una gran cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera (SCHLEGEL *et al.*, 2001).

### **2.2.2. Métodos para la determinación de biomasa**

La estimación de la biomasa es una operación que implica mucho tiempo y este tipo de trabajo generalmente es llevado a cabo en localidades remotas, lo que hace que el traslado del material hacia los laboratorios sea muy difícil, la información acerca de la biomasa radical de árboles es difícil de obtener por su alto costo y la precisión es pobre comparada con la información de la biomasa aérea.

Parde (1980), citado por GAYOSO y SCHLEGEL (2001), describen gran parte de los métodos utilizados en los estudios de biomasa, entre las cuales destacan:

#### **2.2.2.1. Método de cosecha**

El método de la cosecha es una técnica directa, que se basa en la cosecha del material vegetal y posterior evaluación de su peso o volumen. El inconveniente que presenta es alto costo en tiempo y recursos. Este método proporciona un valor exacto de la biomasa ya que consiste en tumbar y pesar árboles de cada una de las muestras, determinándose posteriormente su peso seco. Adicionalmente el método permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y variables del rodal de fácil medición como la edad, área basal, alturas dominantes y otras.

### **2.2.2.2. Método del árbol medio**

Este método es una de las técnicas indirectas, que asume que el árbol de dimensiones medias del rodal también posee la biomasa media. Consiste en que una vez conocido el peso seco del árbol medio, los resultados son extrapolados al rodal completo multiplicando dicho peso por el número total de árboles. El árbol muestreado pertenece, por lo tanto, a la clase para el parámetro predictor escogido. Su mayor inconveniente es la posibilidad de encontrar un árbol medio en todas las variables morfológicas. Este sirve más bien, para evaluar la biomasa dentro del árbol y para estimar su producción anual. La mayor aplicabilidad de este método es en plantaciones, debido a que los árboles poseen relativa uniformidad de tamaños y edades.

### **2.2.3. Modelos para estimación de la biomasa**

Los modelos tienen por objeto explicar las relaciones matemáticas existentes entre los atributos y dimensiones del árbol y el peso seco de sus componentes.

Prado *et al.* (1987), citado por GARCINUÑO (1995), señalan que lo ideal para realizar análisis de regresión es tener una muestra promedio con 30 o más individuos.

Para determinar la biomasa es muy frecuente el uso de funciones alométricas cuando se ha obtenido el peso por componente o árbol total el cual se relaciona con algunas variables de estado del árbol de simple determinación. Estas funciones tienen mucha aplicación en el campo forestal,

por cuanto presentan gran flexibilidad en su uso, siendo las variables más usadas el diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro a la altura del tocón (Dat), altura total (Ht) y diferentes combinaciones de ellas.

Prado *et al.* (1987), citado por GARCINUÑO (1995) mencionan una gran cantidad de estudios que utilizan la forma del modelo siguiente:

$$Y = a * X^b \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde Y = variable dependiente; X = variable independiente; a,b = parámetros de la función.

GAYOSO *et al.* (2002) afirman que la preferencia por este modelo se debe a que expresa una proporcionalidad de los incrementos relativos entre dos componentes del árbol, y además es ampliamente consistente para distintas formas de crecimiento.

Y su expresión lineal doble logarítmica

$$\text{LN } Y = a + b * \text{LN } X \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde Y = variable dependiente; X = variable independiente; a,b = parámetros de la función.

En la ecuación (2) una gran variedad de relaciones dimensionales son reducidas a una línea recta ajustada por la ecuación doble logarítmica; además son ampliamente consistentes para distintas formas de crecimiento (SCHLEGEL *et al.*, 2001).

### **2.3. Secuestro de carbono**

El secuestro de carbono tanto en plantaciones como en bosque natural juega un gran papel para contrarrestar el problema del calentamiento global de la tierra; a medida que los bosques aumentan el almacenamiento de carbono, éste es cada vez menor en la atmósfera, por lo tanto los cambios climáticos disminuyen.

Los bosques tienen cuatro funciones principales en el cambio climático, como fuente de dióxido de carbono cuando se destruyen o degradan, como indicador de un cambio climático, como fuente de biocombustible y como sumidero de carbono cuando se explotan de forma sostenible. Por ello la conservación y expansión de los bosques naturales adultos o de los bosques artificiales son consideradas como una propuesta muy importante para la reducción del nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera debido a su función como sumideros de gases de efecto invernadero (DIXON, 1993).

#### **2.3.1. Absorción del carbono**

El potencial de absorción de carbono mediante actividades de forestación/reforestación depende de la especie, el lugar y el sistema de ordenación es muy variable. Los índices normales de absorción, expresados en toneladas de carbono (tC) por hectárea y año, en el trópico es de 3,2 a 10 tC. Los estudios realizados en los trópicos indican que sería posible absorber un volumen adicional de carbono, que se cifra en 11,5 a 28,7 Gt de carbono mediante la regeneración de unos 217 millones de ha de tierras degradadas.

Tal vez únicamente un tercio de la tierra ecológicamente adecuada podrá destinarse a actividades de forestación/reforestación. En esta hipótesis, las actividades agroforestales y de forestación/reforestación absorberían alrededor de 0,25 Gt por año, cifra a la que se añadirían 0,13 Gt anuales gracias a la restauración de tierras degradadas (BROWN, 1996).

Las actividades silvícolas que aumentan la productividad de los ecosistemas forestales, como los aclareos realizados en el momento adecuado, pueden incrementar en cierta medida el almacenamiento de carbono en los bosques.

Sin embargo, los efectos de los distintos sistemas silvícolas en la absorción total de carbono son mucho menores que las actividades de forestación y reforestación (DIXON, 1993).

### **2.3.2. Conservación del carbono**

Si bien el medio más eficaz para reducir las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> es la reducción de emisiones a partir de la combustión de productos fósiles, en relación con el uso de la tierra y la silvicultura, la conservación de los niveles actuales de carbono de los bosques ofrece desde el punto de vista técnico las mayores posibilidades para una atenuación rápida del cambio climático.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las emisiones de carbono debidas a la deforestación se producen en un plazo de unos pocos años después de que se han talado los bosques, la reducción de la tasa de

deforestación tendrá un efecto más inmediato sobre los niveles globales de CO<sub>2</sub> atmosférico que las actividades de forestación/reforestación, que pueden suponer la eliminación de la atmósfera de un volumen similar de carbono, pero en un período mucho más prolongado.

El potencial de conservación del carbono a través del mantenimiento de la cubierta forestal depende del escenario de referencia para la deforestación sin que se tome medida alguna. En principio, si se frenara por completo el fenómeno de la deforestación se podrían conservar de 1,2 a 2,2 Gt de carbono anuales (DIXON, 1993). Sin embargo, si bien es cierto que los ingresos relacionados con el carbono podrían suponer una mejora económica de las tierras forestales, los proyectos que se ejecuten deberán afrontar también las causas subyacentes de la deforestación y los problemas de la utilización insostenible para asegurar la conservación del carbono. BROWN (1996) estima que si se redujera la deforestación en las regiones tropicales se podrían mantener de 10 a 20 Gt de carbono hasta 2 050 (de 0,2 a 0,4 Gt anuales).

### **2.3.3. Inventarios de carbono**

En la estimación de carbono acumulado en los distintos ecosistemas forestales, se utilizan los inventarios de carbono, que contabilizan el carbono fijado al momento de las mediciones. Para que los inventarios puedan ser comparados entre sí y reflejen la cantidad real de carbono acumulado por el ecosistema, es importante que estas sean confiables. Es decir se basen en su estimación en principios y procedimientos aceptados de

inventario, muestreos y ciencias del suelo, para reflejar la cantidad real de carbono (SCHLEGEL *et al.*, 2001).

#### **2.3.4. La función de los bosques en las existencias mundiales de carbono.**

El carbono se acumula en los ecosistemas forestales mediante la absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico y su asimilación en la biomasa. El carbono se almacena tanto en la biomasa viva (la madera en pie, las ramas, el follaje y las raíces) como en la biomasa muerta (la hojarasca, los restos de madera, la materia orgánica del suelo y los productos forestales). Cualquier actividad que afecte al volumen de la biomasa en la vegetación y el suelo tiene capacidad para retener o liberar carbono de la atmósfera o hacia la atmósfera. En conjunto, los bosques contienen la mitad del carbono presente en la vegetación terrestre y en el suelo, estimándose su cuantía en 1 200 Gt (DIXON, 1993).

Los bosques boreales son el ecosistema que acumula una mayor cantidad de carbono (el 26% del total del carbono terrestre), en tanto que los bosques tropicales y templados contienen el 20% y el 7%, respectivamente (DIXON, 1993). En comparación con la vegetación de otros ecosistemas terrestres, la vegetación forestal tiene una gran densidad de carbono (IPCC, 2000).

#### **2.3.5. Estrategias en relación con el carbono**

Tres son las estrategias que pueden adoptarse en relación con el carbono presente en los bosques:

- La primera consiste en aumentar la tasa de acumulación de carbono mediante la creación o ampliación de sumideros de carbono (absorción del carbono).
- La segunda radica en impedir o reducir la emisión del carbono existente en los sumideros actuales (conservación del carbono).
- La tercera estrategia supone reducir la demanda de combustibles fósiles aumentando la utilización de madera, ya sea en productos de madera duraderos (es decir, la sustitución de materiales como el acero y el cemento con un alto consumo de energía) o como combustibles (sustitución del carbono).

Estas estrategias pueden ser complementarias. Existen ya varias iniciativas encaminadas a la absorción y conservación del carbono, como las actividades realizadas conjuntamente que se desarrollan en el marco de los proyectos sobre el carbono relacionados con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura (LLERENA, 1991).

#### **2.4. Antecedentes de la captura de carbono en los bosques**

A nivel mundial existe la preocupación por el calentamiento de la atmósfera como consecuencia del aumento de la concentración de los GEI de origen antropogénico. El principal de estos gases, es el CO<sub>2</sub>, el cual se ha incrementado desde 280 ppm que había durante el periodo preindustrial, hasta cerca de 360 ppm que hay en la actualidad. Los bosques naturales, las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, juegan un papel preponderante en el ciclo global del carbono, porque en ellos intervienen

muchos de los procesos biogeoquímicos que regulan el intercambio de carbono que existe entre la atmósfera y la biomasa aérea.

#### **2.4.1. Protocolo de Kyoto**

A partir del protocolo de Kyoto, en la que se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de GEI para los países industrializados, se ha planteado la posibilidad de incluir los proyectos llamados Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) como una opción para mitigar las emisiones de GEI, a través de la absorción de CO<sub>2</sub>.

El MDL es un mecanismo del Protocolo de Kyoto (PK) basado en proyectos, que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases efecto invernadero en países en desarrollo. El artículo N° 12 del PK establece este mecanismo, mediante el cual los países industrializados pueden financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo y recibir créditos por ello. Si bien el Protocolo de Kyoto entró en vigencia en el año 2005, el mercado del MDL ya estaba operando desde el 2002. Por esta razón, todas aquellas negociaciones de reducción de emisiones realizadas con anterioridad a la vigencia del Protocolo de Kyoto son válidas según un acuerdo entre los países signatarios dado en el año 2001 (GAYOSO *et al.*, 2001).

#### **2.4.2. El papel de los bosques en el cambio climático**

Los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo de carbono porque almacenan grandes cantidades de este elemento en la vegetación y en el suelo, intercambian carbono con la atmósfera a través de la

fotosíntesis y la respiración, son fuentes de carbonos atmosféricos cuando son perturbados por causas humanas o naturales (incendios, deforestación, etc.) y se convierten en sumideros durante el abandono de las tierras y su regeneración tras la perturbación, además pueden ser ordenados para alterar su papel en el ciclo global del carbono (LOPERA y GUTIERREZ, 2000). Las actividades humanas tales como el uso de combustible fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo y silvicultura, están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero GEI como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), clorofluorcarbonados, óxidos de nitrógeno y metano ( $\text{CH}_4$ ), principalmente, siendo el  $\text{CO}_2$  uno de los GEI mas importantes por las grandes cantidades en las que se emite. La vegetación forestal tiene la capacidad de asimilar a través del proceso de fotosíntesis el carbono y mantenerlo almacenado por largos periodos (BENJAMÍN y MASERA, 2001).

### **2.4.3. Proyectos forestales**

Existen 3 razones fundamentales para considerar a los proyectos forestales en la mitigación del cambio climático. Por el proceso de fotosíntesis las plantas capturan  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y lo fijan en sus células como carbono, siendo este alrededor del 50% de su biomasa seca.

Por una ventaja económica frente a los procesos de mejoras tecnológicas y otros mecanismos mucho mas costosos, con valores cinco veces superiores a lo que significa un proceso hecho a través de los bosques; y por la contribución potencial de preservar los bosques (GAYOSO *et al.*, 2001).

#### **2.4.4. Los bosques y el carbono**

Hoy se mira a los bosques como un medio para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), considerados los causantes del cambio climático, particularmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el gas con mayor participación y que se fija a través del proceso de fotosíntesis. Así, para contrarrestar las emisiones de carbono, un número creciente de empresas y agencias de diferentes países están considerando planes para establecer plantaciones y preservar bosques naturales (SCHLEGEL *et al.*, 2001).

#### **1.4. Estudios de estimación de biomasa y captura de carbono, realizados en el Perú y otros países.**

##### **1.4.1. En el Perú**

CATPO (2000) realizó un estudio de investigación para cuantificar carbono acumulado en una plantación de *Pinus patula* existente en Cajamarca, llamada Cerro Campanario ubicada a 40 km al NO de la ciudad. Donde establecieron 31 parcelas, que tuvieron árboles de 17 y 19 años de edad, de los cuales tomaron 31 individuos para ensayos destructivos para hallar la biomasa arbórea existente, determinando la biomasa arbórea existente. Con los datos calculados construyó la ecuación final de biomasa que tuvo como variable independiente al dap, como dependiente a la biomasa, quedando la ecuación expresado como  $CCB_{ATP_p} = 7.98e^{9.07dap}$ , permitiendo estimar montos de carbono para otras plantaciones de *Pinus patula*, dentro de Porcón y plantaciones en otros lugares del Perú, con similares características climáticas, fisiográficas y edáficas.

### 1.4.2. En otros países

DÍAZ *et al.* (2007) realizaron un estudio en el Ejido Mariano de Matamoros, Tlaxco, México, donde seleccionaron 25 árboles de *Pinus patula* Schl. et Cham., y se determinaron su biomasa y carbono en el estrato aéreo para ajustar el modelo  $Y=b*X^k$ , tomando como variable independiente (X) el diámetro (dap). En el campo se determinó el peso fresco, tanto de la muestra como del componente, las muestras se llevaron al laboratorio para ser secadas y obtener su peso seco, para después estimar la biomasa total de cada árbol, usando para ello la relación peso seco: peso fresco de las muestras. Para determinar el carbono de los diferentes componentes se tomaron muestras de cinco árboles y fueron analizadas en el laboratorio, obteniendo así 52,21% de carbono en el follaje, 49,47% en las ramas y 49,26% en el fuste, de esta forma la concentración promedio por árbol fue de 50,31%. Para estimar la biomasa se ajustó y generó la ecuación  $B = 0.0357 * dap^{2.6916}$ , y para estimar el carbono la ecuación ajustada fue  $CC = 0.021 * dap^{2.6451}$ , con los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para ambas de 0,98.

Acosta *et al.* (2001), citado por SCHLEGEL *et al.* (2001), determinó la cantidad de carbono almacenado en la parte aérea de ecosistemas forestales y de pastizales en tres regiones de México, realizaron en el cálculo de biomasa, el ajuste de ecuaciones alométricas para cada especie. Para ello se utilizaron las variables dasométricas: diámetro normal (DN), altura y el peso seco de cada individuo. La ecuación utilizada fue  $Y= aX^b$  en donde Y = biomasa en kilos, X = es el diámetro normal y a y b son los parámetros a estimar.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción de la zona de estudio

La investigación se ha realizado en una plantación de 78 ha de bolaina (*Guazuma crinita*) de 1 a 5 años de edad, distribuída bajo el método cuadrado con un distanciamiento de 3 m entre planta, ubicándose políticamente en el sector de Santa Rosa de Shapajilla, distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

Geográficamente Santa Rosa de Shapajilla presenta las siguientes coordenadas:

Latitud sur : 9° 12' 14"

Longitud oeste : 75°59'35"

Altitud : 620 m.s.n.m.

Ecológicamente, de acuerdo a la clasificación de zonas de vida y el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE (1996), Santa Rosa de Shapajilla se encuentra en la formación vegetal de Bosque muy húmedo Premontano Sub Tropical (bmh-PST), se ubica en selva alta, con temperatura media anual de 24 °C, precipitación promedio anual de 3 200 mm y humedad relativa promedio anual de 87%.

## **3.2. Materiales y equipos de evaluación**

Los materiales y equipos empleados según las necesidades fueron: una motosierra marca Homelite, sierra de arco, machete, cinta métrica, balanza de mano de 5, 12, 100 kg, bolsas plásticas, estufa, mufla, cocina eléctrica, 6 crisoles de porcelana y una balanza analítica. Para marcar el punto se utilizó un GPS GARMIN modelo 60 XL, cámara digital, computadora y equipos de impresión.

## **3.3. Metodología**

### **3.3.1. Determinación de la biomasa aérea**

#### **3.3.1.1. Tamaño de la muestra y selección de árboles a tumbar**

Se seleccionaron 30 individuos de *G. crinita* C. Martius, de diferentes edades (1a 5 años), tomándose 6 muestras representativas por año, teniendo en cuenta la variabilidad entre árboles, pero no se consideraron árboles bifurcados o con enfermedades ya que carecen de una sobreestimación de biomasa.

#### **3.3.1.2. Medición de árboles muestra**

Se realizaron 2 tipos de mediciones, la primera con el árbol en pie, donde se incorporó un grupo de variables de interés para un buen uso posterior de los antecedentes como el dap, edad y número de árbol y la segunda una vez realizado la tumba.

### **3.3.1.3. Tumbado y pesado de los árboles muestra**

Se procedió a la tumba de los árboles con la ayuda de una motosierra, al ras del suelo sin dejar el tocón, una vez derribado, su fuste fue seccionado en trozas de 1 m de longitud, las ramas fueron separadas del follaje para ser pesado de manera independiente. Las trozas se pesaron en una balanza romana de 100 kg, del mismo modo se pesaron las ramas y hojas en una balanza romana de 12 kg, obteniendo así el peso fresco total por componente del árbol (Cuadro 7 del Anexo 1).

### **3.3.1.4. Recolección y secado de las muestras**

Se recolectaron 9 muestras por árbol, 3 muestras o rodajas de aproximadamente 5 cm de espesor de la parte baja, media y alta del fuste, 3 muestras de ramas y 3 muestras de hojas, sumando 270 muestras en total, estos fueron pesados independientemente en una balanza circular de 5 kg, para luego obtener el peso fresco por muestra.

Las muestras fueron llevadas a laboratorio de fitoquímica de la facultad de Recursos Naturales Renovables, para ser secadas a 105 °C de temperatura, hasta obtener un peso seco constante por componente del árbol (Cuadro 8, 9, 10 del Anexo 1).

### **3.3.1.5. Cálculo de la biomasa aérea total por árbol**

El cálculo de biomasa de los individuos se realizó por componente de árbol, utilizando las fórmulas propuesta por ARÉVALO *et al.* (2003):

$$B \text{ (kg)} = ((\text{PSM} / \text{PFM}) \times \text{PFT}) \times 1000$$

Bt = Biomasa

PSM = Peso Seco de la muestra

PFM = Peso fresco de la muestra

PFT = Peso fresco total

$$Bt \text{ (kg/árbol)} = Bf + Br + Bh$$

Bt = Biomasa total

Bf = Biomasa del fuste

Br = Biomasa de las ramas

Bh = Biomasa de las hojas

### 3.3.2. Determinación del porcentaje de cenizas Iso R 1762

Para determinar el porcentaje de cenizas del fuste ramas y hojas, se procedió a desmenuzar dos muestras de cada uno, luego puestos 5 gramos de muestra en un crisol, luego fueron puestas en una cocina eléctrica para ser quemados hasta un punto que se hagan carbón, luego se colocó en la mufla hasta obtener cenizas, para después ser puesto en un desecador y ser pesados, también se colocó 5 gramos de muestra en la estufa para determinar "k". El porcentaje de ceniza se calculó con la siguiente fórmula (GARZÓN, 1993):

$$\% \text{ de Ceniza} = \frac{\text{Masa de la ceniza}}{\text{Masa inicial} \times K} \times 100$$

$$K = \frac{\text{Masa seca de la muestra}}{\text{Masa húmeda de la muestra}}$$

### 3.3.3. Cálculo del contenido de carbono total por árbol

Para determinar el contenido de carbono por componente de árbol, se tomó en cuenta los porcentajes de carbono promedio encontrado en la investigación realizada por DÍAZ *et al.* (2007) en *Pinus patula* Schl. et Cham., que fue de 49,26% para el fuste; 49,47% para las ramas y 52,21% para las hojas. El cálculo de carbono se realizó con las siguientes fórmulas:

$$CC = Bt * 0,4926; \text{ para el caso del fuste}$$

$$CC = Bt * 0,4947; \text{ para el caso de ramas}$$

$$CC = Bt * 0,5221; \text{ para el caso de hojas}$$

Donde:

CC = Contenido de Carbono

Bt = Biomasa total

### 3.3.4. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y captura de CO<sub>2</sub>

#### 3.3.4.1. Determinación de la ecuación alométrica para estimar biomasa aérea

La ecuación alométrica para estimar la biomasa, se determinó mediante ejercicios regresionales en el programa Excel, teniendo como variable independiente al dap (cm) y como dependiente a la biomasa (kg), obteniendo diferentes modelos regresionales. El resumen y análisis de estos modelos se realizó con el programa SPSS 12.

### 3.3.4.2. Determinación de la ecuación alométrica para estimar captura de CO<sub>2</sub>

La determinación de la ecuación alométrica para estimar captura de CO<sub>2</sub> que más se ajuste a esta especie se utilizó el programa Excel, donde teniendo los datos de biomasa total y captura de CO<sub>2</sub> por árbol, se realizó la línea de tendencia donde se obtuvo un modelo matemático, mediante regresión lineal y obteniendo un coeficiente de determinación "R<sup>2</sup>" igual a 1, este modelo fue expresado en función al dap y la altura para obtener la ecuación alométrica, de la siguiente manera:

$$X = \text{Biomasa fuste} + \text{biomasa (ramas + hojas)}$$

Donde:

X = Constante

$$\text{Biomasa fuste} = DB * \pi/4 \text{ dap}^2 * h * 0.65$$

$$\text{Biomasa fuste} = k \text{ biomasa (ramas + hojas)}$$

DB = Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)

dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)

h = Altura (m)

K = Constante

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Determinación de la biomasa por componente del árbol

Cuadro 1. Biomasa total promedio por componente del árbol y por edad.

Edad (Años)	Biomasa Fuste (kg)	Biomasa ramas (kg)	Biomasa hojas (kg)	Biomasa total (kg)
1	1,52	0,43	0,61	2,56
2	11,69	3,71	2,98	18,38
3	38,05	4,06	3,80	45,90
4	65,87	4,53	4,79	75,18
5	124,01	10,02	6,03	140,06

El promedio de los componentes de la biomasa para el fuste, ramas y hojas variaron con respecto a la edad de la plantación. Alcanzando una biomasa promedio total en kilogramos por árbol para el 1<sup>er</sup> año de 2,56; el 2<sup>do</sup> año de 18,38; el 3<sup>er</sup> año de 45,9; el 4<sup>to</sup> año de 75,18 y el 5<sup>to</sup> año de 140,06, pudiendo variar estos resultados con la calidad del sitio y con la especie (Cuadro 1).

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes (SCHLEGEL *et al.*, 2001), la biomasa de la mayoría de los

componentes de los árboles aumenta con la edad, sitio y tratamiento del rodal (Figura 1), ésta se estabiliza con el tiempo y su monto varía con la calidad de sitio y con la especie (GAYOSO *et al.*, 2002).

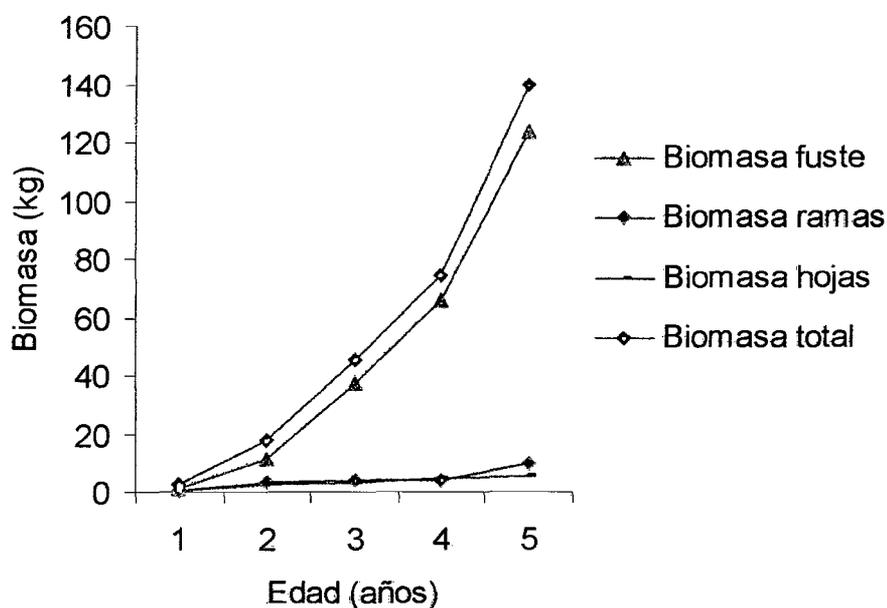


Figura 1. Crecimiento de la biomasa por componente de árbol con respecto a la edad.

#### 4.2. Determinación del porcentaje de cenizas por componente del árbol

Cuadro 2. Porcentaje de cenizas promedio por componente del árbol.

%	Fuste	Ramas	Hojas
Cenizas	2,91	4,89	8,93

El porcentaje promedio de cenizas en el fuste fue de 2,91%, en las ramas 4,89% y en las hojas con 8,93%, alcanzando un mayor porcentaje en las hojas (Cuadro 2).

Cuadro 3. Variabilidad de la biomasa total con respecto al % de cenizas.

Edad (Años)	Biomasa total (kg)	Biomasa total sin cenizas (kg)
1	2,56	2,48
2	18,38	17,48
3	45,90	44,32
4	75,18	72,82
5	140,06	135,27

La biomasa es la suma total de la materia orgánica que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso seco (GAYOSO *et al.*, 2002). El peso seco está conformado con un porcentaje mayor de materia orgánica y con un porcentaje menor de material inorgánico o cenizas. Para el presente estudio no se consideró el porcentaje de cenizas para el cálculo de biomasa total, debida que no se forma por la captura de CO<sub>2</sub> (Cuadro 11 del Anexo 1). A partir de estos resultados, se determinó las ecuaciones alométricas, contenido de carbono y captura de CO<sub>2</sub>.

#### 4.3. Determinación del contenido de carbono y captura de CO<sub>2</sub>

Cuadro 4. Determinación del contenido de carbono y captura de CO<sub>2</sub> promedio por edades.

Edad (Años)	Carbono total (kg)	Captura de CO <sub>2</sub> (kg)
1	1,23	4,49
2	8,7	31,9
3	21,94	80,46
4	36,01	132,02
5	66,82	244,99

El promedio del contenido de carbono y captura de CO<sub>2</sub> en kilogramos de la *G. crinita* C. Martius, para el 1<sup>er</sup> año fue de 1,23 y 4,49; el 2<sup>do</sup> año de 8,70 y 31,90; el 3<sup>er</sup> año de 21,94 y 80,46; el 4<sup>to</sup> año de 36,01 y de 132.02 y para el 5<sup>to</sup> año de 66,82 y 244,99 respectivamente (Cuadro 4).

En muchos estudios se ha empleado la biomasa de los árboles para estimar su contenido de carbono, a través de la multiplicación de la cantidad disponible en una determinada superficie por un factor que va desde 0,40 hasta el 0,55; ya que varios autores han encontrado que es la proporción de carbono contenido en cualquier especie vegetal, en general se acepta que el contenido de carbono corresponde al 50% de la biomasa (DÍAZ, 2007). Sin embargo, diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de carbono según especie y tejido del árbol (GAYOSO *et al.*, 2002).

Según Parde (1980), citado por GAYOSO y SCHLEGEL (2001), el contenido de carbono en la planta, es diferente en cada componente (fuste, ramas y hojas), DÍAZ *et al.* (2007) determinó el carbono de los diferentes componentes tomando 5 muestras de árboles de *Pinus patula* (pino) y fueron analizadas en el laboratorio, obteniendo así 52,21% de carbono en las hojas, 49,47% en las ramas y 49,26% en el fuste, de esta forma la concentración promedio por árbol fue de 50,31%, en el presente estudio no se logró determinar el contenido de carbono por componente, debido a los altos costos que incurren estos ensayos. Por lo tanto se utilizó los porcentajes de contenido de carbono encontrados en *Pinus patula* (pino) por componente de árbol (Cuadro 12 del Anexo 1), donde obtuvo un promedio por árbol aceptado por varios autores.

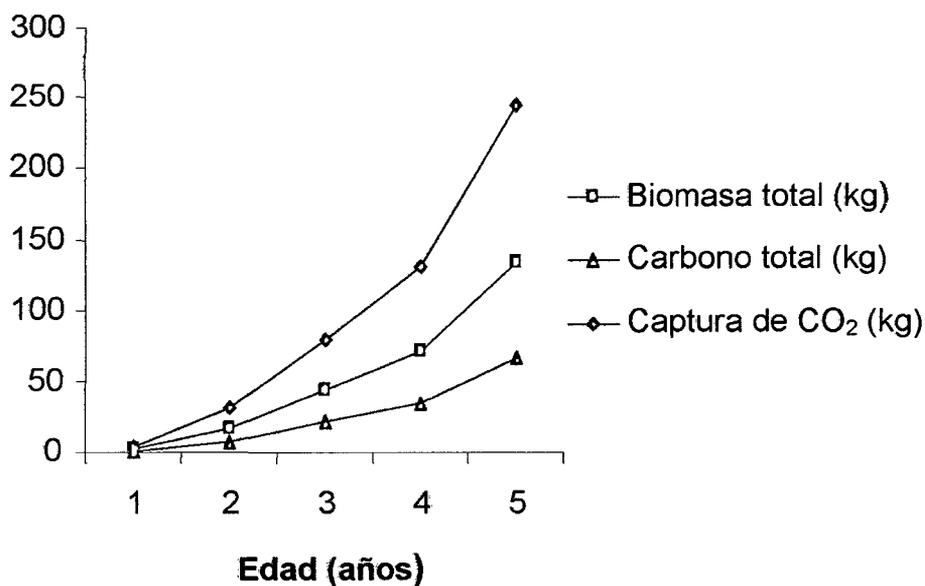


Figura 2. Crecimiento de la biomasa total, contenido de carbono y captura de CO<sub>2</sub> en Kilogramos por edades en *G. crinita* C. Martius.

El contenido de carbono y la captura de CO<sub>2</sub>, dependen directamente del crecimiento de la biomasa por edades (Figura 2).

#### 4.4. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y captura de CO<sub>2</sub>

##### 4.4.1. Determinación de la ecuación alométrica para la estimación de biomasa aérea

El dap de los árboles muestreados varió en un rango de 3,5 a 20,48 cm, y su biomasa de 1,92 a 176,08 kilogramos. Obteniendo parámetros de dispersión y modelos matemáticos de los valores de biomasa (Figura 7, 8, 9, 10, 11 del Anexo 2)

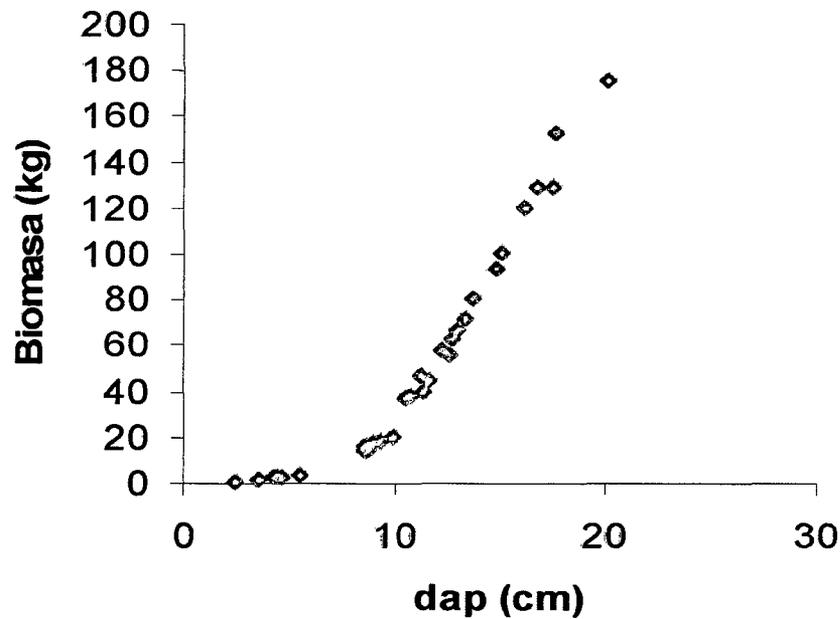


Figura 3. Dispersión de los valores observados de *Guazuma crinita* C. Martius generada con los datos de biomasa.

Cuadro 5. Resumen de los modelos y de los parámetros para la estimación de biomasa (kg).

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R <sup>2</sup>	F	gl1	gl2	Sig.	Const.	b1	b2
Lineal	0,886	217,53	1	28	9,95E-15	-58,038	10,22	
Logarítmica	0,671	57,12	1	28	3,12E-08	-122,10	77,18	
Inversa	0,422	20,42	1	28	1,03E-04	100,98	-391,67	
Cuadrático	0,986	952,96	2	27	9,11E-26	5,227	-4,04	0,66
Compuesto	0,941	444,21	1	28	1,02E-18	0,888	1,37	
Potencia	0,985	1 839,76	1	28	4,36E-27	0,048	2,78	
Crecimiento	0,941	444,21	1	28	1,02E-18	-0,119	0,31	
Exponencial	0,941	444,21	1	28	1,02E-18	0,888	0,31	

Variable dependiente: Biomasa (kg) y variable independiente el dap (cm).

Según AREVALO *et al.* (2003) la ecuación con mayor valor coeficiente de determinación ( $R^2$ ), será aquella que presente la mejor predicción sobre la producción de biomasa del árbol y por lo tanto, la que debe utilizarse para las siguientes evaluaciones de biomasa.

Realizando la dispersión de puntos de la biomasa y ajustes regresionales de la biomasa y un resumen de los modelos y parámetros, se observa que las ecuaciones con mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ), fueron el cuadrático y el potencial con 0,986 y 0,985 respectivamente, considerando para este caso el modelo mas significativo, tomando como prioridad la ecuación potencial por tener un mayor F calculado (1 839,76) y un mayor nivel de significancia (4,36E-27).

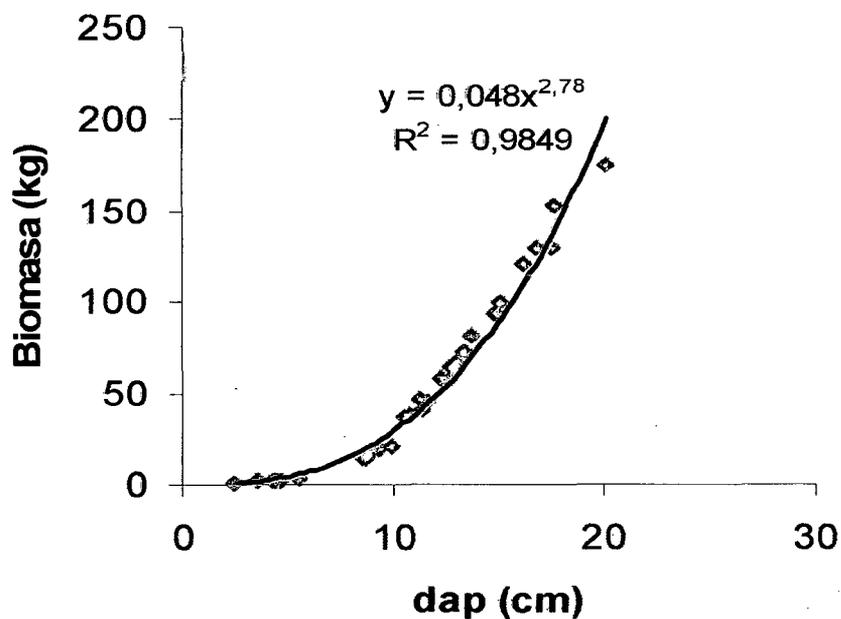


Figura 4. Línea de regresión generada con los datos de biomasa de *Guazuma crinita* C. Martius.

La ecuación determinada para estimar la biomasa de *G. crinita* C. Martius, quedó expresada como:

$$B = 0,048 * dap^{2,78}$$

En donde B es la biomasa (kg) y dap, es el diámetro a la altura de pecho (cm).

GAYOSO *et al.* (2002) afirman que la preferencia por este modelo se debe a que expresa una proporcionalidad de los incrementos relativos entre dos componentes del árbol, y además es ampliamente consistente para distintas formas de crecimiento.

Cuadro 6. Biomasa total por categoría diamétrica determinada por la ecuación alométrica propuesta por el presente estudio, comparado con la propuesta por BROWN (1996) y por la determinada por DÍAZ (2007).

Categoría diamétrica (cm)	Biomasa total (kg) presente estudio	Biomasa total (kg) (BROWN, 1996)	Biomasa total (kg) (DÍAZ, 2007)
2,5	0,62	1,20	0,42
5,0	4,23	6,95	2,72
7,5	13,00	19,38	8,09
10,0	28,84	40,12	17,55
12,5	53,51	70,56	32,00
15,0	88,66	111,91	52,27
17,5	135,88	165,29	79,15
20,0	196,69	231,72	113,38

Los resultados obtenidos de biomasa para datos de *G. crinita* C. Martius (Cuadro 6), se realizó utilizando ecuaciones alométricas propuestas para estimar biomasa aérea, se tomó en cuenta la ecuación determinada en el presente estudio, comparado con las ecuaciones propuesta por BROWN (1996) en especies de bosques tropicales ( $B = 0.1184 \text{ dap}^{2.53}$ ) y con la determinada por DÍAZ (2007) en *Pinus patula* ( $B = 0.0357 * \text{dap}^{2.6916}$ ), donde se observa una variación de los resultados de biomasa entre autores, dado a las diferentes especies que se pone en estudio, donde existen variabilidad en el crecimiento, formas morfológicas, densidades básicas y las distintas condiciones de suelos y microclimas que prospera cada especie. Poniendo en manifestación que el mal uso de estas ecuaciones da como resultado la sobreestimación o subestimación de biomasa por especie.

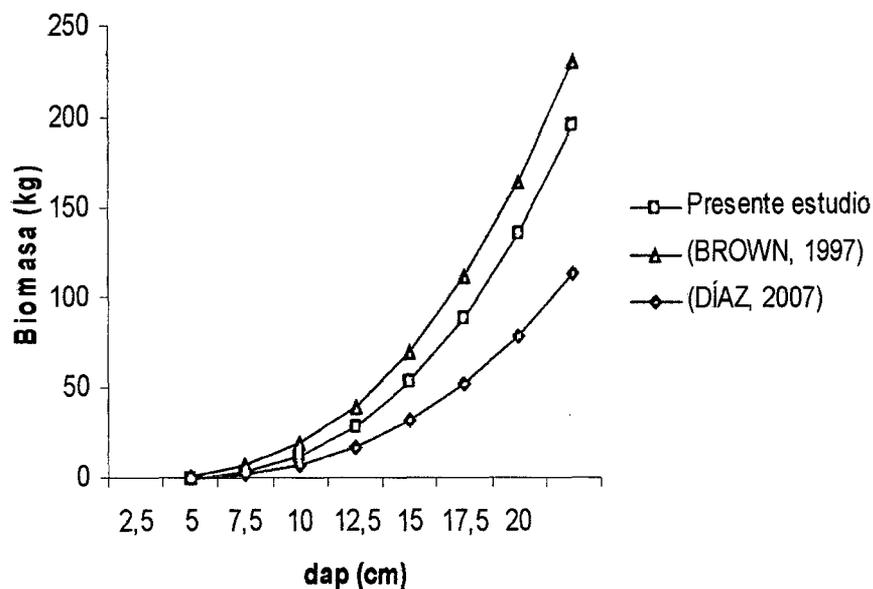


Figura 5. Biomasa total de *G. crinita* C. Martius, utilizando diferentes ecuaciones alométricas.

El empleo de funciones de biomasa externas presenta limitaciones dado que las influencias de las distintas condiciones de suelos, microclima y sitio en general son determinantes en la respuesta del crecimiento en la biomasa y acumulación de carbono (Figura 5). De aquí la importancia de la realización de estudios locales para conocer la tasa de crecimiento y la cantidad de biomasa que un bosque o plantaciones es capaz de acumular.

#### 4.4.2. Determinación de la ecuación alométrica para la estimación de captura de CO<sub>2</sub>

La biomasa total de los árboles muestreados varió en un rango de 1,92 a 176,08 kilogramos, y captura de CO<sub>2</sub> de 3,54 a 319,92 kilogramos (Figura 12 del Anexo 2). Los parámetros del modelo y la dispersión de puntos, presentan una ecuación lineal y un coeficiente de determinación ( $R^2 = 1$ ).

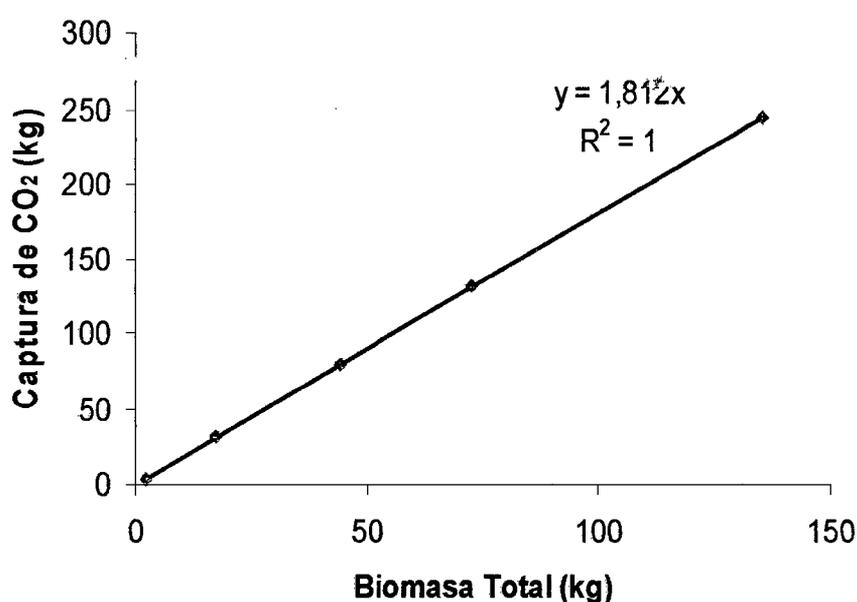


Figura 6. Línea de regresión lineal generada por los datos de Biomasa total (kg) y por la captura de CO<sub>2</sub>

La ecuación determinada mediante ecuación lineal es la siguiente:

$$Y = 1,812 x$$

Al ajustar la ecuación en función del diámetro y la altura para estimar captura de CO<sub>2</sub>, quedó expresada como:

$$CCO_2 = 0,0432 (dap)^2 h$$

En donde CCO<sub>2</sub> es la captura de CO<sub>2</sub> en kg; dap, es el diámetro a la altura de pecho en cm y h, es la altura total.

## V. CONCLUSIONES

1. El promedio de los componentes de la biomasa para el fuste, ramas y hojas variaron con respecto a la edad de la plantación. Alcanzando una biomasa promedio total en kilogramo por árbol para el 1<sup>er</sup> año de 2,56; el 2<sup>do</sup> año 18,38; el 3<sup>er</sup> año 45,9; el 4<sup>to</sup> año 75,18 y el 5<sup>to</sup> año 140,06.
2. El porcentaje promedio de cenizas en el fuste fue de 2,91 %, en las ramas 4,89 % y en las hojas de 8,93%.
3. El contenido promedio de carbono y captura de CO<sub>2</sub> en kilogramo por árbol para el 1<sup>er</sup> año fue de 1,23 y 4,49; el 2<sup>do</sup> año 8,70 y 31,90; el 3<sup>er</sup> año 21,94 y 80,46; el 4<sup>to</sup> año 36,01 y de 132,02 y para el 5<sup>to</sup> año 66,82 y 244,99 respectivamente.
4. La ecuación alométrica para estimar la biomasa aérea total en kilogramo por árbol de *Guazuma crinita* C. Martius, quedó expresada como  $0,048 * \text{dap}^{2,78}$  y para estimar captura de CO<sub>2</sub> como  $0,0432 (\text{dap})^2 \text{ h}$ .

## VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar individuos mayores de 5 años de edad, para observar la variación de su biomasa y por ende su máxima capacidad de fijación de CO<sub>2</sub>.
2. Seguir realizando evaluaciones similares para tener datos de ecuaciones alométricas por especie y a partir de estas, validar la ecuación de Brown o plantear una nueva ecuación específica para el estudio de biomasa y captura de CO<sub>2</sub> en bosques tropicales.
3. Tomar con precaución la utilización de estas ecuaciones en la estimación de biomasa total y captura de CO<sub>2</sub>, cuando se realicen inventarios de biomasa en plantaciones de bolaina, dado que su aplicabilidad es más eficiente en el rango de parámetros dasométricos observados en este trabajo de investigación.

## VII. ABSTRACT

This work was conducted at the Universidad Nacional Agraria de la Selva, School of Renewable Natural Resources, photochemical laboratory, with the intention to determine allometric equations for estimating biomass and capture CO<sub>2</sub> from a 78 hectare plantation bolaina (*Guazuma crinita* C. Martius) from 1 to 5 years old, located in the Santa Rosa de Shapajilla - Luyando. 30 trees were selected to take six samples per year, 9 samples collected from each of the following components (stem, branches and foliage) of each tree, in the field was determined fresh weight of both the sample and the component samples were taken to a lab to be dried and its dry weight gain, and then estimate the total biomass of each tree, using the dry weight between the wet weight of the samples by the total fresh weight for this calculation does not consider the percentage of ash component. To determine the carbon content per tree was found the following rates: 49.26% for the stem, branches for 49.47% and 52.21% for the leaves. Allometric equation gains to estimate the biomass in kilograms per tree was expressed as  $0048 * dap^{2.78}$  and to estimate capture CO<sub>2</sub> as  $0.0432 (dap)^2 h$ .

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARÉVALO, L., ALEGRE, J., PALM, C. 2003. Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. INIA. 1 ed. 24p.
- BENJAMÍN, J., MASERA, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Revista madera y bosques. 7(1): p. 3-12.
- BROWN, S. 1996. Influencia de los bosques. Revista Unasyuva. Volumen 47. No. 185. p. 3-10.
- CATPO, J. 2000. Determinación de la ecuación alométrica del *Pinus patula* y estimación de carbono en cerro Campanario. Tesis Ing. Forestal. Cajamarca, Perú. Universidad Agraria de la Molina. 56 p.
- DÍAZ, R., ACOSTA, M., CARRILLO, F., BUENDÍA, E., FLORES, E., ETCHEVERS, J. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. Madera y Bosques 13(1). p. 25-34.
- DIXON, J. 1993. El cambio climático y los bosques. [En línea]: Ecosur, ([http://www.ecosur.net/cambio climático y los bosques](http://www.ecosur.net/cambio_climatico_y_los_bosques), documento, 08 de feb. 2008)

- GARCINUÑO, J. 1995. Biomasa aérea en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* (Lab) en la Costa de Valdivia. Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile. 76 p.
- GAYOSO, J., GUERRA, J., ALARCÓN, D. 2002, Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. [En línea]: UACH, ([www.uach.cl/procarbono/Documentos/Informe%20Tecnico%20Biomasa.pdf](http://www.uach.cl/procarbono/Documentos/Informe%20Tecnico%20Biomasa.pdf), documento, 06 jul. 2008)
- GAYOSO, J., SCHLEGEL, B. 2001. Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono. UACH – Chile. 17p.
- HOLDRIDGE, L. 1996. Ecología basada en zonas de vida. Centro científico tropical 216 p.
- IPCC, 2000. El cambio climático y los bosques. [En línea]: Ecosur, ([http://www.ecosur.net/cambio\\_climatico\\_y\\_los\\_bosques](http://www.ecosur.net/cambio_climatico_y_los_bosques), documento, 04 Feb. 2008).
- LLERENA, C.A. 1991. Contaminación atmosférica, efecto invernadero y cambios climáticos, sus impactos forestales. Revista Forestal del Perú. Vol. 18(2). p. 101-106.
- LOPERA, G., GUTIERREZ, V. 2000. Viabilidad técnica y económica de la utilización de plantaciones de *Pinus patula* como sumidero de CO<sub>2</sub>. Tesis ingeniero forestal. Universidad Nacional de Colombia. 98 p.

PRO NATURALEZA, 2003. Proyecto de Aprovechamiento y Manejo Sostenible de la Reserva de Biosfera y Parque Nacional del Manu. Cusco - Perú

SCHLEGEL, B., GAYOSO, J., GUERRA, J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. UACH – Chile. 26 p.

## **VIII. ANEXOS**

Anexo 1. Datos obtenidos para la determinación de biomasa aerea y captura de CO<sub>2</sub>

Cuadro 7. Datos obtenidos en campo de los 30 árboles tumbados

Nº DE ARBOL: 1		EDAD: 1		
DIAMETRO: 5,5 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 5,40	8,1	2,02	2,6	
<b>TOTAL</b>	<b>8,1</b>	<b>2,02</b>	<b>2,6</b>	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	290	220	200	
2				
3				

Nº DE ÁRBOL: 2		EDAD: 1		
DIAMETRO: 4,4 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 4,84	5,2	1,65	1,75	
<b>TOTAL</b>	<b>5,2</b>	<b>1,65</b>	<b>1,75</b>	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	230	210	200	
2				
3				



Cuadro 7. (Continuación)

<b>Nº DE ÁRBOL: 5</b>		<b>EDAD: 1</b>		
<b>DIÁMETRO: 2.4 cm.</b>				
<b>Altura de troza</b>	<b>PESO (kg)</b>			
	<b>(m)</b>	<b>TALLO</b>	<b>RAMAS</b>	<b>HOJAS</b>
0 - 3,18	1,39	1,19	0,45	
<b>TOTAL</b>	<b>1,39</b>	<b>1,19</b>	<b>0,45</b>	
<b>Nº DE MUESTRA</b>	<b>PESO DE LA MUESTRA (gr)</b>			
	<b>TALLO</b>	<b>RAMAS</b>	<b>HOJAS</b>	
1	110	160	200	
2				
3				

<b>Nº DE ÁRBOL: 6</b>		<b>EDAD: 1</b>		
<b>DIÁMETRO: 3,5 cm.</b>				
<b>Altura de troza</b>	<b>PESO (kg)</b>			
	<b>(m)</b>	<b>TALLO</b>	<b>RAMAS</b>	<b>HOJAS</b>
0 - 4	3,38	1,26	1,6	
<b>TOTAL</b>	<b>3,38</b>	<b>1,26</b>	<b>1,6</b>	
<b>Nº DE MUESTRA</b>	<b>PESO DE LA MUESTRA (gr)</b>			
	<b>TALLO</b>	<b>RAMAS</b>	<b>HOJAS</b>	
1	160	260	200	
2				
3				













Cuadro 7. (Continuación)

Nº DE ÁRBOL: 19		EDAD: 4		
DIÁMETRO: 12,98 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	22	15	8	
1 - 2	18		6,3	
2 - 3	15,5			
3 - 4	14			
4 - 5	13,5			
5 - 6	9			
6 - 7	9,5			
7 - 8	8,5			
8 - 9	8			
9 - 10	7,5			
10 - 11	7,5			
11 - 12	7			
12 - 13	6			
13 - 14	4			
14 - 15	4			
15 - 16	3			
16 - 18,40	2			
TOTAL	159	15	14,3	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	960	220	200	
2	440	220	200	
3	160	220	200	

Nº DE ÁRBOL: 20		EDAD: 4		
DIÁMETRO: 13,35 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	26	15,5	4,65	
1 - 2	19		9,5	
2 - 3	17			
3 - 4	15			
4 - 5	14,5			
5 - 6	12			
6 - 7	10			
7 - 8	9			
8 - 9	8,5			
9 - 10	7,5			
10 - 11	7			
11 - 12	6,5			
12 - 13	6			
13 - 14	4,5			
14 - 15	4			
15 - 16	3			
16 - 18,34	2,5			
TOTAL	172	15,5	14,15	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	1000	160	200	
2	550	160	200	
3	160	160	200	

Cuadro 7. (Continuación)

Nº DE ÁRBOL: 21		EDAD: 4		
DIÁMETRO: 12,78 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	22	13	6,6	
1 - 2	17		5,25	
2 - 3	15,5			
3 - 4	14			
4 - 5	12			
5 - 6	11,5			
6 - 7	9			
7 - 8	9			
8 - 9	7			
9 - 10	7			
10 - 11	6			
11 - 12	6			
12 - 13	6			
13 - 14	3,5			
14 - 15	3,5			
15 - 16	2,5			
16 - 17,50	2			
TOTAL	153,5	13	11,85	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	890	180	200	
2	600	180	200	
3	210	180	200	

Nº DE ÁRBOL: 22		EDAD: 4		
DIÁMETRO: 13,76 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	25	20	10	
1 - 2	20		6	
2 - 3	17,5			
3 - 4	15,5			
4 - 5	14			
5 - 6	13			
6 - 7	12			
7 - 8	9			
8 - 9	9			
9 - 10	8			
10 - 11	7,8			
11 - 12	6,2			
12 - 13	5,5			
13 - 14	4			
14 - 15	4			
15 - 16	2,5			
16 - 18,90	1,5			
TOTAL	174,5	20	16	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	820	240	200	
2	575	240	200	
3	160	240	200	

Cuadro 7. (Continuación)

Nº DE ÁRBOL: 23		EDAD: 4		
DIÁMETRO: 12,25 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	23	12	7,5	
1 - 2	17		3,25	
2 - 3	14			
3 - 4	13			
4 - 5	11			
5 - 6	10			
6 - 7	9,5			
7 - 8	8			
8 - 9	7			
9 - 10	6,5			
10 - 11	6			
11 - 12	5			
12 - 13	4,5			
13 - 14	4			
14 - 15	3			
15 - 17,70	3,5			
TOTAL	145	12	10,75	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	820	225	200	
2	420	225	200	
3	140	225	200	

Nº DE ÁRBOL: 24		EDAD: 4		
DIÁMETRO: 14,80 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	29	20	14	
1 - 2	21		4,5	
2 - 3	19,5			
3 - 4	18			
4 - 5	17			
5 - 6	16			
6 - 7	14			
7 - 8	13			
8 - 9	8,5			
9 - 10	8,5			
10 - 11	8,5			
11 - 12	7,5			
12 - 13	6			
13 - 14	5,5			
14 - 15	5,5			
15 - 16	4,5			
16 - 18,50	3			
TOTAL	205	20	18,5	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	1100	190	200	
2	750	190	200	
3	250	190	200	

Cuadro 7. (Continuación)

Nº DE ÁRBOL: 25		EDAD: 5		
DIÁMETRO: 20,10 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	70	44	9	
1 - 2	39		7,6	
2 - 3	34			
3 - 4	28			
4 - 5	26			
5 - 6	23			
6 - 7	21,5			
7 - 8	20			
8 - 9	19			
9 - 10	17			
10 - 11	14			
11 - 12	12,5			
12 - 13	11			
13 - 14	8			
14 - 15	7,5			
15 - 16	7			
16 - 17	5			
17 - 18	3			
18 - 20,34	2			
<b>TOTAL</b>	<b>365,5</b>	<b>44</b>	<b>16,6</b>	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	2110	350	200	
2	1050	350	200	
3	290	350	200	

Nº DE ÁRBOL: 26		EDAD: 5		
DIÁMETRO: 17,50 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	39	14,5	7,75	
1 - 2	31	18	14,75	
2 - 3	28			
3 - 4	24			
4 - 5	21			
5 - 6	19			
6 - 7	18			
7 - 8	16			
8 - 9	14,5			
9 - 10	15,5			
10 - 11	13,5			
11 - 12	11			
12 - 13	9			
13 - 14	8			
14 - 15	7			
15 - 16	5,5			
16 - 17	4			
17 - 18	2			
18 - 19,16	1			
<b>TOTAL</b>	<b>286</b>	<b>32,5</b>	<b>22,5</b>	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	1380	190	200	
2	940	190	200	
3	260	190	200	

Cuadro 7. (Continuación)

Nº DE ÁRBOL: 27		EDAD: 5		
DIÁMETRO: 16,80 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	36,5	18	5	
1 - 2	25	18	12,9	
2 - 3	23,5			
3 - 4	21			
4 - 5	19			
5 - 6	17			
6 - 7	16			
7 - 8	15			
8 - 9	14			
9 - 10	14			
10 - 11	12			
11 - 12	10			
12 - 13	8,5			
13 - 14	8,5			
14 - 15	7			
15 - 16	6			
16 - 17	5			
17 - 18	2			
18 - 20,40	3			
<b>TOTAL</b>	<b>260</b>	<b>36</b>	<b>17,9</b>	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	1600	240	200	
2	760	240	200	
3	150	240	200	

Nº DE ÁRBOL: 28		EDAD: 5		
DIÁMETRO: 16,12 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	49	18	10	
1 - 2	28,5		3,25	
2 - 3	25			
3 - 4	21			
4 - 5	19			
5 - 6	17			
6 - 7	15			
7 - 8	14			
8 - 9	13			
9 - 10	13			
10 - 11	9			
11 - 12	7,5			
12 - 13	7			
13 - 14	6,5			
14 - 15	5			
15 - 16	4,5			
16 - 17	3,5			
17 - 19,89	3,5			
<b>TOTAL</b>	<b>261</b>	<b>18</b>	<b>13,25</b>	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	1500	260	200	
2	750	260	200	
3	260	260	200	

Cuadro 7. (Continuación)

Nº DE ÁRBOL: 29		EDAD: 5		
DIÁMETRO: 15,06 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	33	17	6,9	
1 - 2	23	4,25	6,5	
2 - 3	19,5			
3 - 4	17			
4 - 5	15,5			
5 - 6	14			
6 - 7	12,5			
7 - 8	11			
8 - 9	11			
9 - 10	9			
10 - 11	9			
11 - 12	7,5			
12 - 13	7			
13 - 14	6			
14 - 15	5			
15 - 16	4,5			
16 - 17	3			
17 - 19,87	1,5			
<hr/>				
TOTAL	209	21,25	13,4	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	1250	240	200	
2	625	240	200	
3	225	2640	200	

Nº DE ÁRBOL: 30		EDAD: 5		
DIÁMETRO: 17,63 cm.				
Altura de troza (m)	PESO (kg)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
0 - 1	42	9	5,6	
1 - 2	30	16,5	6,9	
2 - 3	27,5			
3 - 4	25,5			
4 - 5	24			
5 - 6	21,5			
6 - 7	20			
7 - 8	19,5			
8 - 9	17,5			
9 - 10	17			
10 - 11	16			
11 - 12	13			
12 - 13	12			
13 - 14	9			
14 - 15	8			
15 - 16	7,5			
16 - 17	6,5			
17 - 18	5			
18 - 19	3,5			
19 - 21,30	2			
<hr/>				
TOTAL	327	25,5	12,5	
Nº DE MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)			
	TALLO	RAMAS	HOJAS	
1	1590	210	200	
2	720	210	200	
3	320	210	200	

Cuadro 8. Determinación de biomasa del fuste.

Nº de árbol	Edad (años)	CATEGORIAS	Peso fresco de la muestra (gr.)	Peso seco de la muestra (gr.)	Peso fresco total (gr.)	Biomasa (kg)
1	1	B				
	1	M	160	48,46	3380	1,02
	1	A				
2	1	B				
	1	M	110	36,79	1390	0,46
	1	A				
3	1	B				
	1	M	210	71,71	5100	1,74
	1	A				
4	1	B				
	1	M	220	71,77	5500	1,79
	1	A				
5	1	B				
	1	M	230	76,33	5200	1,73
	1	A				
6	1	B				
	1	M	290	91,44	8100	2,55
	1	A				
7	2	B	360	137,33	30700	11,71
	2	M	200	67,82	30700	10,41
	2	A	100	26,98	30700	8,28
8	2	B	350	139,40	33300	13,26
	2	M	210	73,98	33300	11,73
	2	A	90	24,90	33300	9,21
9	2	B	410	181,82	25100	11,13
	2	M	190	85,76	25100	11,33
	2	A	130	53,63	25100	10,35

10	2	B	390	170,01	28400	12,38
	2	M	200	86,83	28400	12,33
	2	A	110	48,30	28400	12,47
11	2	B	350	142,77	40450	16,50
	2	M	240	85,22	40450	14,36
	2	A	150	51,06	40450	13,77
12	2	B	450	127,43	35600	10,08
	2	M	250	81,42	35600	11,59
	2	A	150	39,81	35600	9,45
13	3	B	710	267,24	122300	46,03
	3	M	425	149,92	122300	43,14
	3	A	170	47,64	122300	34,27
14	3	B	570	216,80	98300	37,39
	3	M	340	117,89	98300	34,08
	3	A	150	40,52	98300	26,55
15	3	B	570	235,00	88800	36,61
	3	M	300	115,42	88800	34,16
	3	A	140	50,82	88800	32,23
16	3	B	720	287,05	104300	41,58
	3	M	360	137,42	104300	39,81
	3	A	200	66,51	104300	34,68
17	3	B	610	233,10	89000	34,01
	3	M	330	127,90	89000	34,49
	3	A	130	40,09	89000	27,45
18	3	B	660	275,54	124800	52,10
	3	M	370	151,51	124800	51,10
	3	A	120	43,44	124800	45,18
19	4	B	1100	493,19	205000	91,91
	4	M	750	326,68	205000	89,29
	4	A	250	88,91	205000	72,91
20	4	B	820	338,13	145000	59,79
	4	M	420	158,62	145000	54,76

	4	A	140	43,20	145000	44,74
21	4	B	820	355,51	174500	75,65
	4	M	575	246,25	174500	74,73
	4	A	160	59,98	174500	65,42
	4	B	890	365,68	153500	63,07
22	4	M	600	237,42	153500	60,74
	4	A	210	68,45	153500	50,03
	4	B	1000	419,45	172000	72,15
23	4	M	550	219,54	172000	68,66
	4	A	160	56,46	172000	60,69
	4	B	960	400,00	159000	66,25
24	4	M	440	172,22	159000	62,23
	4	A	160	52,91	159000	52,58
	5	B	1590	728,73	327000	149,87
25	5	M	720	325,11	327000	147,65
	5	A	320	139,26	327000	142,31
	5	B	1250	588,96	209000	98,47
26	5	M	625	295,20	209000	98,71
	5	A	225	86,47	209000	80,32
	5	B	1500	681,53	261000	118,59
27	5	M	750	335,60	261000	116,79
	5	A	260	108,97	261000	109,39
	5	B	1600	745,58	260000	121,16
28	5	M	760	361,28	260000	123,60
	5	A	150	59,64	260000	103,38
	5	B	1380	619,70	286000	128,43
29	5	M	940	417,80	286000	127,12
	5	A	260	78,80	286000	86,68
	5	B	2110	1005,34	365500	174,15
30	5	M	1050	469,65	365500	163,48
	5	A	290	112,69	365500	142,03

Cuadro 9. Determinación de biomasa en las ramas.

Nº de árbol	Edad (años)	Peso fresco de la muestra (gr.)	Peso seco de la muestra (gr.)	Peso fresco total (gr.)	Biomasa (kg)
1	1	260	84,1	1260	0,41
2	1	160	39,4	1190	0,29
3	1	190	53	1320	0,37
4	1	170	49,1	1830	0,53
5	1	240	62,5	1650	0,43
6	1	220	63,4	2020	0,58
7	2	250	81,9	9750	3,19
8	2	300	117	12500	4,88
9	2	200	57,1	12800	3,65
10	2	220	77	11100	3,89
11	2	210	71,7	12100	4,13
12	2	160	42,7	9400	2,51
13	3	240	76,4	13000	4,14
14	3	240	72,2	13000	3,91
15	3	190	46,2	16000	3,89
16	3	210	61,5	15400	4,51
17	3	260	71,1	13100	3,58
18	3	160	37,4	18500	4,32
19	4	190	56,5	20000	5,95
20	4	225	64,2	12000	3,42
21	4	240	80,8	20000	6,73
22	4	180	52,4	13000	3,78
23	4	160	32,4	15500	3,14
24	4	220	60,9	15000	4,15
25	5	210	60,9	25500	7,40
26	5	240	76,8	21250	6,80
27	5	260	87	18000	6,02
28	5	240	76,6	36000	11,49
29	5	190	68,2	32500	11,67
30	5	350	133	44000	16,72

Cuadro 10. Determinación de biomasa en hojas.

Nº de árbol	Edad (años)	Peso fresco de la muestra (gr.)	Peso seco de la muestra (gr.)	Peso fresco total (gr.)	Biomasa (kg)
1	1	200	73,83	1600	0,59
2	1	200	74,07	450	0,17
3	1	200	77,05	1800	0,69
4	1	200	70,25	2260	0,79
5	1	200	60,43	1750	0,53
6	1	200	66,67	2600	0,87
7	2	200	60,02	8850	2,66
8	2	200	75,72	10500	3,98
9	2	200	76,19	7650	2,91
10	2	200	74,98	7350	2,76
11	2	200	73,78	9050	3,34
12	2	200	63,22	7100	2,24
13	3	200	58,76	13500	3,97
14	3	200	63,58	10800	3,43
15	3	200	67,49	11350	3,83
16	3	200	63,35	11300	3,58
17	3	200	68,15	9050	3,08
18	3	200	70,49	13850	4,88
19	4	200	64,28	18500	5,95
20	4	200	67,46	10750	3,63
21	4	200	67,98	16000	5,44
22	4	200	68,73	11850	4,07
23	4	200	65,44	14150	4,63
24	4	200	69,98	14300	5,00
25	5	200	77,05	12500	4,82
26	5	200	75,35	13400	5,05
27	5	200	61,56	13250	4,08
28	5	200	82,66	17900	7,40
29	5	200	81,92	22500	9,22
30	5	200	67,98	16600	5,64

Cuadro11. Cálculo de la biomasa total descontando el % de cenizas por árbol.

Nº de árbol	Diámetro (cm)	Biomasa del fuste (kg)	% de cenizas	Biomasa del fuste - %C (kg)	Biomasa de las ramas (kg)	% de cenizas	Biomasa de las ramas - %C(kg)	Biomasa de las hojas (kg)	% de cenizas	Biomasa de las hojas - %C (kg)	Biomasa total - %C
1	3,50	1,02	2,38	1,00	0,41	4,89	0,39	0,59	8,77	0,54	1,93
2	2,40	0,46	2,38	0,45	0,29	4,89	0,28	0,17	8,77	0,15	0,88
3	4,30	1,74	2,38	1,70	0,37	4,89	0,35	0,69	8,77	0,63	2,68
4	4,60	1,79	2,38	1,75	0,53	4,89	0,50	0,79	8,77	0,72	2,98
5	4,40	1,73	2,38	1,68	0,43	4,89	0,41	0,53	8,77	0,48	2,58
6	5,50	2,55	2,38	2,49	0,58	4,89	0,55	0,87	8,77	0,79	3,84
7	8,53	10,13	3,8	9,75	3,19	4,89	3,04	2,66	8,77	2,42	15,21
8	9,33	11,40	3,8	10,97	4,88	4,89	4,64	3,98	8,77	3,63	19,23
9	8,59	10,94	3,8	10,52	3,65	4,89	3,48	2,91	8,77	2,66	16,66
10	8,94	12,39	3,8	11,92	3,89	4,89	3,70	2,76	8,77	2,51	18,13
11	9,93	14,88	3,8	14,31	4,13	4,89	3,93	3,34	8,77	3,05	21,29
12	8,75	10,37	3,8	9,98	2,51	4,89	2,39	2,24	8,77	2,05	14,41
13	11,30	41,15	2,74	40,02	4,14	4,89	3,94	3,97	8,77	3,62	47,58
14	10,80	32,68	2,74	30,26	3,91	4,89	3,72	3,43	8,77	3,13	37,11
15	11,40	34,34	2,74	31,80	3,89	4,89	3,70	3,83	8,77	3,49	38,99
16	11,65	38,69	2,74	35,83	4,51	4,89	4,29	3,58	8,77	3,27	43,39
17	10,48	31,98	2,74	29,62	3,58	4,89	3,41	3,08	8,77	2,81	35,84
18	12,65	49,46	2,74	45,80	4,32	4,89	4,11	4,88	8,77	4,45	54,37
19	14,80	84,70	2,61	79,54	5,95	4,89	5,66	5,95	8,77	5,42	90,62
20	12,25	53,10	2,61	49,86	3,42	4,89	3,26	3,63	8,77	3,31	56,42
21	13,76	71,93	2,61	67,55	6,73	4,89	6,40	5,44	8,77	4,96	78,91
22	12,78	57,95	2,61	54,41	3,78	4,89	3,60	4,07	8,77	3,72	61,73
23	13,35	67,17	2,61	63,07	3,14	4,89	2,99	4,63	8,77	4,22	70,28
24	12,98	60,35	2,61	56,67	4,15	4,89	3,95	5,00	8,77	4,56	65,19
25	17,63	146,61	3,03	142,17	7,40	4,89	7,03	4,82	8,77	4,39	153,59
26	15,06	92,50	3,03	89,70	6,80	4,89	6,47	5,05	8,77	4,61	100,77
27	16,12	114,92	3,03	111,44	6,02	4,89	5,73	4,08	8,77	3,72	120,89
28	16,80	116,04	3,03	112,53	11,49	4,89	10,93	7,40	8,77	6,75	130,20
29	17,50	114,08	3,03	110,62	11,67	4,89	11,10	9,22	8,77	8,41	130,12
30	20,10	159,89	3,03	155,04	16,72	4,89	15,90	5,64	8,77	5,15	176,09

Cuadro 12. Contenido de carbono y captura de CO<sub>2</sub> por árbol.

Nº de árbol	Edad (años)	Bf (kg)	% DE C	Bf (kg de C)	Br (kg)	% DE C	BR (kg de C)	Bh (kg)	% DE C	Bh (kg de C)	Biomasa Total(kg)	Carbono total (kg)	Captura de CO <sub>2</sub> (Kg)
1	1	1,000	0,493	0,493	0,388	0,495	0,192	0,539	0,522	0,281	1,926	0,966	3,541
2	1	0,454	0,493	0,224	0,279	0,495	0,138	0,152	0,522	0,079	0,885	0,441	1,616
3	1	1,700	0,493	0,837	0,350	0,495	0,173	0,633	0,522	0,330	2,683	1,341	4,917
4	1	1,752	0,493	0,863	0,503	0,495	0,249	0,724	0,522	0,378	2,978	1,490	5,462
5	1	1,685	0,493	0,830	0,409	0,495	0,202	0,482	0,522	0,252	2,576	1,284	4,708
6	1	2,493	0,493	1,228	0,554	0,495	0,274	0,791	0,522	0,413	3,838	1,915	7,021
7	2	9,750	0,493	4,803	3,038	0,495	1,503	2,423	0,522	1,265	15,211	7,571	27,759
8	2	10,969	0,493	5,403	4,637	0,495	2,294	3,627	0,522	1,893	19,232	9,591	35,165
9	2	10,523	0,493	5,183	3,476	0,495	1,719	2,659	0,522	1,388	16,657	8,291	30,400
10	2	11,922	0,493	5,873	3,695	0,495	1,828	2,514	0,522	1,312	18,131	9,013	33,049
11	2	14,312	0,493	7,050	3,929	0,495	1,944	3,046	0,522	1,590	21,287	10,584	38,809
12	2	9,980	0,493	4,916	2,386	0,495	1,180	2,047	0,522	1,069	14,414	7,166	26,274
13	3	40,022	0,493	19,715	3,936	0,495	1,947	3,618	0,522	1,889	47,576	23,551	86,354
14	3	31,780	0,493	15,655	3,720	0,495	1,840	3,132	0,522	1,635	38,632	19,130	70,145
15	3	33,396	0,493	16,451	3,700	0,495	1,831	3,494	0,522	1,824	40,590	20,106	73,720
16	3	37,633	0,493	18,538	4,289	0,495	2,122	3,265	0,522	1,705	45,188	22,365	82,005
17	3	31,107	0,493	15,323	3,407	0,495	1,686	2,813	0,522	1,469	37,328	18,478	67,752
18	3	48,106	0,493	23,697	4,113	0,495	2,035	4,453	0,522	2,325	56,672	28,057	102,875
19	4	82,493	0,493	40,636	5,657	0,495	2,798	5,424	0,522	2,832	93,574	46,266	169,644
20	4	51,713	0,493	25,474	3,257	0,495	1,611	3,308	0,522	1,727	58,277	28,812	105,643
21	4	70,056	0,493	34,510	6,404	0,495	3,168	4,961	0,522	2,590	81,422	40,268	147,650
22	4	56,435	0,493	27,800	3,599	0,495	1,781	3,715	0,522	1,940	63,750	31,520	115,574
23	4	65,412	0,493	32,222	2,985	0,495	1,477	4,224	0,522	2,205	72,621	35,904	131,649
24	4	58,779	0,493	28,955	3,949	0,495	1,954	4,565	0,522	2,383	67,293	33,292	122,069
25	5	142,168	0,493	70,032	7,033	0,495	3,479	4,393	0,522	2,294	153,595	75,805	277,952
26	5	89,700	0,493	44,186	6,467	0,495	3,199	4,606	0,522	2,405	100,774	49,791	182,565
27	5	111,439	0,493	54,895	5,729	0,495	2,834	3,721	0,522	1,943	120,888	59,671	218,795
28	5	112,527	0,493	55,431	10,928	0,495	5,406	6,749	0,522	3,524	130,204	64,361	235,989
29	5	110,620	0,493	54,491	11,095	0,495	5,489	8,408	0,522	4,390	130,123	64,370	236,023
30	5	155,042	0,493	76,374	15,902	0,495	7,867	5,148	0,522	2,688	176,092	86,928	318,736

Anexo 2. Ecuaciones matemáticas para determinar la biomasa total y captura de CO<sub>2</sub> por árbol.

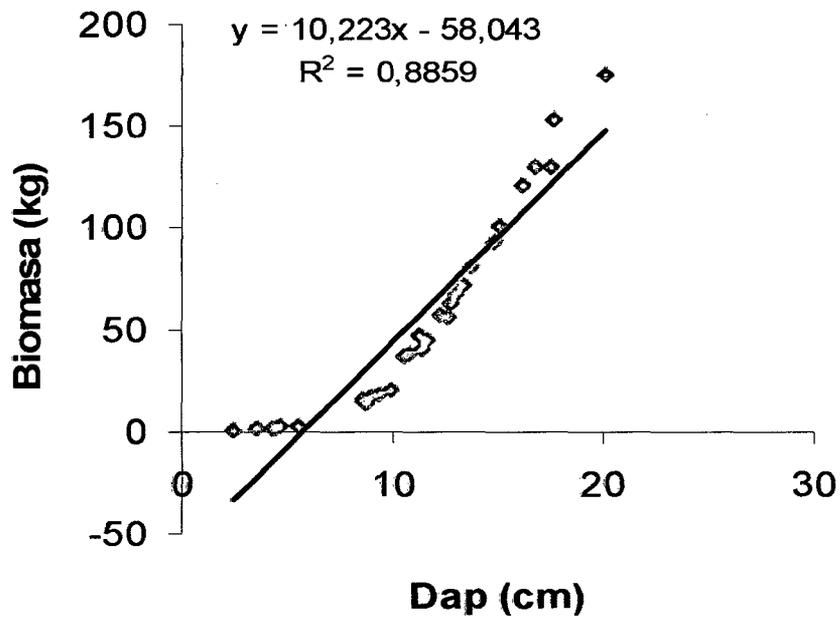


Figura 7. Ecuación lineal relacionando el Dap (cm) con la biomasa (kg).

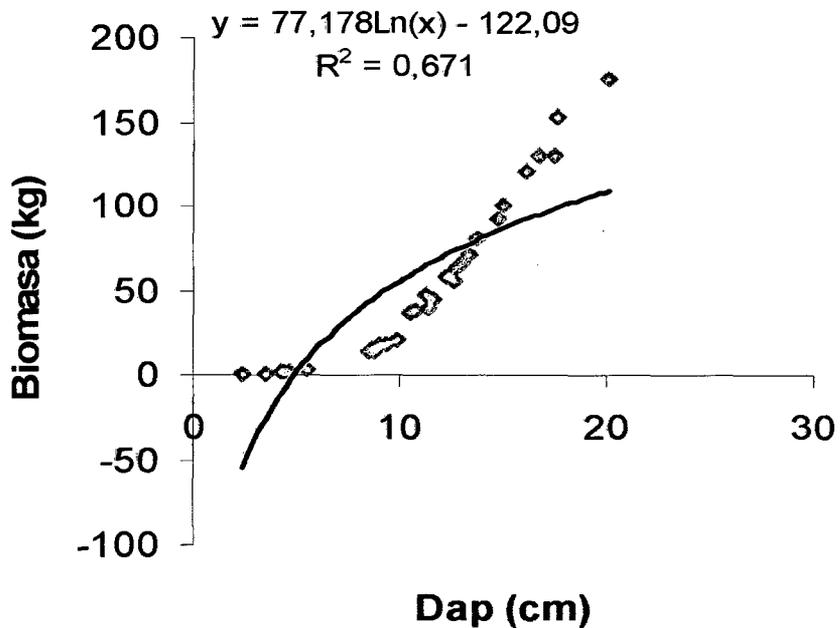


Figura 8. Ecuación logarítmica relacionando el Dap (cm) con la biomasa (kg).

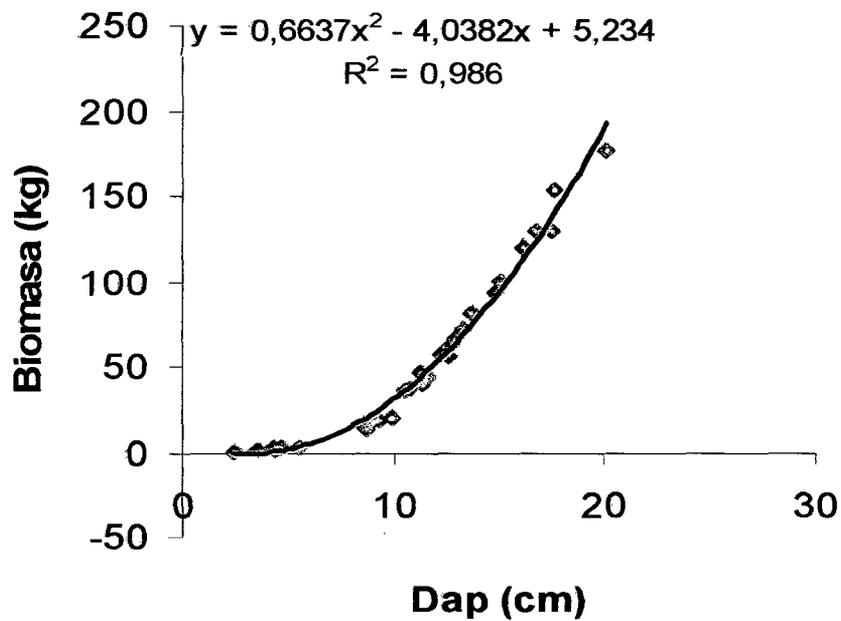


Figura 9. Ecuación cuadrática relacionando el Dap (cm) con la biomasa (kg)

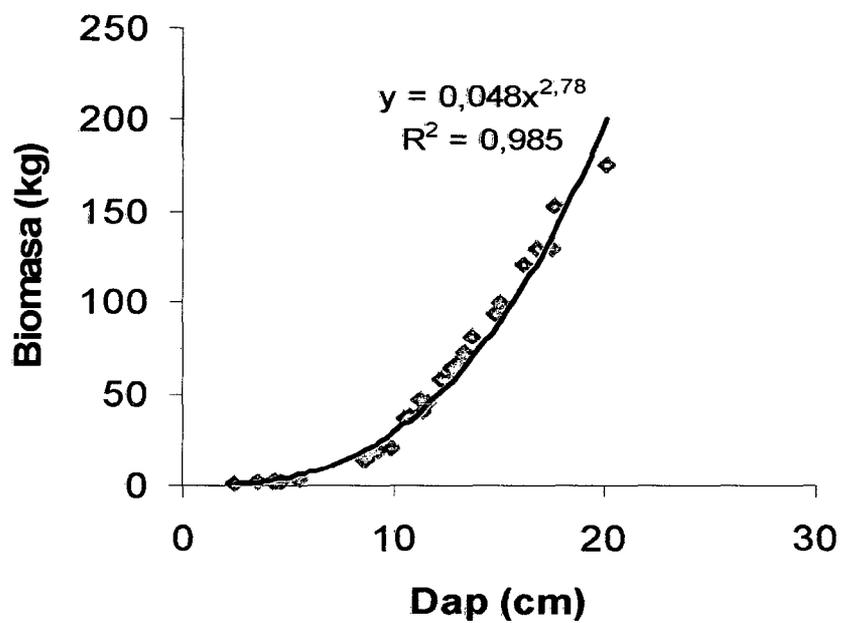


Figura 10. Ecuación potencial relacionando el Dap (cm) con la biomasa (kg)

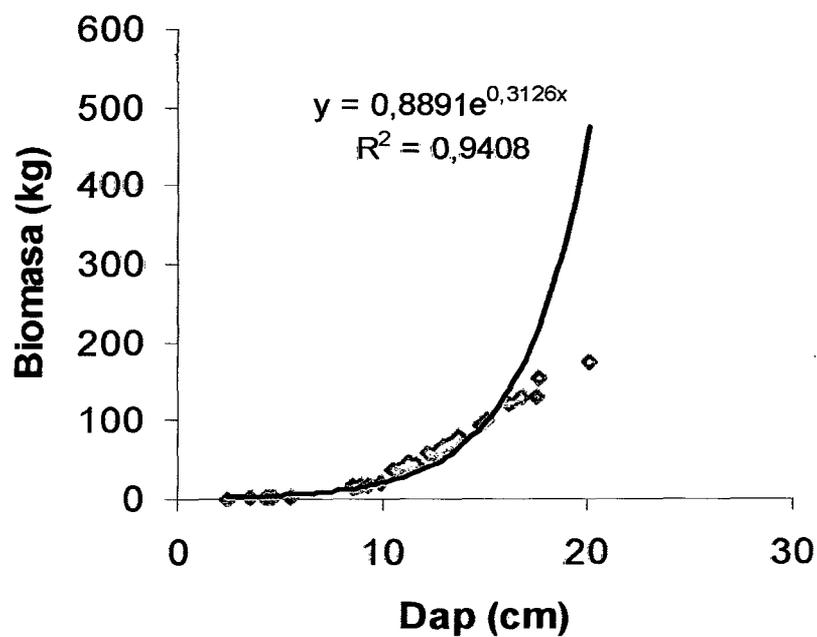


Figura 11. Ecuación exponencial relacionando el Dap (cm) con la biomasa (kg)

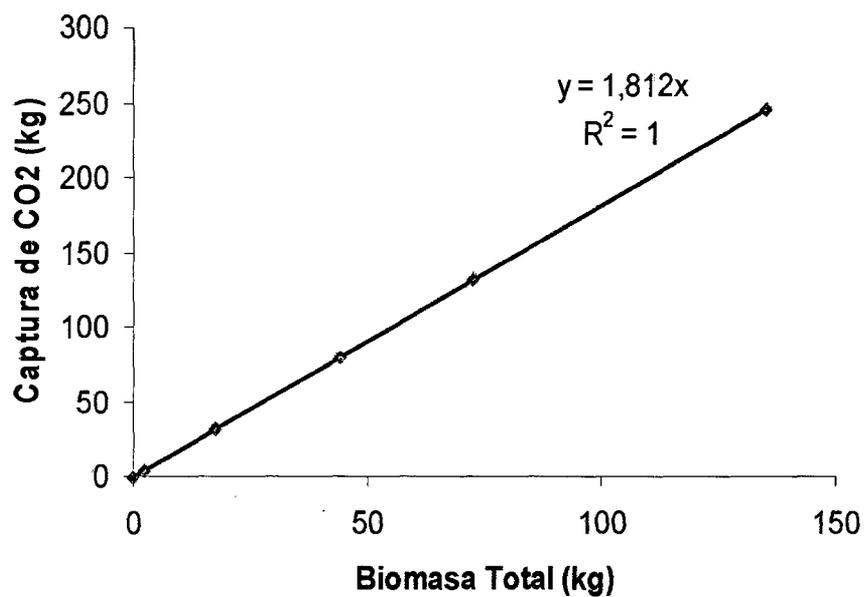


Figura 12. Ecuación lineal relacionando la biomasa y la captura de CO2

Ecuación matemática lineal quedo expresado como:

$$Y = 1.812 X$$

Donde:

$$X = \text{Biomasa Fuste} + \text{Biomasa (Ramas + Hojas)}$$

$$\text{Biomasa Fuste} = DB * \pi / 4 \text{ dap}^2 * h * 0.65$$

$$\text{Biomasa Fuste} = 0.41\text{g/cm}^3 * \pi / 4 \text{ dap}^2 * h * 0.65$$

$$\text{Biomasa Fuste} = 0.41\text{g/cm}^3 * \pi / 4 \text{ dap}^2 / 10000 * h * 0.65$$

$$BF = 0.41\text{g/cm}^3 * 1\text{kg} / 1000\text{g} * 1000000 / 1\text{m}^3 * \pi / 4 \text{ dap}^2 / 10000\text{m}^2 * h * 0.65$$

$$BF = 0.0209 \text{ dap}^2 \text{ h}$$

$$\text{Biomasa Fuste} = 7.02 (\text{Biomasa Ramas} + \text{Biomasa Hojas})$$

$$(\text{Biomasa Ramas} + \text{Biomasa Hojas}) = \frac{0.0209 \text{ dap}^2 \text{ h}}{7.02}$$

$$(\text{Biomasa Ramas} + \text{Biomasa Hojas}) = 0.0029 \text{ dap}^2 \text{ h}$$

$$X = 0.0209 \text{ dap}^2 \text{ h} + 0.0029 \text{ dap}^2 \text{ h}$$

$$X = 0.0238 \text{ dap}^2 \text{ h}$$

$$Y = 1.812 * (0.0238 \text{ dap}^2 \text{ h})$$

$$Y = 0.0432 (\text{dap})^2 \text{ h}$$

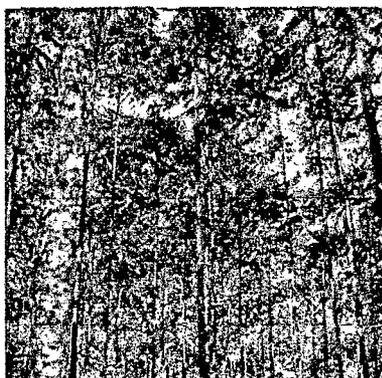


Figura 13. Plantación de bolaina en el sector de Santa Rosa de Shapajilla.

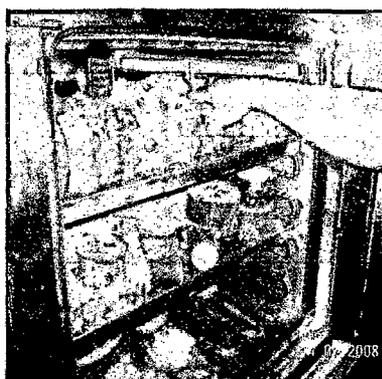


Figura 14. Secado de las muestras.

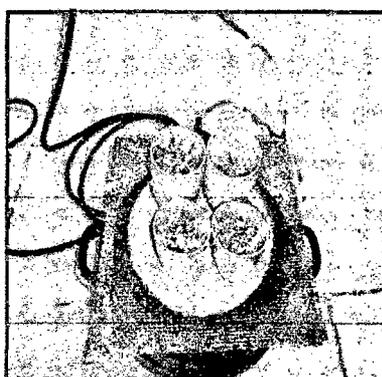


Figura 15. Obtención de cenizas