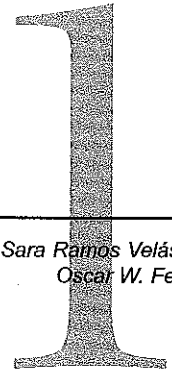


# DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BIOMASA AEREA Y SUBTERRÁNEA DEL *Pinus oocarpa*

Sara Ramos Velásquez<sup>a</sup>  
Oscar W. Ferreira<sup>b</sup>



## RESUMEN

Se cuantificó la producción de biomasa aérea y subterránea del *Pinus oocarpa*, mediante un muestreo destructivo de 37 árboles.

La biomasa fue estimada mediante el volumen y la densidad media, por lo que se calculó el volumen de cada uno de los componentes del árbol, a excepción de las acículas y raíces menores de 2.0 cm de diámetro; de cada árbol se tomaron muestras de madera, corteza, ramas, acículas y raíces, estas fueron sometidas a un proceso de secado en horno eléctrico a una temperatura promedio de 75 °C, hasta la obtención del peso constante, para obtener la densidad de cada componente. El muestreo para estimar la biomasa subterránea se realizó mediante calicatas de 2.00 m<sup>2</sup> de superficie con una profundidad promedio de 0.65 m, y se extrajo toda la fracción de raíz existente en esa área; recolectándose también todas las especies del sotobosque existentes en esa área de 2.00 m<sup>2</sup>.

Los datos fueron sometidos a un análisis estadístico de regresión, comparando cinco modelos de ecuaciones; la seleccionada para la estimación de la biomasa aérea y subterránea fue la ecuación Australiana, ya que fue la que presentó el menor error estándar residual en las tres ecuaciones que se generaron: 34.86%, para estimar biomasa subterránea, 14.89%, para estimar biomasa aérea, 11.77%, para estimar biomasa total.



<sup>a</sup> Estudiante de último año de Ingeniería Forestal (2000) en la Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque, Honduras.

<sup>b</sup> Ingeniero Forestal. Docente Investigador de la Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque, Honduras. e-mail: esnacifo@hondutel.hn

En el fuste se encuentra concentrado el mayor porcentaje de la biomasa total con un 63.63%, (54.33% en la madera y 9.30% en la corteza). Las raíces representan el 24.38%; y las copas el 11.99%, (6.11 en las ramas y 5.88 en las acículas). En total la biomasa acumulada en los rodales estudiados es de 73,061.94 kg/ha, sin considerar la producción de biomasa de sotobosque; en éste la acumulación es de 2,313 kg/ha.

Los mayores porcentajes de nutrientes se encuentran en las hojas: 0.980, 0.045, 0.590, 0.16, 0.75 % de materia seca de N, P, K, Ca, Mg respectivamente, y 155.5, 234.5, 6.0, 19.0 ppm de Fe, Mn, Cu y Zn respectivamente. El Fe y el Zn se encuentran en porcentajes mayores en la madera y en las raíces.

#### PALABRAS CLAVES

Biomasa aérea, biomasa subterránea, composición química, ecuaciones de estimación.

#### ABSTRACT

The production of above and below ground biomass of *Pinus oocarpa* was quantified using a sample of 37 trees.

The biomass was estimated using the medium Volume and density values, each one of the components of the tree, except the pine needles and smaller roots of 2.0 cm of diameter. From each tree there samples of wood, rind, branches, pine needles and roots were taken. These samples were submitted to a drying process in the electric oven to an average temperature of 75 °C up to the point of obtaining the constant weight to get the

density of each component. The sample to estimate the below ground biomass was made through test pits of 2.00 m<sup>2</sup> of surface with an average depth of 0.65 m and it was extracted all the root fraction existing in that area; collecting all the species of understory existing in that area of 2.00 m<sup>2</sup>.

The data was analyzed using a statistic analysis of regression, comparing five models of equations. The equation selected for the above and below ground biomass estimation was the Australian one, since this one presented the lesser residual standard error out of the three equations generated: 34.86% to estimate the below ground biomass; 14.89% to estimate the above ground biomass; 11.77% to estimate the total biomass.

The stem was found concentrated in a higher percentage of the total biomass with a 63.63%, (54.33% in wood and 9.30% in the rind). The roots represent 24.38% and the tops 11.99%, (6.11 in the branches and 5.88 in the pine needles). The biomass accumulated in total in all the patches studied is 73,061.94 kg/ha, not taking into account the production of understory biomass; in this one the accumulation is 2,313 kg/ha.

The major percentages of nutrients are found in the pine needles: 0.980, 0.045, 0.590, 0.16, 0.75% of dry material of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium respectively, and 155.5, 234.5, 6.0, 19.0 ppm of Iron, Manganese, Cooper and Zinc respectively. Iron and Zinc are found in higher percentages in wood and roots.

## INTRODUCCIÓN

La contribución de los bosques a la mitigación del cambio climático a largo plazo consistirá en suministrar materiales renovables y combustibles que reduzcan la dependencia de los combustibles fósiles, manteniéndose al mismo tiempo la función de los bosques como depósitos de carbono, ya que se estima que la madera seca de los árboles contiene entre un 47 y 53% de carbono (FAO, 1999), en este sentido es necesario realizar estimaciones del contenido de materia seca o biomasa de los árboles, ya que la producción de biomasa por hectárea es un criterio fundamental en la elección de especies forestales como fuente de energía y base para el cálculo de carbono almacenado en el follaje, tallos y raíces a través del proceso de fotosíntesis.

Este estudio cuantificó la producción de biomasa aérea y subterránea del *Pinus oocarpa* Schiede, que es la especie más común en Honduras y la de mayor importancia económica tanto para industrias como para algunas comunidades rurales.

## METODOLOGÍA

La metodología a seguir para este estudio se basó en investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias de Madrid, España y por el Proyecto Conservación y Mejoramiento de Recursos Forestales de Honduras (CONSEFORH), para el cálculo de producción de biomasa.

### Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en el Bosque Escolar de la Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR), en jurisdicción del Municipio de El Rosario, Departamento de Comayagua, específicamente en los rodales 7 y 9 del Sector I. El rodal 7 corresponde a un bosque de edad mediana (edad de 25 a 30 años) y el rodal 9 corresponde a un bosque joven (con una edad entre los 15 y 25 años) (Turtiainen y Barahona, 1999). Los dos rodales están ubicados en un sitio calidad III, lo que corresponde a una altura promedio de 18.4 m para una edad clave de 20 años (Groothusen y Alvarado, 2000). El área, pendiente, textura del suelo, edad y número de árboles por hectárea de cada uno de los rodales, se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los rodales donde se realizó la investigación.

N° de Rodal	Area (ha)	Pendiente	Textura del Suelo	Calidad de Sitio	Estrato	Piso	Edad (Años)	Arboles/ha
7	37.17	5%	Franco	III	C3	Mediano	25-30	445
9	13.96	35%	Franco Arenoso	III	C2	Jóven	15-25	500

Fuente: Plan de Manejo 2000 del Bosque ESCOLAR ESNACIFOR.

### Selección de la muestra

En cada rodal se establecieron cinco parcelas de 100.00 m<sup>2</sup> cada una, las cuales fueron distribuidas completamente al azar. En cada parcela se midió el 100% de los árboles existentes, lo que corresponde en promedio a tres árboles por parcela en el rodal 7 y cuatro árboles por parcela en el rodal 9. El muestreo fue de tipo destructivo y se midieron en total 37 árboles.

### Medición de los árboles

Los árboles fueron derribados y troceados, dividiéndolos en sus componentes: fuste, ramas, acículas y raíces.

Para la medición de las longitudes de las partes de árbol se utilizó una cinta métrica, cuya precisión es de 0.02 m, los diámetros fueron medidos con cinta diamétrica cuya precisión es de 0.1 cm, la corteza fue medida con el calibrador de corteza cuya precisión es de 0.1 cm.

El fuste de cada árbol se dividió en varias secciones, la primera sección de 0.30 m de longitud, la segunda y la tercera de 0.50 m de longitud cada una y las secciones restantes fueron cortadas de 2.08 m, de tal manera que las trozas pudieran ser transformadas por el aserradero de la ESNACIFOR.

De cada uno de los árboles se tomó la siguiente información:

Longitud total del árbol, altura del tocón, longitud de cada sección, diámetro a 1.30 m, diámetro inferior y superior de cada sección en la que se dividió el árbol. El volumen de cada una de esas secciones fue calculado con la fórmula de Smalian:  $V = \pi/4 \times (D_1^2 + D_2^2) / 2 \times L$ , donde:

$D_1$ : Diámetro mayor de la troza en m.  
 $D_2$ : Diámetro menor de la troza en m.  
 $L$ : Longitud de la troza en m.  
 $V$ : Volumen de la troza en m<sup>3</sup>.

Para el cálculo de Volumen de la última sección se aplicó la fórmula de Volumen del cono:  $V = (S_o \times L) / 3$ , donde:

$S_o$  = Sección de la base en m<sup>2</sup>.  
 $L$  = Longitud de la troza en m.  
 $V$  = Volumen de la troza en m<sup>3</sup>.

El Volumen total del fuste se obtuvo mediante la sumatoria de los Volúmenes de cada una de las secciones.

Se hizo un conteo y codificación del total de ramas de cada uno de los árboles derribados y a cada una de ellas se le midió el diámetro basal y se clasificaron de la siguiente forma:

Ramas menores de 5.0 cm de diámetro basal.

Ramas iguales o mayores de 5.0 cm de diámetro basal.

Para el cálculo de volumen total de las ramas por árbol se tomó una muestra de 25% del total de las ramas, dividiéndolas en secciones de 0.50 m (Figura 1), en cada sección se midió el diámetro inferior y superior.

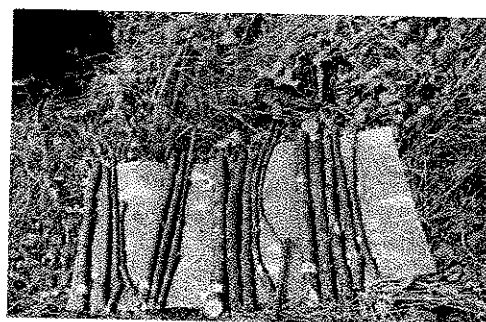


Figura 1. Ramas seccionadas para el cálculo de Volumen de ramas.

El volumen de estas secciones fue calculado con las fórmulas utilizadas para el cálculo de volumen de las secciones del fuste.

Con el volumen total del 25% de las ramas, se realizó una proporción para obtener el volumen total de ramas por árbol.

En 11 árboles las ramas tenían diámetros menores de 1.5 cm, en este caso no se calculó el volumen de ramas, la medición de estas fue a través del peso.

En cada sección en la que se dividió el árbol, se midió el espesor de la corteza; calculando el volumen de corteza por árbol mediante la diferencia de volumen con corteza y volumen sin corteza.

Para la medición de las acículas, en cada uno de los árboles se tomó una muestra de tres ramas con diámetro basal igual o mayor de 5.0 cm y tres ramas con diámetro basal menor de 5.0 cm, seleccionadas completamente al azar, las acículas de cada una de las ramas fueron cortadas e introducidas a un contenedor, para su medición.

El sistema radicular fue muestreado a través del método de excavación directa (Figura 2), realizándose una calicata por parcela ubicada aleatoriamente; la longitud de las calicatas fue de 2.00 m, el ancho de 1.00 m y la profundidad varió según la profundidad del suelo, en promedio la profundidad de excavación fue de 0.65 m. Se extrajo toda la fracción de raíz existente en esa área, realizándose una clasificación de las raíces por su diámetro: raíces con diámetro menores de 2.0 cm y raíces con diámetros iguales o mayores de 2.0 cm.

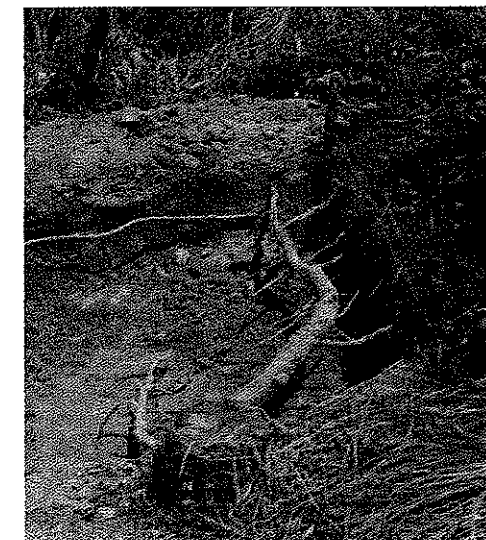


Figura 2. Excavación para la extracción de las raíces del árbol.

El volumen de raíces extraído de cada calicata fue calculado con la fórmula de Smalian para las secciones que presentaban una forma regular y para las secciones que tenían una forma irregular el volumen se calculó aplicando el Principio de Arquímedes: "El volumen del fluido desplazado es igual al volumen del objeto sumergido en él, o de la parte del objeto sumergida si es que el objeto flota" (Giancoli, 1997). Este método se aplicó utilizando un contenedor con capacidad de 196 li-

tros. El volumen total de raíces por árbol, se calculó asumiendo una cobertura de raíces de 12.57 m<sup>2</sup>, la cual fue calculada tomando como radio 2.00 m que es la longitud de las parcelas de muestreo. A las raíces con diámetros menores de 2.0 cm no se les calculó el volumen, sino que su medición fue a través del peso.

En este trabajo se consideró la medición del sotobosque, el muestreo de este componente, se hizo en las parcelas de 2.00 m<sup>2</sup> que fueron marcadas para la excavación de las raíces, se recolectó toda la vegetación existente en esas áreas y se tomó una muestra de cada especie, las cuales fueron clasificadas taxonómicamente en el Herbario de la ESNACIFOR y el Herbario de la Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano".

La medición de este componente se basó en la determinación de su peso.

### Estimación del peso húmedo y del peso seco de los componentes del árbol

Para la estimación del peso húmedo y peso seco, se tomó una muestra de cada uno de los componentes, todas las muestras se introducían en bolsas plásticas las cuales eran selladas para evitar pérdida de humedad hasta el momento de ser pesadas para determinar su peso verde.

Posteriormente se sometieron a un proceso de secado en horno eléctrico a una temperatura promedio de 75 °C, hasta la obtención del peso constante (peso seco).

Las muestras fueron pesadas en una balanza semianalítica con una precisión de 1 g.

### Muestra de los componentes del árbol para determinar el Peso Seco

De cada árbol se seleccionaron al azar tres trozos de madera de 20.0 cm de longitud cada uno, los diámetros de las muestras variaron según su posición a lo largo del fuste, estas muestras fueron tomadas sin corteza, y su volumen se calculó con la fórmula de Smalian.

Para el muestreo de las ramas se seleccionó un árbol por parcela completamente al azar, se tomaron dos secciones de 0.50 m de longitud de cada una de las ramas que fueron muestreadas para el cálculo de volumen total de ramas por árbol.

El volumen de esta muestra fue calculado con corteza mediante la fórmula de Smalian.

De dos árboles por parcela se extrajo la corteza de seis secciones de 20.0 cm de longitud cada una, con diámetros que variaron según su posición a lo largo del fuste; estas muestras de corteza fueron introducidas en bolsas de papel manila para su posterior proceso de secado. El volumen de corteza muestreado se calculó mediante la diferencia del volumen con corteza y volumen sin corteza de cada una de esas secciones.

De cada árbol se seleccionaron al azar seis ramas de diferentes diámetros, se cortaron todas las acículas y ramillas de cada rama, y fueron introducidas en bolsas de papel manila para su proceso de secado. En los árboles cuyas ramas eran menores de 1.5 cm de diámetro, se muestreó el 100% de las acículas y ramillas.

De cada parcela se tomó una muestra de las raíces mayores de 2.0 cm de diámetro, el volumen muestreado en este caso no fue constante, varió para cada parcela.

Las raíces menores de 2.0 cm de diámetro fueron consideradas al 100% para el cálculo del peso.

El muestreo del sotobosque consistió en tomar toda la vegetación que se encontraba dentro de los 2.00 m<sup>2</sup> que fueron marcados para la excavación de las raíces. En la muestra no se realizó separación de especies para el cálculo de peso.

### Estimación del Contenido de Humedad (%) y Densidad (kg/m<sup>3</sup>) de cada componente del árbol

El contenido de humedad (CH) y la densidad (D) se calcularon con las fórmulas siguientes:

$$CH (\%) = \frac{\text{Peso Verde} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} * 100$$

$$D (\text{kg/m}^3) = \frac{\text{Peso Seco (kg)}}{\text{Volumen Verde (m}^3\text{)}}$$

La densidad media de la madera, las ramas, la corteza y las raíces con diámetro iguales o mayores de 2.0 cm se determinó mediante la muestra tomada para determinar el peso seco.

### Estimación de la Biomasa de los componentes del árbol

La biomasa de la madera, las ramas, la corteza y las raíces con diámetro iguales o mayores de 2.0 cm se estimó a través del volumen y la densidad media de cada componente.

En el caso de las raíces la densidad calculada se aplicó a las raíces con diámetro igual o mayor de 2.0 cm, a la cantidad de biomasa resultante se le sumó la biomasa de las raíces con diámetros menores de 2.0 cm, a las que se les determinó únicamente el peso seco y que fueron medidas al 100% (Tabla 2).

Tabla 2. Biomasa de raíces por parcela muestreada

No. de Muestra	DAP (cm)	Altura (m)	Volumen Total (m <sup>3</sup> )	Biomasa (kg)** Raíces > 2 cm*	Biomasa total** Raíces < 2cm*	(kg)
1	8.2	10.50	0.002701	1.125	0.485	1.610
2	15.1	18.50	0.001646	0.686	1.361	2.047
3	18.6	16.50	0.012191	5.078	1.899	6.977
4	19.5	14.00	0.008060	3.357	2.632	5.989
5	20.1	13.60	0.010132	4.220	0.769	4.989
6	20.3	20.30	0.015986	6.658	2.111	8.769
7	24.3	24.90	0.022513	9.377	1.072	10.449
8	24.5	19.50	0.019879	8.280	3.693	11.973
9	30.7	18.80	0.047197	19.658	1.374	21.032
10	31.6	22.60	0.026142	10.888	1.060	11.948

\* Con respecto al diámetro.

\*\* Biomasa encontrada en una superficie de 2 m<sup>2</sup>.



Mediante un promedio de la biomasa de las ramas muestreadas según diámetro (Tabla 3), y el número total de ramas por árbol, se obtuvo la biomasa de las acículas y las ramillas.

Tabla 3. Biomasa promedio de acículas y ramillas.

Diámetro Basal de Ramas (cm)	Biomasa Promedio (kg)
1.6-2.9	0.267
3-3.9	0.569
4-4.9	0.880
5-5.9	1.227
>6	1.519

La biomasa total de cada árbol se obtuvo mediante la sumatoria de la biomasa de cada componente.

Se consideró también la biomasa contenida en el sotobosque.

### Análisis de tejido vegetal del árbol

Se seleccionó una muestra de acículas, corteza, madera y raíces, para la determinación del contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, magnesio, cobre, manganeso y zinc de cada uno de esos componentes.

Para la muestra de las acículas y corteza se seleccionó un árbol por parcela, las acículas fueron cortadas de las primeras ramas del árbol y la corteza fue extraída a una altura de 1.30 m, se mezclaron las submuestras tomadas en cada árbol, obteniendo una muestra de acículas y corteza por cada rodal.

Se seleccionó también una muestra de cada fracción de raíces; del fuste la muestra fue tomada de la parte media de un árbol por parcela, se mezclaron cada una de las submuestras para obtener una muestra de cada componente por rodal.

Cada una de las muestras de cada componente fueron enviadas a los laboratorios de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), donde por medio de un análisis de tejido vegetal, determinaron su composición química.

### Análisis Estadístico

Para la obtención de la ecuación para estimar biomasa total del árbol, los datos se sometieron a un análisis estadístico de regresión, comparando los siguientes modelos de ecuaciones:

1. Ecuación de Variables Combinadas:  
 $B = a + bDAP^2H$ .
2. Ecuación Australiana:  
 $B = a + bDAP^2 + cH + dDAP^2H$ .
3. Ecuación Logarítmica:  
 $LnB = a + bLnDAP + cLnH$ .
4. Ecuación Logarítmica combinada:  
 $LnB = a + bLnDAP^2H$ .
5. Ecuación de Variables Combinadas Ponderada:  
 $B/DAP^2H = a / DAP^2H + b$ .

Donde:

B = Biomasa en kg.

DAP = Diámetro a 1.30 m.

H = Altura total en m.

a, b, c y d = Coeficientes de Regresión.

La ecuación que se seleccionó para el cálculo de biomasa fue la que presentó menor desviación estándar residual ( $S_{xy}$ ), ya que según Caillez (1980), citado por Ferreira (1991), no se debe juzgar la calidad de una regresión, solamente por el valor numérico del coeficiente de correlación (R), ya que el índice usual es la desviación estándar residual y el coeficiente de variación estándar residual.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Densidad de los componentes del árbol

Se estimó la biomasa del fuste, ramas, corteza y raíces mayores de 2.0 cm, con base en la densidad media de cada uno de esos componentes (Tabla 4); la densidad de las raíces y ramas fue calculada con corteza.

Tabla 4. Densidad media de la madera, ramas, corteza y raíces del *Pinus oocarpa*.

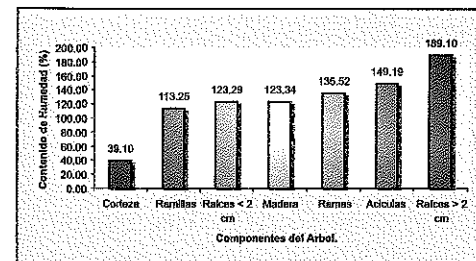
Componente	Densidad Media (kg/m <sup>3</sup> )
Madera	488.83
Ramas	441.69
Raíces > 2 cm	416.50
Corteza	289.93

### Contenido de humedad de los componentes del árbol

El mayor contenido de humedad se encuentra en las raíces mayores de 2.0 cm, con 189.10% y en las acículas con 149.19% (Figura 3); la corteza por su parte es el componente que tiene menor porcentaje de humedad: 39.10%.

Las especies del sotobosque tienen un contenido de 158.32 %, y considerando solamente las gramíneas, el contenido de humedad es de 127.60%.

Figura 3. Contenido de humedad (%) de los componentes del árbol



Distribución de la biomasa en los componentes del *Pinus oocarpa*.

El mayor porcentaje de la biomasa se encuentra contenido en la madera y las raíces, encontrándose en promedio un 54.33% y 24.38% respectivamente, la corteza, ramas y acículas contienen el 21.29% restante, (Figura 4), la cuantificación de la biomasa subterránea refleja la importancia de este componente en la estabilidad y desarrollo del suelo.

Tomando en cuenta únicamente la biomasa aérea, el mayor porcentaje corresponde siempre al fuste, con un 71.65%, y el 28.35% restante esta concentrado en la corteza, ramas y acículas (Figura 5).

Figura 4. Distribución de la biomasa en los componentes de *Pinus oocarpa*

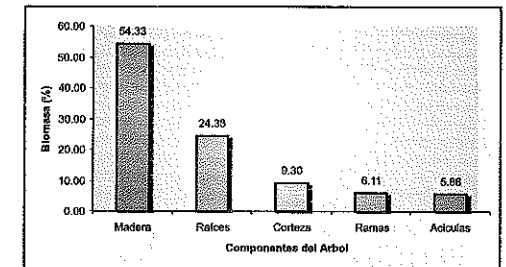
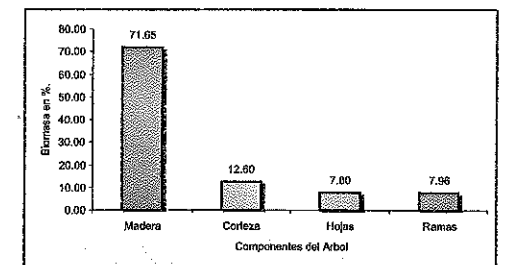


Figura 5. Distribución de la biomasa aérea en los componentes del *Pinus oocarpa*



### Biomasa del Sotobosque

En el sotobosque se identificaron 10 Familias y 24 especies (Tabla 5), siendo las más frecuentes, *Muhlenbergia breviligula*, *Paspalum sp.*, *Croton repens*, *Miconia sericea* y *Mimosa albida*.

La acumulación de biomasa de estas especies es de 2,313 kg/ha, en áreas donde la vegetación es únicamente gramíneas, la acumulación de biomasa es de 886.67 kg/ha.

Tabla 5. Lista de Especies Arbustivas que crecen bajo el *Pinus oocarpa*

Familia	Genero
Asteraceae	<i>Ageratum sp.</i>
	<i>Baccharis trinervis</i>
	<i>Calea tenuifolia</i>
	<i>Vernonia leiocarpa</i>
	<i>Verbesina sp.</i>
	<i>Verbesina turbacensis</i>
Cyperaceae	<i>Fimbristylis autumnalis</i>
	<i>Fimbristylis dichotoma</i>
Euphorbiaceae	<i>Croton repens</i>
Gramineae	<i>Andropogon sp.</i>
	<i>Arundinella sp.</i>
	<i>Dichanthelium acuminatum</i>
	<i>Muhlenbergia breviligula</i>
	<i>Panicum sp.</i>
	<i>Paspalum sp.</i>
Melastomaceae	<i>Miconia sericea</i>
Mimosaceae	<i>Mimosa albida</i>
Papilionaceae	<i>Centrosema sp.</i>
	<i>Desmodium sp.</i>
Polypodiaceae	<i>Adiantum sp.</i>
Rubiaceae	<i>Borreria suaveolens</i>
	<i>Borreria sp.</i>
Schizaeaceae	<i>Anemia sp.</i>

### Estimación de la Biomasa subterránea del *Pinus oocarpa*

Para estimar la biomasa subterránea se asumió una cobertura de raíces de 12.57 m<sup>2</sup>, tomando como radio 2.00 m que fue la longitud del área de excavación para el muestreo de las raíces, proyectándose a esa área la biomasa encontrada en los 2.00

m<sup>2</sup> muestreados. Con la biomasa de cada árbol muestreado se generó una ecuación con base en la comparación de cinco modelos de ecuaciones (Tabla 6), para obtener la biomasa contenida en las raíces. Se utilizó la ecuación Australiana, ya que es la que presenta el menor error estándar residual (Sxy), 34.86%, aunque el coeficiente de correlación (R<sup>2</sup>) no es el más alto, sin embargo esta ecuación no es aplicable para diámetros menores de 10 cm, ya que por ser una parábola presenta valores negativos para diámetros menores, para estos árboles, se utilizó la ecuación Logarítmica que, después de la ecuación Australiana es la que presenta menor error estándar de estimación, 35.59% y un coeficiente de correlación de 0.84, este es el más alto de los modelos comparados.

### Estimación de la Biomasa Subterránea por Superficie

Con base en la biomasa encontrada en las 10 parcelas muestreadas, se obtuvo una biomasa promedio de 42,890.97 kg/ha, el diámetro y la altura promedio encontrada en esta área fue de 19.1 cm y 17.22 m, respectivamente, y una densidad de 420 árboles/ha.

Donde:

- B = Biomasa aérea total, en kg
- DAP = Diámetro del árbol a 1.3 m, en cm.
- H = Altura total del árbol, en m.
- a, b, c y d = Constantes
- R<sup>2</sup> = Coeficiente de Correlación
- Sxy = Error estándar residual
- $Sxy = \sqrt{\frac{\sum (BR-BE)^2}{(n-k)}}$
- Sxy% =  $(Sxy/PBR) * 100$

Donde:

- BR = Biomasa real
- BE = Biomasa estimada
- PBM = Promedio de la biomasa real
- k = Número de constantes

Tabla 6. Coeficientes y exactitud de las ecuaciones para el cálculo de la biomasa de las raíces por árbol.

Número de Datos: 10 árboles

Modelo	Coeficientes	Índices de Exactitud		
		R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy(%)
Ecuación Variables Combinadas. B=a+bD <sup>2</sup> H	a= 12.404154 b= 0.004301	0.67	21.79	40.41
Ecuación Australiana. B=a+bD <sup>2</sup> +cH+dD <sup>2</sup> H	a=-38.054756 b= 0.238948 c= 2.093439 d=-0.006661	0.82	18.80	34.86
Ecuación Logarítmica. LnB=a + bLnD + cLnH	a= -1.643872 b= 2.014803 c= -0.229092	0.84	19.19	35.59
Ecuación de Variables Combinadas Ponderadas. B/D <sup>2</sup> H=a/D <sup>2</sup> H+b	a= 6.491248 b= 0.004942	0.71	22.28	41.33
Ecuación Logarítmica Combinada LnB = a+bLnD <sup>2</sup> H	a= -2.696015 b= 0.727284	0.80	21.30	39.52

### Ecuación para estimar Biomasa Aérea del *Pinus oocarpa*

Utilizando únicamente la biomasa de los componentes aéreos del pino, se generó una ecuación para el cálculo de la biomasa aérea, esta ecuación resultó de la comparación de cinco modelos de ecuaciones (Tabla 7); la ecuación que presentó me-

nor error estándar de estimación es la ecuación Australiana, con un error de 14.89% y un coeficiente de correlación de 0.97.

Al igual que en la ecuación para el cálculo de biomasa subterránea el coeficiente de correlación no es el más alto de las ecuaciones comparadas.

Tabla 7. Coeficientes y Exactitud de las Ecuaciones para el Cálculo de la Biomasa Aérea por árbol.

Número de Datos: 37 árboles.

Modelo	Coeficientes	Índices de Exactitud		
		R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy(%)
Ecuación Variables Combinadas. B=a+bD <sup>2</sup> H	a= 3.274671 b= 0.020300	0.96	24.93	14.83
Ecuación Australiana. B=a+bD <sup>2</sup> +cH+dD <sup>2</sup> H	a= 6.125441 b= 0.068032 c= -0.737062 d= 0.018030	0.97	25.03	14.89
Ecuación Logarítmica. LnB=a + bLnD + cLnH	a= -3.585127 b= 2.125910 c= 0.766934	0.99	24.93	14.83
Ecuación de Variables Combinadas Ponderadas. B/D <sup>2</sup> H=a/D <sup>2</sup> H+b	a= 0.183899 b= 0.020729	0.002	25.08	14.93
Ecuación Logarítmica Combinada LnB = a+bLnD <sup>2</sup> H	a= -3.851343 b= 0.996757	0.99	24.98	14.86

### Ecuación para estimar Biomasa Total del *Pinus oocarpa*

Se generó una ecuación para la estimación de la biomasa total del pino, con base en la biomasa de 37 árboles y comparando los mismos cinco modelos de ecuaciones (Tabla 8).

Para estimar biomasa total del pino la ecuación que presentó mejor ajuste fue la ecuación Australiana, con un error estándar residual de 11.77%, y un coeficiente de 0.98.

**Tabla 8.** Coeficientes y exactitud de las ecuaciones para el cálculo de la biomasa total por árbol.

Número de Datos: 37 árboles.

Modelo	Coeficientes	Índices de Exactitud		
		R <sup>2</sup>	Sxy	Sxy(%)
Ecuación Variables Combinadas. B=a+bD <sup>2</sup> H	a= 15.456772 b= 0.024351	0.96	29.97	14.06
Ecuación Australiana. B=a+bD <sup>2</sup> +cH+dD <sup>2</sup> H	a=-1.788258 b= 0.253500 c= -0.393224 d= 0.014333	0.98	25.08	11.77
Ecuación Logarítmica. LnB=a + bLnD + cLnH	a= -2.530882 b= 2.149202 c= 0.468575	0.99	25.27	11.86
Ecuación de Variables Combinadas Ponderadas. B/D <sup>2</sup> H=a/D <sup>2</sup> H+b	a= 3.079131 b= 0.026355	0.30	32.82	15.40
Ecuación Logarítmica Combinada LnB = a+bLnD <sup>2</sup> H	a=-3.075890 b= 0.939078	0.99	29.26	13.73

### Composición química de la biomasa de *Pinus oocarpa*

Los mayores porcentajes de nutrientes se encuentran en las acículas (Tabla 9), a excepción del hierro y el zinc cuyos porcentajes son mayores en la madera y en las raíces. Sin embargo, tomando en cuenta

los valores del rango de suficiencia reportados por la FHIA, los niveles de potasio, calcio, magnesio y zinc son bajos, únicamente el magnesio y el cobre se encuentran en niveles normales y el hierro se encuentra en un nivel alto.

**Tabla 9.** Composición química de la biomasa del *Pinus oocarpa*

Componentes del Árbol	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn ppm	Cu	Zn
Madera	0.105	0.015	0.055	0.115	0.030	289.0	56.5	1.5	31.0
Corteza	0.340	0.011	0.053	0.070	0.010	59.0	27.3	4.5	11.5
Acículas	0.980	0.045	0.590	0.160	0.075	155.5	234.5	6.0	19.0
Raíces	0.130	0.014	0.060	0.115	0.025	305.0	56.0	2.0	30.0

Las concentraciones de nitrógeno en el follaje de *Pinus oocarpa* concuerda con lo encontrado por Hazlett (1986), que reporta niveles de N entre 0.8-1.0 %, niveles similares a los del *Pinus caribaea* y *Pinus elliotti* en los que la concentración de N es de 0.84-1.04 % y 0.8-1.00 % respectivamente.

Todos los componentes del árbol, principalmente las raíces, contribuyen considerablemente al contenido de materia orgánica del suelo mineral, las raíces de los árboles enriquecen la materia orgánica el suelo, liberando lentamente los elementos almacenados en sus compuestos orgánicos, por lo que desempeñan un papel importante en el reciclaje de nutrientes. La mineralización de materia orgánica puede ser del 1%, aunque esto varía según las condiciones del residuo, la humedad y temperatura (Álvarez, 1999); según Hazlett (1986) las acículas del *Pinus oocarpa* pierden el 43 % del peso original después de los 29 meses, siendo esta una tasa de descomposición similar a la de otros pinos. Montero, Gómez y Ortega (1991), mencionan que en período de 4 años se incorporan de 10,336-11,751 kg/ha de acículas de *Pinus pinaster* al suelo.

### CONCLUSIONES

1. La densidad media de la madera fue de 488.83 kg/m<sup>3</sup>, valor que se acerca al rango para *Pinus oocarpa* citado en la literatura, que es entre 510-550 kg/m<sup>3</sup> (Alpizar, Manso y Corrales, 1999), también se acerca al valor encontrado para *Pinus pinaster* AIT, que es de 480 kg/m<sup>3</sup> (Montero, Gómez y Ortega, 1991), la densidad de las raíces fue de 416.50 kg/m<sup>3</sup> y la de las ramas es de 441.69 kg/m<sup>3</sup>.

- En el fuste se encuentra concentrado el mayor porcentaje de la biomasa total con un 63.63%, (54.33% en la madera y 9.30% en la corteza. Las raíces representan el 24.38 %; y las copas el 11.99%, (6.11% en las ramas y 5.88% en las acículas. El porcentaje del fuste se acerca al mencionado en la literatura que es 62-73% para *Pinus pinaster* AIT (Montero, Gómez y Ortega, 1991).
- Muhlenbergia breviligula*, *Paspalum* sp., *Croton repens*, *Miconia sericea* y *Mimosa albida* fueron en el área de estudio las especies con mayor frecuencia en el sotobosque, en estas y otras especies encontradas la acumulación de biomasa es de 2,313 kg/ha, de estas las gramíneas acumulan 886.67 kg/ha.
- Los mayores porcentajes de nutrientes se encuentran en las acículas, 0.980, 0.045, 0.590, 0.16, 0.75 % de materia seca de N, P, K, Ca, Mg respectivamente, y 155.5, 234.5, 6.0, 19.0 ppm de Fe, Mn, Cu y Zn respectivamente. El Fe y Zn se encuentran en porcentajes mayores en la madera y en las raíces.

5. La ecuación seleccionada para la estimación de la biomasa total y subterránea fue la ecuación Australiana, ya que presentó menor error estándar residual:

- Para estimar biomasa subterránea: el error estándar residual fue de 34.86% y un coeficiente de correlación de 0.82
- Para estimar biomasa aérea: el error estándar residual fue de 14.89% y un coeficiente de correlación de 0.97.

- 5.3 Para estimar biomasa total: el error estándar residual fue de 11.77%, y un coeficiente de 0.98; en las tres ecuaciones el coeficiente de correlación no es el más alto de las ecuaciones comparadas.
6. La ecuación Logarítmica y la de Variables Combinadas son las que presentan el menor error estándar residual para el cálculo de la biomasa aérea: 14.83% y un coeficiente de correlación de 0.99 y 0.96 respectivamente
7. La biomasa total acumulada en los rodales estudiados es de 73,061.94 kg/ha, sin considerar la producción de biomasa de sotobosque que es de 2,313 kg/ha.
8. Los resultados obtenidos en esta investigación son aplicables para las condiciones de sitio descritas en la Tabla 1, y contribuyen para estudios de evaluación de carbono almacenado en los bosques de pino.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALPIZAR, W., P. MANSO., L. CORRALES. 1999. Cuantificación de los beneficios ambientales de reducción en emisiones de gases de efecto invernadero (GHI) en la cuenca del embalse El Cajón, en el marco de las actividades de implementación conjunta (AIC) y el mecanismo de desarrollo limpio (MDL. Administración Forestal del Estado/Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (AFE/COHDEFOR). 37 p.
- ALVAREZ WELCHEZ, L. 1999. Mejoramiento de suelos con relación al uso de tecnologías de producción en laderas del sur de Lempira, Honduras, Centro América. Revista Centroamericana Laderas, PASOLAC. 2(5):19-23.
- FAO. 1999. Situación de los Bosques del Mundo. Grupo Editorial, Dirección de Información de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma, Italia. 154, [2] p.
- FERREIRA, O. 1991. Ecuaciones Edad-Diámetro Normal Altura Total para *Pinus oocarpa* en Honduras. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. No.0:163-172. Madrid, España
- GALEANO, D. 2000. Plan de Manejo Forestal Bosque Escolar, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras. [168] p.
- GIANCOLI, D.C. 1997. Física: Principios con aplicaciones. A. H. Flores Samaniego. Cuarta Edición. Prentis Hall Hispanoamérica, S.A. México. 786 p.
- GROOHOUSEN, C., C. ALVARADO. 2000. Las parcelas de muestreo permanente: bases para estudios de crecimiento y rendimiento en bosques de pino en Honduras. Administración Forestal del Estado, AFE COHDEFOR: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, ESNACIFOR: Programa de Manejo de los Recursos Naturales Renovables de la Cuenca El Cajón. Siguatepeque, Honduras. 84 p.
- HAZLETT, D. L. 1986. Seasonal Cambial Activity, Litterfall, and Foliage Decomposition Rates for *Pinus oocarpa* in Honduras. Ceiba. 27(2). 226-277.
- MONTERO, G., J. A. GOMEZ., C. ORTEGA. 1991. Estimación de la productividad aérea en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. en el centro de España. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. No.0: 191-202. Madrid, España
- TURTIAINEN, M., G. BARAHONA. 1999. Manual formulación de Planes de Manejo de bosques pinares mixtos y plantaciones. En Manual Técnico: Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria. Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal (CEMAPIF), Programa Regional Forestal para Centroamérica (PROCAFOR).