

**Ecuación alométrica para estimar biomasa  
aérea en *Pinus oocarpa* del bosque natural de  
la Microcuenca Santa Inés, Honduras**

**Diego José Gudiel Corona**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERIA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Ecuación alométrica para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* del bosque natural de la Microcuenca Santa Inés, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Diego José Gudiel Corona**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2015

# **Ecuación alométrica para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* del bosque natural de la Microcuenca Santa Inés, Honduras**

Presentado por:

Diego José Gudiel Corona

Aprobado:

---

Juan Carlos Flores, Ph.D.  
Asesor Principal

---

Laura Suazo, Ph.D.  
Directora  
Departamento de Ingeniería en  
Ambiente y Desarrollo

---

Juan Ramón Licona, Ing.  
Asesor

---

Raúl Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

## **Ecuación alométrica para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* del bosque natural de la microcuenca Santa Inés, Honduras**

**Diego José Gudiel Corona**

**Resumen.** El bosque de la microcuenca Santa Inés tiene un potencial para ser catalogado por Zamorano y a nivel nacional como sumidero de carbono. En este estudio se ajustó una ecuación para cuantificar la biomasa total aérea en el bosque natural de la microcuenca Santa Inés con índice de calidad de sitio IV. La muestra tomada fue de 29 árboles distribuidos en todas las clases diamétricas encontradas en el sitio (1-60 cm). Se hizo una medición total del peso verde de todos los componentes aéreos (fuste, acículas, ramas y conos) y una medición de peso seco en muestras sacadas por componente. Se evaluaron regresiones con DAP y altura como variables independientes en cinco ecuaciones, ajustando los coeficientes y evaluando si existía relación con la biomasa total aérea. La ecuación que mejor se ajustó fue:  $B = a + bDap^2 + cH + dDap^2H$  con coeficientes de:  $a = -8.611$ ,  $b = 0.688$ ,  $c = -4.014$  y  $d = 0.002$ . La ecuación encontrada podría servir como herramienta para cuantificar biomasa y carbono en los bosques de Honduras que presenten la misma calidad de sitio, ayudando a la construcción de la línea base de los sumideros de carbono nacionales.

**Palabras clave:** Alometría, índice de sitio, regresiones.

**Abstract.** Santa Ines forest watershed has a potential to be cataloged as a carbon stock by Zamorano and Honduras. In this study was adjusted an equation to quantify the total aerial biomass in Santa Inés natural forest watershed with site quality index IV. The sample was taken from 29 trees distributed in all diameter classes found on the site (1-60 cm). Was measured the total green weight of all aerial components (stem, needles, twigs and acorns) and was measured the dry weight in samples taken per component. Were evaluated regressions with DAP and height as independent variables on five equations, adjusting the coefficients and assess whether there was a relation with total aerial biomass. The equation with better adjustment was:  $B = a + CH + bDap^2 + dDap^2H$  with coefficients:  $a = 8611$ ,  $b = 0.688$ ,  $c = 4014$  and  $d = 0.002$ . The found equation could serve as a tool for measuring biomass and carbon in the Honduras forest with the same site quality, helping to build the baseline of the national carbon stocks.

**Key words:** Allometry, regression, site index.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>16</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>17</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>20</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Datos promedio obtenidos del inventario para calcular el índice de calidad de sitio. ....	11
2. Ajuste de ecuaciones alométricas, para el cálculo de biomasa aérea de <i>Pinus oocarpa</i> , coeficientes y criterios estadísticos para la evaluación. ....	13

Figuras	Página
1. Ubicación de los sitios de investigación dentro de la cuenca Santa Inés. ....	5
2. Rodales destinados al tratamiento de corta selectiva y de saneamiento en bosque joven de la microcuenca Santa Inés. ....	6
3. Proceso del método directo empleado para la obtención de biomasa seca de la especie <i>Pinus oocarpa</i> . ....	10
4. Distribución de la biomasa en los componentes aéreos de <i>Pinus oocarpa</i> . ....	12

Anexos	Página
1. Curvas de calidad de sitio para Honduras .....	20

# 1. INTRODUCCIÓN

Según las Naciones Unidas, durante los últimos años, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) aumentaron a una tasa de 1.6% anual. Dentro de los GEI, el CO<sub>2</sub> ha tenido un aumento acelerado con un ritmo del 1.9% anual. Estas emisiones han sido liberadas a la atmósfera principalmente por el uso de combustibles fósiles para la generación y mantenimiento de electricidad, uso de medios de transporte y deforestación (ONU 2014)

La tala de grandes extensiones de bosque, principalmente por la expansión de la frontera agrícola ha provocado hasta el 20% de las emisiones totales de los gases en todo el mundo y la reducción del área para captura de carbono y purificación del aire. (ONU 2014). En el 2010 se registró una disminución cerca de 13 millones de hectáreas de bosque anual a nivel mundial, de las cuales la pérdida neta de bosque fue de 5.2 millones de hectáreas, debido al cambio de usos del suelo y causas naturales. Aunque estas cifras han disminuido, el ritmo de deforestación continúa en niveles críticos (FAO 2010).

Estos problemas han provocado que las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumenten. Desde 1992 al 2011 se estima que este gas ha incrementado su concentración en un 9% (PNUMA 2011) y ha llegado a niveles nunca antes vistos en la historia. Según la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) (2015), en el 2015 las concentraciones de CO<sub>2</sub> superaron por primera vez las 400 partes por millón (ppm). Esto se convierte en un problema, ya que junto con los otros gases de efecto invernadero, el CO<sub>2</sub> produce un efecto en el clima a nivel mundial (PNUMA 2011).

Las grandes concentraciones de GEI impiden un intercambio completo de energía proveniente del sol, ya que estos gases atrapan el calor y lo transmiten al resto del planeta, evitando que retorne al espacio exterior. El incremento de este efecto provoca cambios en la temperatura global, que a su vez, provoca efectos negativos en todas las formas de vida. Dentro de las consecuencias están: el aumento del nivel del mar por la expansión del volumen del agua, aumento de los fenómenos naturales extremos y cambio climático (Hernandez 2001).

Con el objetivo de mitigar los efectos de los GEI se crea el programa de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y la Degradación de bosques (UN-REDD) (UN-REDD 2015). El programa reúne a los países participantes de África, Asia y Latinoamérica con el objetivo de implementar un valor económico al carbono capturado en bosques. Este programa ofrece incentivos a todos aquellos países en vías de desarrollo para reducir las emisiones causadas por la deforestación. Las medidas que REDD propone es la conservación, manejo sostenible de los bosques y mejoramiento de los sumideros de carbono (UN-REDD 2015).

Los sumideros han sido considerados, desde el Protocolo de Kioto, como todo sistema o proceso que extrae un gas de la atmósfera y luego lo almacena (Naciones Unidas 1998). Honduras cuenta con el 87% del territorio con vocación forestal, además, cuenta con 4.75 millones de hectáreas aptas para ser reforestadas, distribuidas en todo el país y que podrían ser catalogados como sumideros de carbono. Se calcula que se podría llegar a comercializar alrededor de 56 millones de toneladas de carbono en 4.7 millones de hectáreas en todo el territorio (CICIH 2014), teniendo un alto potencial de mercado para bonos de carbono, pero que necesita de estudios para ser cuantificado.

Actualmente, en Honduras, el programa de REDD+ ha tomado gran importancia, con reuniones desde el 2010 al 2013 donde se planeó el estudio de línea base para brindar una plataforma completa, sostenible y que logre realizar proyectos a nivel nacional. Los proyectos para captura de carbono van enfocados a la agricultura, silvicultura y cambio de uso del suelo ya que son los principales sumideros naturales de carbono (Samayoa 2011). El principal proyecto es el programa regional REDD/CCAD-GIZ que involucra a los países de Centroamérica con sus actores claves en la conservación de bosques en zonas protegidas y áreas con potencial para ser sumideros de carbono (Programa REDD 2015). Es por esto que Honduras ha trabajado en la base de datos nacional, con el fin de cuantificar actualmente cuánto carbono está capturando por medio de los sumideros que el país cuenta, para luego poder evaluar si está cumpliendo con los objetivos del programa.

Para cuantificar cuanto carbono puede capturar un bosque, se debe usar la relación estadística que hay entre toda la población de individuos con respecto a sus medidas individuales (Gould 1966). La relación que existe entre la población se deriva de la homogeneidad del desarrollo de los individuos de la misma especie, en el mismo sitio y se define como el principio básico de la alometría. Este principio permite predecir la medida de un árbol en función de otra medida por medio de una ecuación que cuantifica esta relación. Normalmente el diámetro es la característica más común para relacionar las demás características (Picard *et al.* 2012). Pero, para poder hacer uso de estas ecuaciones, se debe establecer la relación existente entre los individuos y qué ecuación específica es aplicable para la especie y el sitio de estudio.

Las características del espacio físico donde crecen los individuos de un rodal es definido y categorizado por el índice de calidad de sitio. Este índice muestra las condiciones naturales y de manejo del lugar para el crecimiento de los individuos, reflejadas en la biomasa. A mejor calidad de sitio, mayor es la capacidad de producción de la especie. Esta descripción está definida por la influencia que han tenido estos factores sobre el bosque, por lo que es medida directamente en los individuos (Wabo 2002). Cada sitio tiene un índice específico, pero existen lugares donde las condiciones son parecidas y entran en la misma categoría.

La acumulación y fijación de Carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales de Cabañas, La Paz, Honduras, fue estimada en el 2005, teniendo que definir primeramente la ecuación para calcular la biomasa aérea con el principio de alometría para el sitio estudiado. La metodología en la recolección de muestras para estimar la biomasa de los individuos seleccionados se hizo por el método destructivo, talando individuos según la clasificación diamétrica. Como resultado se obtuvo la ecuación logarítmica combinada definida como:  $\ln B = a + b \ln D^2 H$  ajustada con las constantes  $a = -2.184$  y  $b = 0.851$  y evaluada con



el  $R^2=0.85$  (Mercedes y Mejía 2005). La ecuación generada en esta investigación es la única para esta especie en todo el país.

Para el estudio de calidad de sitio en bosques de coníferas en Honduras, Groothousen y Ferreira definieron las curvas de índice de sitio para *Pinus caribaea*. Al mismo tiempo AFE-COHDEFOR con la ayuda de la Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR) (2000) elaboraron las curvas de Índice de Sitio para *Pinus oocarpa* y *Pinus caribaea*, donde definieron 5 clasificaciones para la calidad de sitio, donde la calidad de sitio I es catalogada con el mejor rendimiento y calidad de sitio V con el peor.

A raíz de los escasos estudios que existen sobre este tema, surge la idea de obtener datos de los sumideros de carbono en los bosques de coníferas de la micro cuenca Santa Inés, como una zona de gran importancia para Zamorano. Esta investigación además de poder ser catalogada como una herramienta para cuantificar el carbono capturado en Honduras, será el primer paso para una serie de estudios que pueden seguirse, con respecto al tema de huella de carbono y su almacenamiento por parte de Zamorano. Puede ser la base para que la Escuela Agrícola Panamericana participe en la temática de mercados de carbono, mitigación al cambio climático y reducción de la huella de carbono.

Es por esto que se plantearon como objetivos de la investigación: ajustar la ecuación alométrica de biomasa para la especie *Pinus oocarpa* en el bosque natural de la microcuenca Santa Inés, Honduras y definir el índice de calidad de sitio para *Pinus oocarpa* en el bosque natural de la microcuenca Santa Inés, Honduras.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la fase de campo y laboratorio se utilizó la metodología planteada por Mercedes y Mejía (2005) con especificaciones más detalladas tomadas del Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles, elaborado por Picard *et al.* (2012).

**Sitio de estudio.** La Microcuenca Santa Inés está localizada entre los municipios de Güinope, Yuscarán, el Paraíso y San Antonio de Oriente, Departamento de Francisco Morazán, Honduras (Montenegro 2013). Según los datos cartográficos, la Microcuenca abarca desde 800 msnm hasta 1775 msnm, con una altitud media de 1287 msnm (Fundación Vida 2004). La microcuenca tiene un área total de 1858 ha en donde el 86.4% pertenece a cobertura forestal y el resto pertenece a uso agrícola, urbano y otros (Acosta y Kucharsky, 2012).

Está conformada por 1605.7 ha de bosque uniforme, donde 1346.2 ha son bosques de pino, abarcando el 72.4% del área total de la micro cuenca (Acosta y Kucharsky 2012). La cobertura forestal de pino es bastante uniforme, con un rango desde los 900 a los 1500 msnm con las variedades *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi* y *Pinus caribae* y bosque latifoliados sobre los 1500 msnm (Marciaga 2014). Para estimar el potencial como sumidero de Carbono se debe trabajar con la acumulación de biomasa en el bosque. La distribución de la biomasa es 75% en los componentes aéreos y un 25% en las raíces (Alberto y Elvir 2008).

**Fase de campo.** Se realizó el inventario de dos rodales de 2 ha cada uno (Figura 1) destinados para la aplicación de tratamiento de corta selectiva y saneamiento, en donde se eligieron los árboles con mayores diámetros y edades, árboles que estaban mal distanciados e individuos enfermos y deformes. El objetivo de este tratamiento es el de ordenar el bosque, promover el crecimiento homogéneo y evitar plagas de gorgojo, siendo esta una de las mayores plagas en bosques de pino de Honduras.

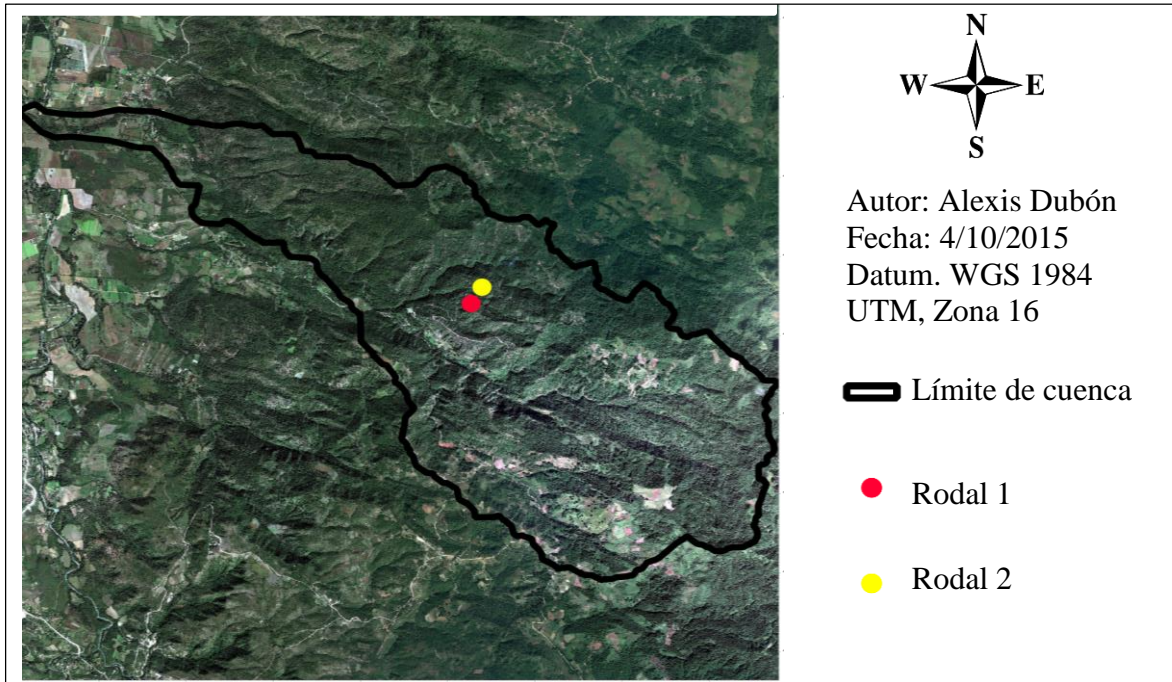


Figura 1. Ubicación de los sitios de investigación dentro de la cuenca Santa Inés.

Cada rodal tenía rangos de pendientes: de 0-30% y de 30-60% distribuidos en sectores del rodal (Figura 2). Del inventario se obtuvieron los diámetros existentes en la zona por medio de mediciones *in situ*, estas mediciones se hicieron con la medida estándar de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), siendo esta una medición del diámetro del fuste a 1.3 m de altura desde la base del árbol. Además, se seleccionaron los árboles que podían ser aprovechados, con el fin de realizar un tratamiento de corta selectiva y saneamiento; eligiendo a los árboles con mayores diámetros, con deformidades o enfermedades y los que se encontraran con distanciamientos cortos.

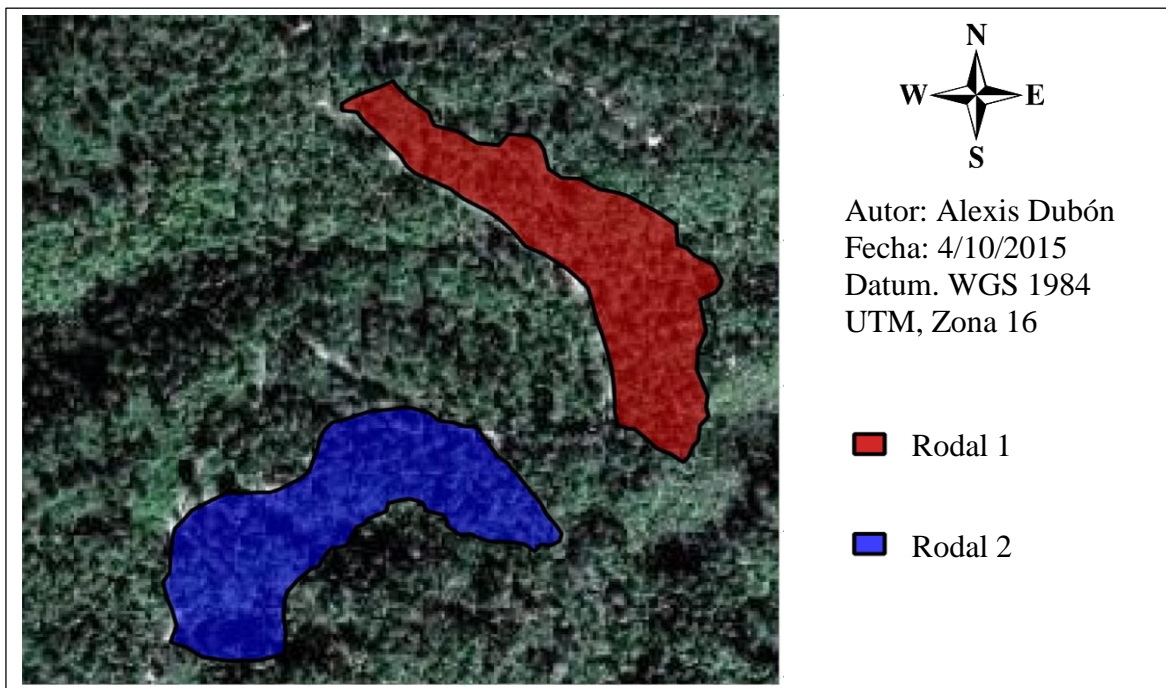


Figura 2. Rodales destinados al tratamiento de corta selectiva y de saneamiento en bosque joven de la microcuenca Santa Inés.

**Selección de muestra.** Del conjunto de individuos que fueron aprovechados, se clasificaron en clases diamétricas con rango de 2 cm. Estas clases incluyeron diámetros desde los 2 cm hasta los 60 cm de DAP. Se procedió a elegir y marcar los individuos que se utilizaron en el estudio, tomando un árbol por clase diamétrica, que tuviera la medida del DAP en la media del rango de cada clase. Se obtuvieron un total de 29 individuos distribuidos en el 100% de los diámetros representados en el sitio.

**Medición de los árboles.** El proceso metodológico que se utilizó para la medición de biomasa en los árboles, fue el destructivo o directo, por lo que se tuvo que realizar una corta total de los individuos seleccionados. Para esta actividad de corta, se limpió el área de caída del árbol retirando toda la biomasa y sotobosque existente, esto permitió que no se mezclara el material antiguo o de otros individuos y además, tener una mejor área de trabajo para la recolección más completa de todos los componentes del árbol. Se procedió a la corta de cada árbol con el uso de la motosierra, realizando un corte a los 30 cm. de altura desde la base del árbol. Con el árbol derribado, se procedió al desramado del fuste o tronco principal, para luego realizar la medición de la altura total. Esta medición se hizo con una cinta métrica, tomando la medida desde el corte más largo que se hizo en el fuste, hasta la punta de la copa e incluyendo la altura del tocón.

Se realizó el seccionamiento con motosierra del fuste, en trozas de 2 m de largo y luego se midió el diámetro mayor de cada troza, para poder cubicarla con la fórmula de Smalian y obtener el volumen de cada una. Se separaron todos los componentes aéreos (acículas, conos y ramas), utilizando plásticos para recolectar la totalidad del material de cada componente. Para la separación de ramas se hizo una clasificación de ramas grandes a aquellas que fueran

mayores a 5 cm de diámetro y ramas pequeñas a las que tuvieran medidas menores de 5 cm de diámetro. Para terminar con la medición de los árboles, se pesó la biomasa verde total de todos los componentes aéreos en cada individuo, utilizando balanzas de aguja de 5 kg. Para obtener el peso de las trozas se utilizó el volumen obtenido y se multiplicó por la densidad de la madera seca.

Se tomaron muestras de 0.5 kg de los componentes aéreos y rodajas de 5 cm. de espesor de la parte más ancha de cada troza. Cada muestra se colocó en bolsas de papel y se marcó con un código indicando la clase diamétrica a la que pertenecía y el componente que era. Para las rodajas, se pesaron individualmente y se marcaron con un código que indicaba la clase diamétrica del árbol y el número de troza. El proceso se grafica más adelante (Figura 3).

**Fase de laboratorio.** Se pesaron las muestras recolectadas en el laboratorio en una balanza electrónica de 10 kg marca Ohaus, para poder observar si hubo pérdida o ganancia de humedad en el traslado del campo al laboratorio. Se colocaron las muestras en un horno eléctrico a 75°C monitoreando el cambio de peso, primeramente a los cinco días y luego cada dos días, hasta llegar a un peso constante en las muestras. El secado total se realizó en dos tandas, la primera en 14 días y la segunda en 11 días, llegando en ambas a humedades menores al 6%.

De las rodajas secas se sacó una submuestra de madera y de corteza, se midieron los pesos de las submuestras, luego se sumergieron en un volumen de agua conocido dentro de una probeta y se midió el volumen de agua desplazado. Esto fue para calcular la densidad de madera y corteza anhidra.

**Cálculos.** Los cálculos realizados en la base de datos tomados en campo y laboratorio se hicieron en el programa de Excel 2013.

El volumen del fuste con y sin corteza se calculó con la fórmula de Smalian (Fórmula 1) obteniendo el volumen de corteza con la diferencia entre el volumen de troza con corteza y sin corteza. El volumen de madera se calculó con la diferencia entre el volumen con corteza y el volumen de corteza. Para el último segmento, se calculó el volumen con la fórmula de cubicación del cono (Fórmula 2).

Fórmula 1. Fórmula de Smalian para determinar volumen del fuste con o sin corteza.

$$\text{Vol} = \frac{A1+A2 *L}{2}$$

Donde:

V = Volumen (m<sup>3</sup>).

A1 = Área del diámetro mayor (m<sup>2</sup>).

A2 = Área del diámetro menor (m<sup>2</sup>).

L = Largo de la troza (m).

Fórmula 2. Fórmula de cubicación del cono.

$$\text{Vol} = \frac{\text{AB} * \text{L}}{3}$$

Donde:

V = Volumen (m<sup>3</sup>).

AB = Área basal de la sección (m<sup>2</sup>).

L = Largo de la sección (m).

La gravedad específica (GE) o densidad de la madera anhidra se calculó utilizando la fórmula de densidad, dividiendo el peso seco de cada submuestra entre el volumen de agua desplazado y luego se hizo un promedio de las densidades obtenidas por submuestra. Para la densidad de la corteza se realizó el mismo procedimiento con submuestras obtenidas de las muestras de rodajas secas.

La biomasa seca de la madera en el fuste se determinó multiplicando el volumen total del fuste sin corteza por la GE anhidra de la madera. La biomasa seca de la corteza se determinó con el mismo procedimiento pero con el volumen total de la corteza en el fuste y la GE anhidra de la corteza. Se calculó la biomasa seca total del fuste sumando el volumen total de los dos componentes.

Para calcular la biomasa de los componentes aéreos se calculó primeramente el porcentaje de humedad usando los pesos verdes y secos de las muestras (Fórmula 3). Luego se calculó la biomasa seca total, multiplicando el peso verde total de cada individuo por la humedad de cada componente (Fórmula 4). La biomasa total fue calculada con la suma-toria de la biomasa seca total de todos los componentes.

Fórmula 3. Contenido de Humedad.

$$\text{CH} (\%) = \frac{\text{Pv} - \text{Ps}}{\text{Pv}} * 100$$

Donde:

CH (%) = Contenido de humedad inicial (%).

Pv = Peso verde de la muestra (kg).

Ps = Peso seco de la muestra (kg).

Fórmula 4. Peso seco de otros componentes.

$$\text{Ps} = \text{Pv} * \left(1 - \left(\frac{\text{CH} \%}{100}\right)\right)$$

**Fase estadística.** Para relacionar las variables independientes de DAP y altura con la variable dependiente de la biomasa aérea total, se ajustaron por medio de regresiones las ecuaciones utilizadas en la investigación de Mercedes y Mejía (2005) utilizando el programa estadístico IBM SPSS Statistics 19. Además se utilizó el programa de Excel 2013 para evaluar algunos criterios estadísticos. Las ecuaciones son las siguientes:

1. Ecuación de Variables Combinadas:  $B = a + bDAP^2 H$ .
2. Ecuación Australiana:  $B = a + bDAP^2 + cH + dDAP^2H$ .
3. Ecuación Logarítmica:  $\ln B = a + b\ln DAP + c\ln H$ .
4. Ecuación de Variables Combinadas Ponderada:  $B/DAP^2H = (a/DAP^2H) + b$ .
5. Ecuación Logarítmica Combinada:  $\ln B = a + b \ln DAP^2H$ .

Donde:

B: Biomasa total.

DAP: Diámetro a la altura del pecho.

H: Altura total.

Estas ecuaciones fueron evaluadas según el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), error cuadrático medio (ECM) y menor error estándar de estimación ( $S_{xy}$ ) y luego en la ecuación seleccionada se ajustaron los parámetros o constantes.

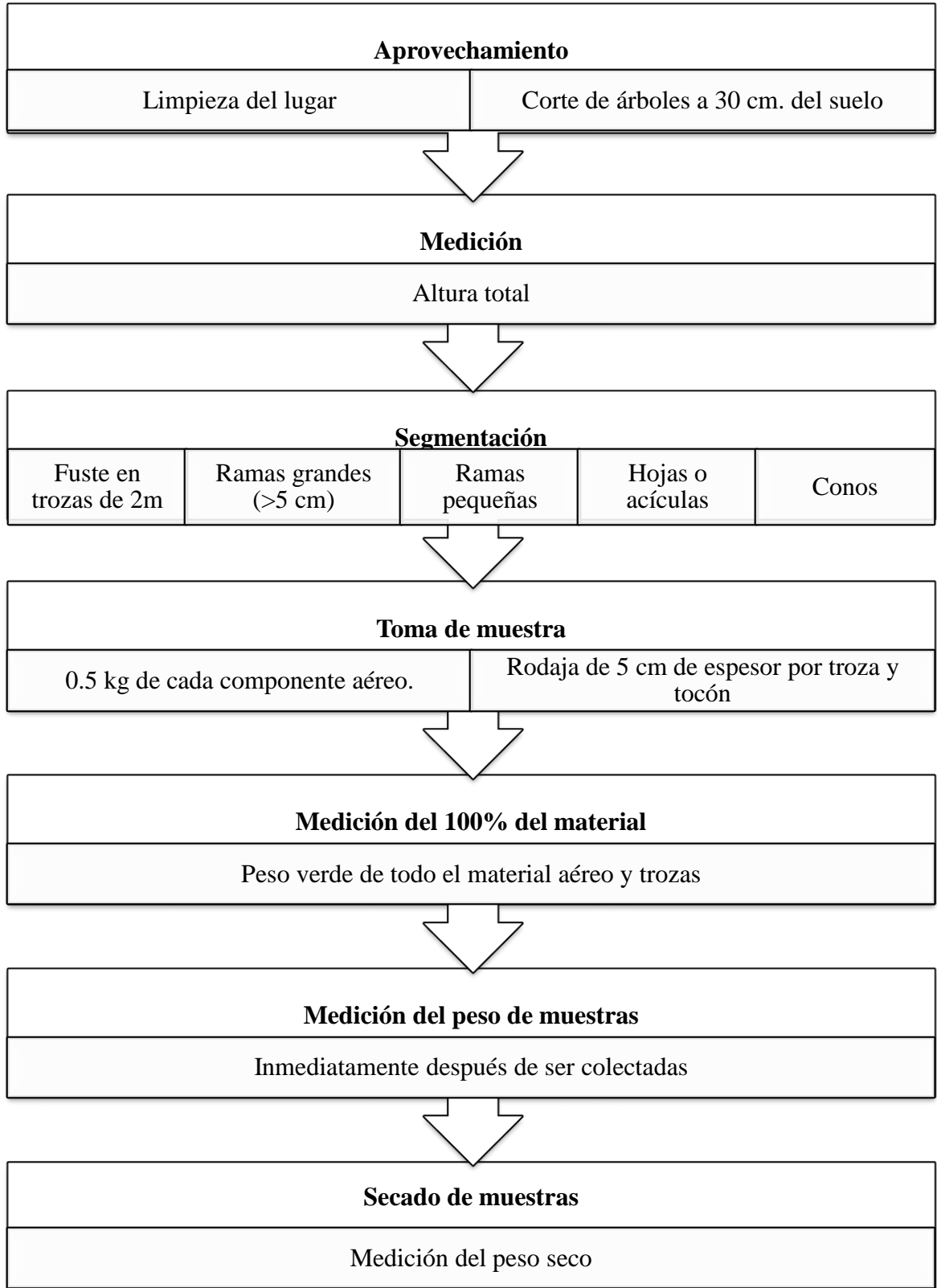


Figura 3. Proceso del método directo empleado para la obtención de biomasa seca de la especie *Pinus oocarpa*.



**Índice de sitio** Las curvas de índice de sitio utilizadas para evaluar el índice de calidad de sitio fueron las que se usan normalmente por el AFE-COHDEFOR para la especie *Pinus oocarpa* en Honduras (Anexo 1), según las Guías, tablas y curvas para realización de Inventarios Forestales en: Planes de manejo y Planes operativos (Turtiainen 1995). Esta relaciona la edad (31 años) con la altura y con una curva de calidad de sitio. Se utilizaron los datos promedio del inventario de los dos rodales para definir el índice (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos promedio obtenidos del inventario para calcular el índice de calidad de sitio.

<b>Clase diamétrica (cm)</b>	<b>DAP promedio (cm)</b>	<b>Altura promedio (m)</b>
10 - 14.9	13	11
15 - 19.9	17	17
20 - 24.9	22	19
25 - 29.9	27	20
30 - 34.9	32	21
35 - 39.9	37	22
40 - 44.9	41	23
45 - 49.9	47	24
50 - 54.9	52	24
55 - 59.9	56	25
Promedio	34	20

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Distribución de la biomasa de los componentes aéreos.** En la especie *Pinus oocarpa*, el fuste con corteza presentó el mayor porcentaje de la biomasa aérea con el 79.808%, seguido de las ramas con 12.390%, las acículas con un 7.009% y los conos con 0.794% (Figura 4).

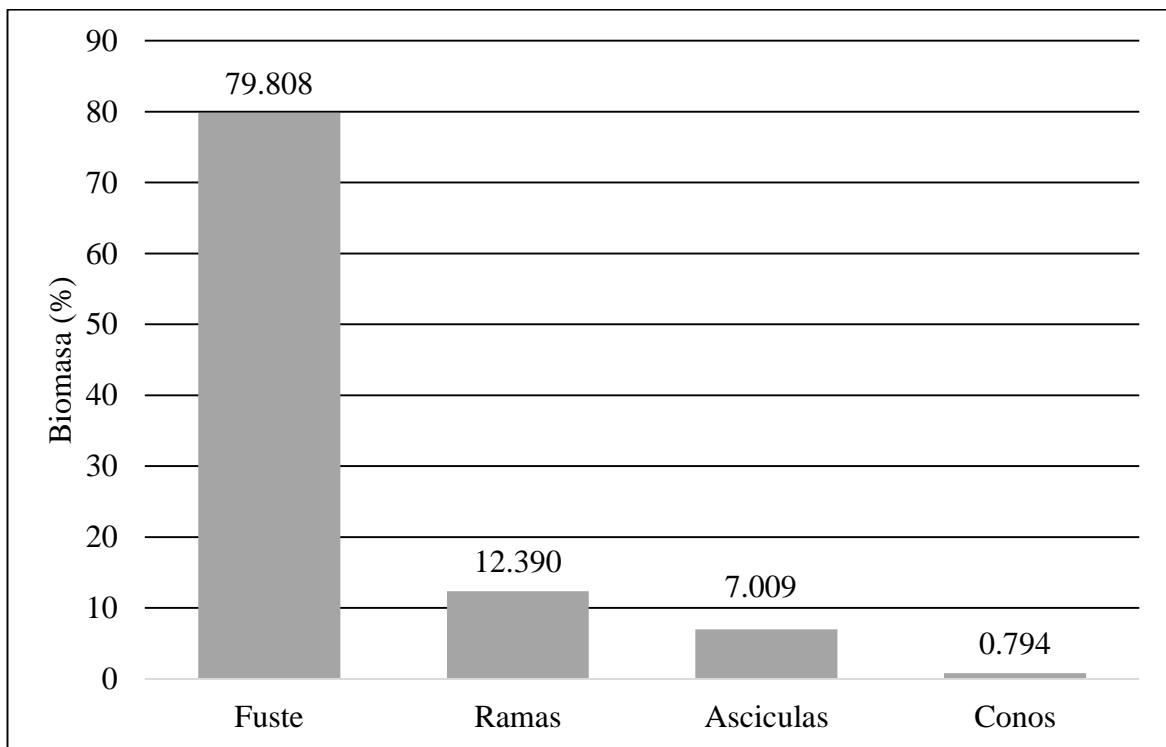


Figura 4. Distribución de la biomasa en los componentes aéreos de *Pinus oocarpa*.

Estos resultados comparados con el estudio de Mercedes y Mejía (2005), no muestran una diferencia muy fuerte en la distribución de la biomasa, teniendo un mayor porcentaje de la biomasa total en el fuste y menor en los otros componentes con respecto al estudio hecho en el bosque de Cabañas, La Paz. Este comportamiento de la biomasa se puede explicar con el planteamiento de Enquis y Niklas (2002), que luego de haber estudiado un gran número de plantas vasculares de una gran variedad de especies, se evaluó que a pesar de la diversidad en ontogenia, anatomía, hábitat y características el entorno, la acumulación de biomasa en los componentes siempre se comportaba de la misma manera sin importar las condiciones ambientales (Niklas y Enquist 2002).

**Ecuacione alométrica.** Al compararse los cinco modelos de ecuaciones (Cuadro 2), se escogió la ecuación australiana como la que tenía mejor ajuste para la estimación de la biomasa aérea total para la especie *Pinus oocarpa* en la microcuenca Santa Inés. Esta ecuación presentó el mejor  $R^2$  (0.988), el menor Error cuadrático medio (215,842.936) y el menor error estándar de estimación (16.592).

Cuadro 2. Ajuste de ecuaciones alométricas, para el cálculo de biomasa aérea total de *Pinus oocarpa*, coeficientes y criterios estadísticos utilizados para la evaluación.

Modelo	Coeficientes	Criterios estadísticos		
		$R^2$	ECM	$S_{xy}$
Ecuación de variables combinadas $B=a+b*Dap^2*altura$	a= 30.909 b= 0.27	0.974	99,796,283.616	1921.313
Ecuación Australiana $B=a+bDap^2+cH+dDap^2H$	a= -8.611 b= 0.688 c= -4.014 d= 0.002	0.988	7,442.860	16.592
Ecuación Logarítmica $LnB=a+bLnDap+cLnH$	a= -227.357 b= 1801.014 c= -1641.557	0.747	155,298.868	75.792
Ecuación de variables combinadas ponderadas $B/D^2H=a/Dáp^2H+b$	a= -57034.490 b= 908.601	0.095	556,642.343	143.492
Ecuación logarítmica combinada $LnB=a+bLnDap^2H$	a= -608.779 b= 10.767	0.741	2,399,474.47	297.920

Dónde:  $R^2$ =Coeficiente de determinación; ECM=Error cuadrático medio= $\sqrt{\sum (Biomasa\ real-biomasa\ estimada)^2/N}$ ;  $S_{xy}$ =Error estándar de Estimación,  $S_{xy}=ECM/grados\ de\ libertad$

Este estudio es comparable directamente con el de Mercedes y Mejía (2005), ya que se evaluaron las mismas ecuaciones para ajustar la ecuación alométrica de Santa Inés. Los resultados de la investigación fueron bastante diferentes, ya que la ecuación elegida por estos autores (Logarítmica combinada) fue de las que menos se ajustó para el bosque natural de Santa Inés con un  $R^2$  de 0.741. Sin embargo, la ecuación Australiana ajustada en esta investigación, aunque no tuvo el mejor  $R^2$  (0.80) en la investigación de estos autores, tuvo el menor Error estándar de Estimación ( $S_{xy} = 109.27$ ). Esta cercanía de las ecuaciones puede estar influenciada por la distribución más grande de las muestras tomadas en esta investi-

gación, ya que tomando en cuenta diámetros desde los 3 cm hasta los 60 cm, se podría decir que hubo una mejor distribución y así un mejor ajuste de la ecuación.

Las mismas ecuaciones fueron evaluadas dentro de la investigación de Méndez *et al.* (2011), Las ecuaciones  $B=aDap^b$ ,  $B= \exp(a+bDap)$  y  $B= a+bDap+cDap^2$  fueron las resultantes para la especie *Pinus devoniana* con un  $R^2$  de 0.85. Para la especie *Pinus pseudostrabus* la ecuación  $B=a+bDap+cDap^2$  tuvo el mayor  $R^2$  con 0.91. Aunque fueron evaluadas las mismas ecuaciones, los resultados fueron muy diferentes. Esto es explicado junto con los resultados de los índices de sitio.

**Índice de sitio.** La altura promedio de los árboles en los rodales inventariados fue de 20.15 m. y la edad promedio fue de 31 años. Al relacionarlos con la curva de calidad de sitio se obtuvo una calidad de sitio en categoría IV. Esto explica el comportamiento diferente para cada uno de los casos planteados. Según Picard *et al.* (2012) el crecimiento de los árboles es una combinación de factores que influyen directamente en la actividad de yemas y del cambium. Estos factores tienen que ver con la genética, el entorno, etapa actual de desarrollo y las actividades del hombre que influyen en todos los factores.

Esta relación del individuo con su ambiente y las perturbaciones existentes, modificarán las relaciones naturales que tienen las medidas de crecimiento, ya que aunque el diámetro no deja de aumentar, la altura es suprimida con índices de sitio cercanos a V. Esto quiere decir, que el índice de sitio nos dará la idea sobre el nivel de perturbación del sitio y el crecimiento de los individuos.

#### 4. CONCLUSIONES

- La ecuación alométrica ajustada que mejor estima la biomasa total aérea en la especie *Pinus oocarpa* en el bosque natural de la microcuenca Santa Inés es la australiana:  $B=a+bDap^2+cH+dDap^2H$  con un ajuste de de:  $a=-8.611$ ,  $b= 0.688$ ,  $c= -4.014$  y  $d= 0.002$ .
- La ecuación ajustada es diferente a la planteada actualmente para su uso en la estimación de biomasa y carbono en Honduras, por lo que puede formar parte de las herramientas de evaluación y diagnóstico de la función de los bosques nacionales como sumideros de carbono.
- La distribución de la biomasa esperada dentro de los individuos para el área estudiada será mayor en el fuste con 80%, luego las ramas con 12% y por último acículas y conos con 8%, respetando el comportamiento normal de distribución de biomasa en árboles.
- La calidad de sitio para la especie *Pinus oocarpa* en el bosque natural de la microcuenca Santa Inés fue catalogado como índice IV. La aplicación de la ecuación encontrada tendrá mejor aplicabilidad en los bosques de la misma especie que tengan también calidad de sitio IV.

## 5. RECOMENDACIONES

- Realizar una investigación en donde se tome en cuenta la biomasa concentrada en las raíces, esto dará una ecuación para la biomasa total del bosque e información más completa sobre el estado de los sumideros de carbono.
- Hacer una evaluación de la ecuación ajustada con otra toma de datos, para comprobar que la relación entre unidades de crecimiento y biomasa se mantienen. Además de realizar un mayor muestreo en los individuos de clases diamétricas predominantes.
- Aplicar la ecuación alométrica para estimar la biomasa total retenida por el bosque de *Pinus oocarpa* del bosque natural de la microcuenca Santa Inés.
- Realizar un estudio de laboratorio para obtener la fracción de carbono presente en la biomasa de este bosque.

## 6. LITERATURA CITADA

Acosta, A. y Kucharsky, O. 2012. Estudio edafológico y de cobertura para la modelación hidrológica con el modelo SWAT de la micro cuenca Santa Inés, Honduras. Tesis Ing. Amb. Zamorano, Honduras. p. 13

AFE-COHDEFOR y ESNACIFOR. 2000. Programa de manejo de los recursos naturales renovables de la cuenca el cajón: Las parcelas de muestreo permanente: bases para estudios de crecimiento y rendimiento en bosques de pino en Honduras. Administración Forestal del Estado y Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Honduras. p. 43-67.

Alberto, D. M. y Elvir, J.A. 2008. Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales en Honduras. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 17 (1), p. 67-78.

CICIH. 2014. 1.4.Sector forestal: Proyectos. *In:* Camara de Industria y Comercio Ítalo-Hondureña, Tegucigalpa, Honduras. p. 36-53.

Enquis, B y Niklas, K. 2002. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants. *Science* 295 (1). American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, Estados Unidos. p. 1517-1520

FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. p. 13.

Gould, S.J. 1966 Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biological Reviews* 41(4). Departamento de Geología, Universidad de Columbia, Nueva York. p. 587-638.

Hernandez, E. 2001. El efecto invernadero. Agrupamiento de Ingenieros Ecologistas (AIE), Argentina. 4 p.

Marciaga A. 2014. Estimación del valor del uso, propiedad de Santa Inés de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Tesis Ing. En Ambiente y Desarrollo. p.2

Méndez, J.G., Luckie, L.N., Capó, A.M. y Nájera, A. L. 2011. Ecuaciones Alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia* 45: p. 479-491.

Mercedes, D. y Mejía, A. 2005. Acumulación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales de Cabañas, La Paz. Tesis Ing. En Ciencias Forestales. Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR), Siguatepeque, Comayagua, Honduras. 61 p.

Montenegro, G. 2013. Caracterización Agrícola de la zona de recarga de la microcuenca Santa Inés, Honduras. Tesis Ing. Amb. Zamorano, Honduras. 23 p.

Naciones Unidas. 1998. Protocolo de Kyoto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. s.n.t. 24 p.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2015. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (En línea). Earth System Research Laboratory of NOAA. Consultado el 15 de Junio del 2015. Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

ONU. 2014. Datos y cifras (En línea). Consultado 14 de Noviembre de 2014. Organización de las Naciones Unidas. Disponible en <http://www.un.org/es/climatechange/facts.shtml>

Picard, N., Saint-André, L. y Henry, M. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: Del trabajo de campo a la predicción. S.l. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) y Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). p. 23-24, 33-174.

PNUMA. 2011. Seguimiento a nuestro ambiente en transformación: de Río a Río+20. Ed. División de Evaluación y Alerta Temprana del PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nairobi, Kenia. P. 22, 23, 28.

Programa REDD. 2015. Programa Regional REDD (En línea). Consultado el 27 de Septiembre de 2015. Disponible en: <http://www.reddcadgiz.org/elprograma.php>

Samayoa, S. 2011. Guía de orientaciones, Mercado de carbono, oportunidades para proyectos de pequeña escala. 2 ed. Tegucigalpa, Honduras. Comunica. p. 12, 13, 18 y 19.

Turtiainem, M. 1995. Guías, tablas y curvas para realización de inventarios forestales en: planes de manejo y planes operativos. AFE-COHDEFOR, Honduras. p. 3.

UN-REDD. 2015. About REDD+ (En línea). Consultado 27 de Septiembre de 2015. Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación del bosque. Disponible en <http://www.un-redd.org/AboutREDD/tabid/102614/Default.aspx>

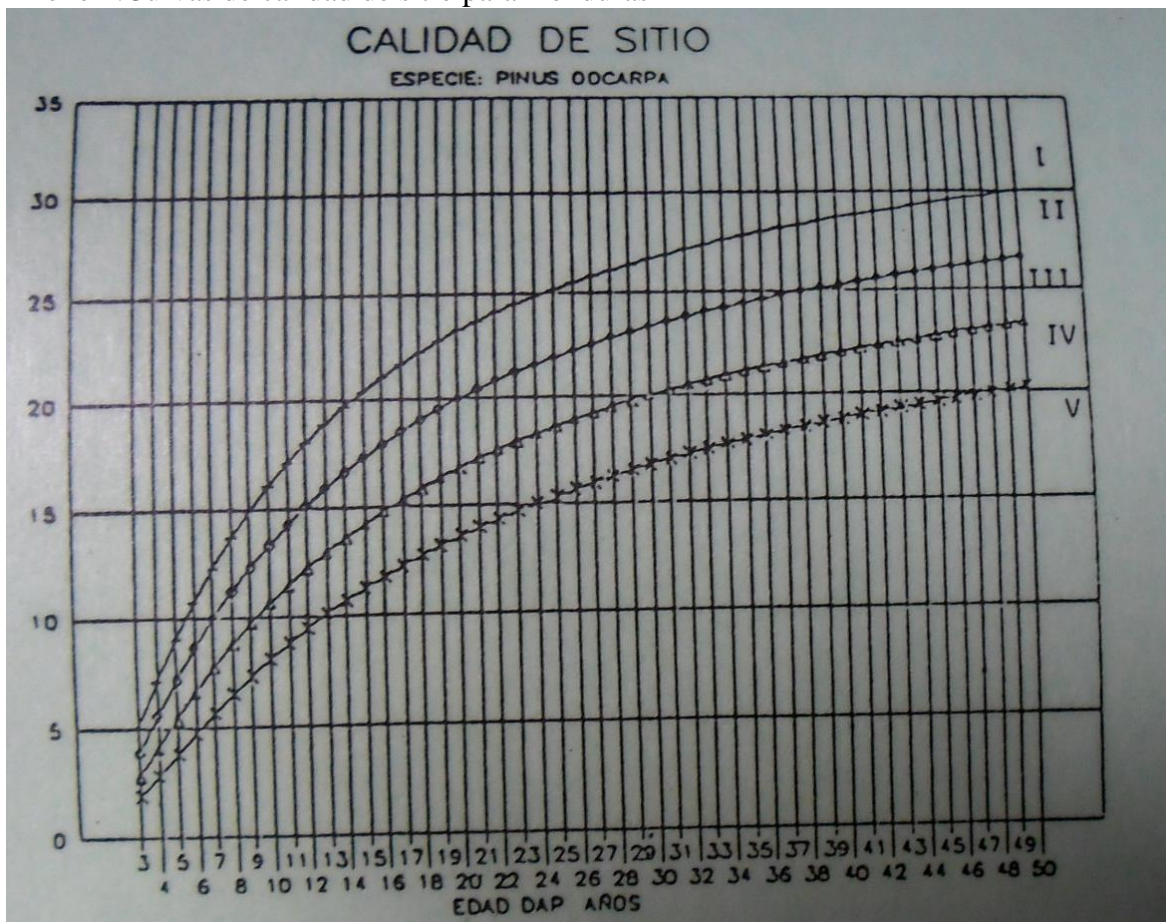
UN-REDD. 2015. About the UN-REDD Programme (En línea). Consultado el 27 de Septiembre de 2015. Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación del bosque. Disponible en: <http://www.un-redd.org/AboutUN-REDDProgramme/tabid/102613/Default.aspx>



Wabo, E. 2002. Tema 15: Calidad de sitio e Índice de sitio. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 7 p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Curvas de calidad de sitio para Honduras



Fuente: COHDEFOR-CEMAPIF (1995)