

# ECUACIONES PARA ESTIMAR BIOMASA EN LA MESETA CENTRAL DE CHIAPAS

**R. S. Ayala-López<sup>1</sup>; B. H. J. De Jong Bergsma<sup>2</sup>; H. Ramírez-Maldonado<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Investigador del Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de la Casas, Chiapas, México

<sup>2</sup>Investigador Titular A del Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de la Casas, Chiapas, México.

<sup>3</sup>Profesor de la División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

## RESUMEN

Este trabajo se realizó en la Meseta Central de Chiapas. El objetivo fue obtener ecuaciones para estimar biomasa como peso seco de pinos y encinos, teniendo al diámetro normal y la altura como variables independientes y el peso total, del fuste, de la copa de ramillas y hojas como variables dependientes. El peso fresco fue obtenido mediante muestreo de las diferentes partes del árbol; las muestras fueron secadas en laboratorio para obtener el peso seco. De los resultados de las muestras se infirió el peso seco. Empleando regresión lineal y no lineal se obtuvieron las ecuaciones para estimar biomasa. La bondad de ajuste de los diferentes modelos ensayados se determinó con base en la suma de cuadrados de los residuales, el coeficiente de determinación corregido para las regresiones lineales y pseudo coeficiente de determinación corregido para las regresiones no lineales. Las ecuaciones podrán aplicarse en los tipos de vegetación con los mismos grupos de especies. Con la estimación de biomasa se podrá calcular el carbono asimilado por los árboles.

**PALABRAS CLAVE:** ecuación, estimación, biomasa, carbono asimilado, regresión.

## EQUATIONS FOR ESTIMATING PINE AND OAK TREES BIOMASS IN THE CENTRAL PLATEAU OF CHIAPAS

### SUMMARY

This study was carried out in the Central Plateau of Chiapas. The objective was to obtain equations for estimating biomass of pines and oaks, as dry weight, taking total height and diameter as independent variables, and total, stem, canopy and small branches and leaves weights as dependent variables. Green weight was determined from samples from each part of the trees, and then those samples were oven dried to determine dry weight. From the sample results, the total dry weight of the different parts of the trees was inferred. Linear and non-linear regression analyses were used to fit several models. Appropriateness of fit was determined using residual sum of the squares and corrected coefficient of determination for linear regression and pseudo coefficient of determination for non-linear regression. The equations can be applied to similar tree species. Evaluating biomass, it will be possible to calculate assimilated carbon by the trees.

**KEY WORDS:** equation, estimation, biomass, assimilated carbon, regression.

### INTRODUCCIÓN

Uno de los fenómenos atmosféricos de mayor importancia mundial lo producen las emisiones que provocan el incremento en la atmósfera de bióxido de carbono y su potencialidad para cambiar el clima mundial. Este fenómeno se debe al uso de combustibles fósiles y al cambio de uso del suelo (Montoya et al., 1995).

En México, el modelo de uso del suelo ha provocado degradación del medio asociado con la reducción de biomasa y su efecto en el desarrollo del ciclo de carbono.

El Colegio de la Frontera Sur desarrolla un proyecto integral sobre la caracterización del paisaje, análisis de la vegetación y evaluación de carbono asimilado en los diferentes tipos de vegetación. La primera fase de este proyecto pretende evaluar la biomasa vegetal diferenciando sus componentes arriba del suelo, árboles, arbustos y hierbas, y abajo del suelo, raíces. Esta parte de la investigación corresponde a la estimación de la biomasa arriba del suelo de árboles de coníferas y encinos, esto servirá para estimar el carbono asimilado. El objetivo es obtener ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos de la Meseta Central del estado de Chiapas.

## REVISIÓN DE LITERATURA

La biomasa es definida como el conjunto de materia orgánica que conforma un ecosistema presente en los organismos vivos o muertos o partes segregadas por ellos, pero en ningún caso fósil (García, 1982).

El término biomasa vegetal es la suma total de materia orgánica viva de las plantas fotosintéticamente activas en una unidad de área dada, tanto arriba como abajo del nivel del suelo (Garcidueñas, 1987).

En los ecosistemas forestales los principales componentes de la biomasa vegetal son fustes de los árboles, ramas, corteza, follaje, estructuras reproductivas, raíces, no incluyendo ramas ni raíces muertas, y generalmente se expresa en términos de peso verde, seco o de peso seco libre de cenizas (peso orgánico), siendo lo más común referirla a peso seco (Garcidueñas, 1987).

La producción de biomasa vegetal está influenciada por diversos factores tales como clima, especie, edad, calidad de sitio, fertilización, posición sobre la pendiente, elevación, exposición, densidad del rodal, sistema silvícola aplicado, región geográfica, variación genética, año de muestreo, contaminación atmosférica y cambios estacionales, entre otros (Garcidueñas, 1987).

El uso de diferentes técnicas que pueden ser usadas para la estimación de la biomasa en ecología, agricultura o recursos forestales, depende del presupuesto disponible, precisión requerida, estructura y composición de la vegetación, ya sea por especie y componente de la biomasa que se requiera (Catchpole y Wheeler, 1992).

La primera idea para estimar indirectamente el peso de los fustes de los árboles es iniciar con el volumen de la madera y convertirlo a peso, multiplicando el volumen por la densidad (masa por unidad de volumen), utilizando constantes de contenido de humedad (Garcidueñas, 1987).

Otras formas para lograr esa estimación son:

**Muestreo destructivo.** La precisión es alta, pero los costos por unidad de área son altos por el tiempo que lleva localizar, cortar, clasificar, secar y pesar el material de muestra. Es ineficiente en vegetación con características variables. La precisión disminuye cuando se generaliza a grandes áreas.

**Método de intersecciones lineales o planares.** Estima el volumen de la vegetación en vez del peso, y no requiere cortar muestras excepto para verificación. El costo es de alto a moderado y la precisión es moderada. El método ha sido aplicado más comúnmente en madera muerta (Catchpole y Wheeler, 1992).

**Peso estimado.** Su costo es bajo a moderado así como su precisión. La eficiencia depende del observador y la variación espacial de la vegetación. El método es recomendable para herbáceas y pequeños arbustos (Catchpole y Wheeler, 1992).

Otros métodos son peso estimado relativo, comparación de cosechas, interpretación de imágenes de satélite o fotos aéreas, técnicas de muestreo doble. Según el tipo de material al que se aplican, se pueden identificar otros métodos como arbustos y árboles individuales, del árbol medio, del árbol estratificado, método de la unidad de área, de área de copa, método de la proyección del área basal (Catchpole y Wheeler, 1992; Garcidueñas, 1987). Generalmente, estos métodos pueden ser empleados de manera combinada y suelen requerir el ajuste de algunos modelos, lo que se hace mediante regresión.

Los modelos de regresión tienen la siguiente forma general:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon$$

Donde  $Y_i$  = variable dependiente o respuesta,  $X_{ij}$  = variables independientes o regresoras  $\beta_i$  = constantes o parámetros del modelo,  $\varepsilon$  = error aleatorio.

Esta relación genera un plano de regresión en el espacio  $k$  dimensional formado por los  $k$  parámetros del modelo (Ato y López, 1994; Little y Hills, 1989). El método que se emplea para estimar los parámetros de la ecuación se conoce como mínimos cuadrados (Little y Hills, 1989; Ostle, 1965, Ato y López, 1994). El modelo lineal simple, que incluye solamente una variable independiente, es un caso particular. Otros modelos no lineales también se emplean para estimar biomasa, como el alométrico, cuya forma general es:

$$Y_i = \beta_0 X^{\beta_1} \varepsilon^{\beta_2}$$

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos experimentales, se obtuvieron mediante las actividades que ahora se describen. En fotografías aéreas y cartas topográficas 1:50 000 se delimitó el área de estudio, considerando a la Meseta Central arriba de la cota de 1,500 msnm. Posteriormente se delimitaron las áreas arboladas localizando las comunidades más cercanas.

En cuanto al arbolado a trabajar se consideró a los pinos y encinos de la región en las categorías diamétricas de 5 a 9.9, 10 a 19.9, 20 a 29.9, 3 a 39.9, 40 a 49.9 y 50 cm en adelante.

Una vez conseguido el permiso de las autoridades y del dueño del árbol, se procedió a medir el diámetro normal (D), la altura del fuste limpio (AF) y de copa (AC) con clinómetro. A continuación se derribó el árbol procediendo a verificar las mediciones de altura de fuste limpio y altura de copa; el fuste se seccionó de acuerdo a las necesidades del dueño y se obtuvieron rodajas, registrando su altura en el árbol, también se midió altura de tocón y diámetro de tocón. Después se separaron las diferentes partes: fuste limpio, fuste de copa, ramas (mayor de 5 cm de diámetro) y hojas y ramillas (menor de 5 cm de diámetro). Cada una de las partes fue pesada con básculas de 200 y 100 kg +/- 0.5 kg. Cuando no era posible pesar las trozas por ser demasiado grandes, se medía el diámetro a cada metro para calcular el volumen. De las hojas y ramillas se tomó una muestra, para ser llevadas al laboratorio; del fuste se cortaron tres rodajas a diferentes alturas para ser llevadas al laboratorio, a las cuales se les midió diámetro y peso fresco.

Ya en laboratorio, las rodajas fueron pesadas en báscula gravimétrica de 20 kg +/- 1g. El volumen de las rodajas se midió en tres recipientes dependiendo de su tamaño, grande (60 x 52 x 41.5 cm), mediano (40.5 x 215 x 26.5 cm) y chico (30.5 x 14 x 11.5 cm), los tres graduados en milímetros de profundidad. El recipiente era llenado con agua, procurando que el nivel del agua no estuviera a menos de 30 cm de profundidad, donde se tomaba la lectura 1, cuando se introducía la rodaja, se tomaba la lectura 2 (volumen de agua desplazada) y al sacar la rodaja se observaba la lectura 3 (agua absorbida por la rodaja). Al terminar de medir el volumen las rodajas fueron nuevamente pesadas. De las rodajas fue tomada una muestra de aproximadamente 500 g. (en forma de rebanada de pastel), esta muestra se pesó y se introdujo en el recipiente pequeño, previamente llenado con agua y se tomó la lectura 1, para observar el agua desplazada (lectura 2), al sacar la muestra se observó la lectura 3 (agua absorbida por la muestra) y nuevamente se pesó. La muestra se llevó a una caja secadora durante 24 horas y posteriormente a la estufa de secado con una temperatura de 90° +/- 5 durante 48 horas para obtener peso seco constante. Las hojas y ramillas fueron pesadas e introducidas a la estufa de secado durante 48 horas aproximadamente hasta obtener peso seco.

Los datos de campo y de laboratorio fueron ordenados y sistematizados en una hoja del programa Excel 5. Para calcular el peso seco total de hojas y ramillas se obtuvo un factor de secado, el cual se multiplicó por los pesos frescos de las observaciones. El peso seco del fuste limpio se determinó de la siguiente manera: de las muestras de las rodajas se obtuvo el promedio del factor de secado, el que se multiplicó por el peso fresco de fuste; al resultado se le aplicó el factor promedio de la densidad de las rodajas por el volumen de los fustes que no se pudieron pesar. De la

misma forma el peso seco de copa se obtuvo con el factor promedio de factor de secado de rodajas por el peso fresco de fuste de copa y ramas, a esto se le aplicó el factor promedio de densidad de las rodajas por el volumen, en caso de algunos fustes que no se pudieron pesar por ser de grandes dimensiones. El peso seco total, por lo tanto, es la suma de peso seco de hojas y ramillas, peso seco de fuste y peso seco de copa. Los datos fueron ordenados en dos tablas, una para pinos y otra para encinos con las variables de diámetro normal (D), altura total (A), altura de fuste (AF) y altura de copa, como variables independientes; peso seco de fuste (PF), peso seco de copa (PC), peso seco de hojas y ramillas (PHR) y peso seco total (PT), como variables dependientes. Estas tablas fueron exportadas al programa SYSTAT W5 para obtener los modelos matemáticos con regresiones lineales y no lineales.

Los estadísticos considerados para decidir el ajuste de los modelos fueron R2 coeficiente de determinación), R2 ajustada o corregida, suma de cuadrados de los residuales (errores) y la distribución gráfica de los residuales. Se aplicó un diagnóstico del modelo y residuales para detectar observaciones atípicas y observaciones influyentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se midieron 130 árboles: 80 pinos y 50 encinos. En el Cuadro 1 se observa la lista de especies y su distribución diamétrica de los pinos. El Cuadro 2 muestra la lista de especies con las categorías diamétricas de los encinos.

Se ensayaron 33 modelos para estimar el peso de las diferentes partes de los árboles de pino, los más representativos, de acuerdo al mejor ajuste se muestran en el Cuadro 3. Para los encinos se ensayaron 24 modelos, las ecuaciones que tuvieron mejor ajuste se encuentran en el Cuadro 4.

El primer criterio para elegir una ecuación fue el coeficiente de determinación (R2), pero al comparar con la R2 ajustada o corregida en algunas ocasiones presentaba diferencias considerables, por lo que se optó por incluir en la decisión a otro indicador, la suma de cuadrados de los residuales o errores, basándose en que el método empleado para las regresiones es el de mínimos cuadrados; es decir, la ecuación mejor ajustada es la que minimiza los errores. Otro criterio fueron las gráficas de residuales, tomando en cuenta que su distribución fuera la más homogénea y no presentara tendencias. Finalmente, otro criterio fue elegir las ecuaciones con la menor cantidad de variables dependientes, pues algunas ecuaciones alcanzaban mayor valor en el coeficiente de determinación, así como menor valor en la suma de cuadrados de los residuales, pero con un número considerable de regresoras.

CUADRO 1. Frecuencia de los árboles de pino, diámetro y especies, medidos

Especie	Categoría diamétrica (cm)											Total
	10-19.9	20-29.9	30-39.9	40-49.9	50-59.9	60-69.9	70-79.9	80-89.9	90-99.9	100-109.9	110-119.9	
Ayacahuite	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Montezumae	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	1	6
Oocarpa	2	1	3	5	4	1	1	0	0	0	0	17
Pseudostrobus	0	1	2	4	7	0	0	0	0	0	0	14
Oaxacana	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	5
No identificada	3	2	0	2	3	7	16	2	2	0	0	37
Total	7	6	5	14	18	8	17	2	2	0	1	80

CUADRO 2. Frecuencia de los árboles de encino, diámetro y especies, medidos.

Especie	Categoría diamétrica (cm)											Total
	10-19.9	20-29.9	30-39.9	40-49.9	50-59.9	60-69.9	70-79.9	80-89.9	90-99.9	100-109.9	110-119.9	
Crassifolia	3	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	7
Chrysophylla		1	5	3	1	0	1	0	0	0	0	11
Ñaurina		3	4	3	1	2	1	2	0	1	1	17
Rugosa		1	1	5	0	0	0	0	0	0	0	7
No identificada	1	2	2	0	1	1	1	0	0	0	0	8
Total	4	8	12	12	4	3	3	2	1	1	1	50

CUADRO 3. Ecuaciones para estimar biomasa de pinos.

Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	S. de C de residuales
PT = 134.284+0.339 D <sup>2</sup> +0.011D <sup>2</sup> A	0.942	0.942	0.15E+8
PT = 0.084D <sup>2475</sup>	0.972	0.936	017E+8
PF = 112.379+0.023D <sup>2</sup> AF	0.950	0.949	4494904.88
PF = 115.496+0.023D <sup>2</sup> AF+16.291AC	0.956	0.955	3899364.17
PF = 0.06 (D2AF) <sup>0.925</sup>	0.973	0.951	4350712.19
PC = 19.342+0.015D <sup>2</sup> AC	0.845	0.843	8211944.31
PC = 104.036-24.785D+0.659D <sup>2</sup> +20.05AC-0.011D <sup>2</sup> AF	0.909	0.903	4877298.52
PC = 0.044(D <sup>2</sup> AC) <sup>0.911</sup>	0.931	0.850	7921773.21
PHR = 44.213+0.082D <sup>2</sup> -5.211AF-0.002D <sup>2</sup> AF	0.727	0.716	619894.163
PHR = 53.106+0.002D <sup>2</sup> AC+5.786D-9.006 <sup>a</sup> -0.001D <sup>2</sup> A	0.737	0.722	598874.745

CUADRO 4. Ecuaciones para evaluar biomasa de encinos

Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	S. de C de residuales
PT = 287.758+0.026 D <sup>2</sup> A	0.891	0.889	0.185E+08
PT = -630.471+33.423D+0.016D <sup>2</sup> A	0.910	0.906	0.152E+08
PT = -891.35+84.363D-0.706D <sup>2</sup> -48.090 <sup>a</sup> +0.028D <sup>2</sup> A	0.920	0.913	0.136E+08
PT = 0.283(D <sup>2</sup> A) <sup>0.807</sup>	0.954	0.908	0.156E+08
PF = 85.63+0.042D <sup>2</sup> AF	0.924	0.923	1266598.72
PF = - 162.472+6.88D+0.036D <sup>2</sup> AF	0.967	0.966	543403.90
PF = 0.197(D <sup>2</sup> AF) <sup>0.861</sup>	0.963	0.935	1086858.58
PC = 138.196-0.021D <sup>2</sup> AC	0.866	0.864	0.131E+08
PC = 0.128(D <sup>2</sup> AC) <sup>0.855</sup>	0.928	0.975	0.123E+08
PHR = .80.236+7.426D-0.027D <sup>2</sup> -8.952AF-0.001D <sup>2</sup> A	0.678	0.649	105995.22
PHR = 49578+5.631D-7.556AF-0.001D <sup>2</sup> A	0.658	0.636	112459.69

## CONCLUSIONES

Las ecuaciones seleccionadas son:

1. La mejor ecuación para estimar peso total de pinos es

$$PT=0.084D^{2.475}$$

2. Para el peso del fuste de pinos:

$$PF=0.06 (D^2AF)^{0.925}$$

3. Para el peso de la madera de la copa de pinos

$$PC=0.044(D^2AC)^{0.911}$$

4. Para el peso de hojas y ramillas de pinos

$$PHR= 53.106+0.002D^2AC+5.786D-9.006A-0.001D^2A$$

5. Para el peso total de encinos, la ecuación seleccionada es:

$$PT= 0.283(D^2A)^{0.807}$$

6. Para el peso de fuste de encinos.

$$PF= 0.197(D^2AF)^{0.861}$$

7. Para el peso de la madera de la copa de encinos

$$PC=0.128(D^2AC)^{0.855}$$

8. Para el peso de hojas y ramillas de encinos

$$PHR=.80.236+7.426D-0.027D^2-8.952AF-0.001D^2A$$

Las ecuaciones propuestas servirán para estimar la biomasa en peso de los grupos de especie expuestos, que permitirá estimar el carbono asimilado, pues éste representa del 45 al 50 % de la biomasa.

9. Los encinos presentaron mayor variación que los pinos, lo que se refleja en los valores menores del coeficiente de determinación.

## LITERATURA CITADA

- ATO, G.M.; LÓPEZ G. J. 1994. Fundamentos de estadística con SYSTAT. De. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A. E.U.A. 630 p.
- CATCHPOLE, W. C.; WHEELER, C.J. 1992. Estimating plant biomass: A review of techniques. Australian Journal of Ecology 17, 121-131.
- GARCÍA, A. J. 1984. La Biomasa. Revista Ambiente No. 1, año 8 p. 31.
- GARCIDUEÑAS M., A. R. 1987. Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de Pinus Montezumae Lamb. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México.
- LITTLE, T.; HILLS F. 1989. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas. 2da. Ed. México, D.F.
- MONTOYA, G.; SOTO L.; DE JONG B.; NELSON K.; FARIAS P.; TAYLOR J.; TIPPER R. 1995. Reporte del proyecto forestal sustentable: captura de carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabal del estado de Chiapas. Colegio de la Frontera Sur.
- OSTLE, B. 1965. Estadística aplicada. Ed. Limusa. México, D.F.