

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO DE LOS BOSQUES

Bertram Husch

INFORA, Chile

INTRODUCCIÓN

Como resultado de la creciente preocupación sobre el medio ambiente y el calentamiento global, la importancia de los bosques como sumideros de carbono ha ganado mucha prominencia. Esto significa que la mensura forestal debe desarrollar metodologías para la estimación del contenido de carbono de los bosques. Además de la estimación tradicional de madera utilizable en los troncos de los árboles en pie, ahora debemos considerar los árboles completos, vivos y muertos; raíces, tocones, fustes (incluyendo la corteza), ramas y follaje.

Por añadidura, debemos estimar la biomasa en la otra vegetación del bosque: musgos, líquenes, helechos, plantas herbáceas, arbustos, y regeneración de los árboles. A esta cantidad debemos agregar la biomasa de detritus, hojarasca y raíces muertas en el suelo. En resumen, la estimación de la biomasa y contenido de carbono en un ecosistema forestal requiere las siguientes mediciones:

- Un inventario de los árboles en pie. Si existen regresiones de biomasa para el árbol entero (o sus componentes) se pueden estimar pesos directamente de las mediciones de dap y altura de los árboles en las parcelas. De no ser así, sería necesario convertir volúmenes cúbicos a peso, utilizando los resultados de inventarios convencionales y, además, hacer ajustes para incluir la biomasa en tocones, ramas, corteza y follaje.
- Un inventario de la otra vegetación
- Una estimación de la biomasa muerta (necromasa)
- Estimaciones de la biomasa en raíces y en el suelo.

Las técnicas para la estimación de la biomasa de los árboles en pie y otra vegetación no presentan grandes dificultades. Aunque la estimación de necromasa requiere métodos nuevos, tampoco es muy difícil. Lo más complicado es la estimación de la biomasa de raíces y el carbono en el suelo. La inclusión de estos componentes es importante ya que más que una mitad del carbono asimilado en la vegetación de un bosque eventualmente entra en el suelo por medio de la incorporación y pudrición de las hojas caídas, detritus leñoso sobre el suelo y raíces muertas. Varios estudios han indicado que

los suelos generalmente contienen más que una mitad del carbono en un ecosistema forestal. Se puede medir la biomasa en el suelo por medio de muestras tubulares de suelo, calicatas o por excavación y lavado de las raíces. En todo caso, una estimación de la cantidad de carbono en un bosque requiere que inicialmente se estime el peso seco de la biomasa. Después, se estima la cantidad de carbono en este total. Se pueden llevar a cabo estudios específicos para determinar los porcentajes de carbono en los diferentes componentes de la biomasa. En la ausencia de estudios específicos, y basado en previas investigaciones, generalmente se estima que el contenido de carbono varía alrededor de 50 por ciento del peso seco de la biomasa.

LA BIOMASA DE LOS ÁRBOLES

El uso de peso para expresar la cantidad de productos forestales y, ahora, la necesidad de medir la biomasa de rodales, ha impulsado el desarrollo de métodos para estimar el peso de los árboles en pie. Se puede realizar la estimación de peso directamente si existen funciones previamente desarrolladas. Si no existen se puede convertir estimaciones de volúmenes a peso.

Para preparar funciones de peso se utilizan los mismos modelos usados para la construcción de tablas de volumen tales como:

$$\hat{Y}_{wood} = b_0 + b_1 D^2 H$$

$$\hat{Y}_{bark} = b_0 + b_1 D^2$$

$$\hat{Y}_{crown} = b_0 + b_1 \frac{(D^2 H)(LCL)}{1000} + b_2 H$$

Se ha determinado que la mejor función para la biomasa total de un árbol es

$$\hat{Y}_{total} = b_0 + b_1 D^2 H$$

Donde

\hat{Y}_i = peso de componente, Kg

D = dap, cm

H = altura total, m

LCL = largo de la copa viva, m

Un ejemplo es la función desarrollada por Husch (1962) para *Pinus strobus* en el noreste de los EE.UU.

$$W = 11.13 + 0.0479D^2H$$

Donde

W = Peso seco en libras del tronco utilizable, desde el tocón hasta un diámetro superior de 3 Pulgadas

H = Altura total en pies

D = dap, pulgadas

Para obtener los datos básicos se elige una muestra de árboles que cubra el rango de dap y altura. Se tumban los árboles y se los trozan en secciones, Después de registrar el dap, altura, largos y diámetros de secciones éstas se pesan. Se cortan discos de muestras de cada sección para la determinación de su humedad y las proporciones de madera y corteza. De estas mediciones se determinan los pesos verdes y secos de la madera y corteza de las secciones y de los árboles enteros. Utilizando estos datos se lleva a cabo un análisis de regresión. La función resultante permite la estimación del peso de un árbol en pie de su dap y altura.

LA BIOMASA DE OTRA VEGETACIÓN

El método más común para estimar la biomasa de otra vegetación es utilizar pequeñas parcelas de superficies entre 1 m² cuadrado para vegetación menor y parcelas de 4 x 4 metros para arbustos y pequeños árboles. Para la vegetación pequeña y arbustos se pueden cortar y pesar los individuos. En el caso de árboles pequeños es más práctico determinar su volumen y después convertirlo a peso.

LA BIOMASA DE DETRITUS Y HOJARASCA

El detritus leñoso generalmente se divide en porciones gruesas y finas. La porción gruesa consiste de partes de troncos muertos en pie, tocones, trozos y pilas de pedazos de corteza y madera en el suelo. Las cantidades pueden ser determinadas de parcelas de superficies fijas (p.e. desde 0.05 hasta 0.20 ha.). En este caso, se determina el volumen de pedazos grandes del detritus para su posterior conversión a peso. Se pesa el detritus fino directamente en el campo.

Además de parcelas fijas, se han utilizado otros métodos para la estimación de la biomasa de detritus grueso. Un método es el muestreo por líneas (line intersect sampling). En este método se establecen líneas de un largo dado en la zona de interés. Se adelanta en la línea registrando el diámetro y largo de cada pedazo de detritus que corta la línea (se puede medir diámetros en el centro o ambos largos de los pedazos.). De estas mediciones se puede calcular el volumen de cada pedazo y, posteriormente, sumarlos para estimar el volumen para la zona entera.

Otro método para estimar la cantidad del detritus grueso emplea una versión de muestreo con probabilidad proporcional a tamaño (conocido como PPS, Bitterlich, o muestreo por puntos). En este método se utiliza un instrumento que establece un ángulo para decidir si un pedazo de detritus está “dentro” o “fuera”. El ángulo del instrumento determina el factor que multiplicado por el número de pedazos contados como “dentro” indica el volumen por unidad de superficie (p.e. por hectárea)

ESTIMACIÓN DE CARBONO BASADO EN INVENTARIO FORESTAL CONVENCIONAL

Con frecuencia es necesario usar los resultados de un inventario forestal tradicional para contribuir a una estimación de la cantidad de carbono en un bosque. Obviamente, la información de un inventario que tiene el propósito de estimar cantidad de madera, es insuficiente para hacer una estimación de la cantidad total de carbono en un ecosistema forestal. Inventarios de este tipo normalmente expresan el volumen en los troncos principales con valor comercial, ignorando el volumen en los otros componentes de los árboles y otras fuentes de carbono en el ecosistema. En consecuencia, es preciso ajustar la información de un inventario tradicional para incluir la biomasa y carbono de estos componentes. Desde luego, sería posible hacer estudios especiales para estimar directamente estas cantidades. Ya que estudios de este tipo son muy caros generalmente se hacen aproximaciones utilizando factores de expansión.

Para convertir los volúmenes de un inventario en estimaciones de cantidades de carbono se puede utilizar el siguiente procedimiento:

- Convertir volúmenes verdes de un inventario a la biomasa en peso seco
- Estimar el peso de carbono en la biomasa
- Estimar la biomasa y cantidad de carbono por hectárea y la superficie total
- Usar un factor de expansión par incluir otros componentes .

Conversión de volúmenes Verdes a Peso Seco

Para convertir volúmenes verdes de un inventario a biomasa en peso seco se utiliza el siguiente procedimiento:

1. Obtener la densidad específica en kg/m^3 a distintos niveles de humedad por las especies de interés. El Cuadro 1 muestra un ejemplo por 3 especies

Cuadro 1 Densidad Específica por Tres Especies Según % de Humedad
kg/metro cúbico

Especie	Humedad, %						
	120	100	80	60	40	20	12
1	1307	1185	1069	950	832	693	665
2	1052	956	860	765	669	568	535
3	1054	958	862	766	671	575	536

Se pueden obtener los pesos secos en kg/m^3 de la expresión

$$\text{Peso seco (ton./m}^3) = \text{peso verde}(100)/100 + \%\text{humedad}$$

Utilizando esta expresión, los pesos secos a 0% humedad en tons/m^3 son

<u>Especies</u>	<u>Tons/m³</u>
1	.594
2	.478
3	.479

Puede ser conveniente usar un promedio de peso ponderado por los volúmenes de las especies que se encuentran en el bosque.

Estimación del Peso de Carbono en la Biomasa

Se estima el peso de carbono multiplicando el peso de la biomasa por un factor que varía entre 0.45 y 0.55. La cifra indica la proporción de carbono en la material vegetativa. En la ausencia de información específica, generalmente se usa un valor de .50. Otra vez, si información por especie es disponible, se puede calcular un promedio ponderado.

El Cuadro 2 muestra los pesos de carbono por metro cúbico según tres niveles de contenido de carbono por las tres especies.

Cuadro 2. Los Pesos de Carbono por Metro Cúbico Según Tres Niveles de Contenido Carbono por Tres Especies

Especie	Peso seco Tons./m ³	Porcentaje de carbono		
		50	52	55
		Tons. de carbono por m ³		
1	.594	.297	.309	.327
2	.478	.239	.249	.263
3	.479	.240	.249	.264

Estimación de la Biomasa y Cantidad de Carbono por Hectárea y la Superficie Total.

Ahora se puede calcular los pesos secos por metro cúbico de madera y carbono según diferentes volúmenes por hectárea. El Cuadro 3 es un ejemplo de estos valores según distintos volúmenes por hectárea

Cuadro 3. Los Pesos Secos por Metro Cúbico de Madera y Carbono Según Diferentes Volúmenes por Hectárea

Volumen por Ha. m ³	Equivalencia en Tons.de Madera Seca por Ha.Según Tons. por m ³ de:			Contenido de Carbono en Tons./Ha Suponiendo 50% de carbono de Madera Seca. A tons./m ³ de:		
	.450	.500	.550	.450	.500	.550
100	45.0	50.0	55.0	22.5	25.0	27.5
150	67.5	75.0	82.5	33.7	37.5	41.2
200	90.0	100.0	110.0	45.0	50.0	55.0
250	112.5	125.0	137.5	56.3	62.5	68.8
300	135.0	150.0	165.0	67.5	75.0	82.5

Se puede utilizar este procedimiento para convertir los volúmenes por hectárea y total de inventarios forestales a peso seco de madera y peso de carbono.

Uso de Factor de Expansión

Para incluir el peso de los otros componentes de la biomasa (ramas, follaje, raíces, otra vegetación y detritus sobre el suelo) en las estimaciones, generalmente se multiplican los pesos convertidos de un inventario por un factor de expansión. Desde luego, sería posible llevar a cabo estudios para determinar directamente estas cantidades. En el interés de reducir costos y tiempo, y hacer aproximaciones aceptables, normalmente se aplican factores de expansión desarrollados en otros estudios. Estos estudios han preparado relaciones alométricas indicando que los factores de expansión varían de 1,3 hasta 2,5 dependiendo de las especies, la edad del bosque, el dap promedio del rodal, y la cantidad de la necromasa. Como un ejemplo, el Cuadro 4 muestra el contenido de carbono por hectárea empleando un factor de expansión de 1,9

Cuadro 4. Estimación del Contenido de Carbono por Hectárea con un Factor de Expansión de 1,9

Volumen por Hectárea, m ³	Contenido Total de Carbono en Tons. por Hectárea Suponiendo 50% Carbono en Madera Seca A tons./m ³ de:		
	.450	.500	.550
100	42.7	47.5	52.3
150	64.3	71.3	78.3
200	85.5	95.0	104.5
250	107.0	118.7	130.7
300	128.3	142.5	156.7

REFERENCIAS

- Aarcos, A., E. Alvarado, and D.V. Sandberg. 1996. Volume estimation of large woody debris with a stereoscopic vision technique. 13th Fire and Forest Meteorology Conference. Lorne, Australia.
- Brown, J.K. 1974. Handbook for inventorying downed woody material. USDA Forest Service. Gen. Tec. Rep INT-16. September. Intermt. For. and Range Exp. Sta. Ogden, Utah
- Brown. S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International, Arlington, Virginia.
- Cairns, M.A., S.Brown, E.H.Helmer, and G.A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11
- Clark, A. 1979. Suggested procedures for measuring tree biomass and reporting tree prediction equations. In Workshop Proceedings: Forest Resource Inventories. Pp.615-628. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. July 23-26, 1979.
- Cody, J.B. 1976. Merchantable weight tables for New York State red pine plantations. College of Environ. Sci. and Forestry, Syracuse, New York. Applied For. Res. Inst. Note 23.
- FIA. 2001. Phase 3 Field Guide-Down Woody Debris and Fuels. Forest Inventory and Analysis. USDA, Forest Service. Washington, D.C.
- Gove, J.H., M.J. Ducey, G. Ståhl, and A. Ringvall. 2001. A new way to assess downed coarse woody debris. *Jour. Forestry* 99(4):4-11. April.
- Harmon, M.E. 2001. Carbon sequestration in forests. *Jour. Forestry* 99(4):24-29. April.
- Harmon, M.E., and Jay Sexton. 1996. Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. US LTER Publication No. 20. US LTER Network Office. Univ. of Washington. Seattle, Washington,
- Hitchcock, H.C., and J.P. McDonnell. 1979. Biomass measurement: a synthesis of the literature. In Workshop Proceedings: Forest Resource Inventories. Pp 544-595. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. July 23-26, 1979.
- Husch, B. 1962. Tree weight relationships for white pine in southeastern New Hampshire. Univ. New Hampshire Agric. Exp. Sta. Tech. Bull. no. 106
- Johnsen, K.H., D. Wear, R. Oren, R.O. Teskey, F. Sanchez, R. Will, J. Butnor, D. Markewitz, D. Richter, T. Rials, H.L. Allen, J. Seiler, D. Ellsworth, C. Maier, G. Katul, and P.M. Dougherty 2001. Carbon sequestration and southern pine forests. *Jour. Forestry* 99(4):14-20. April.
- MacDicken, K. G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agro forestry projects. Winrock International Institute for Agricultural Development. Arlington, Virginia.
- O'Brien, R., and D.D. Van Hooser. 1983. Understory vegetation inventory: an efficient procedure. USDA Forest Service. Intermt. For. and Range Exp. Sts. Res. Paper INT-323.
- Parresol, B.R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Sci.* 45(4):573-594

- Post, W.M., R.C. Izaurralde, L.K. Mann, and N. Bliss. 1999. Monitoring and verification of soil organic Carbon sequestration. In: Symposium: Carbon sequestration in soils science, monitoring and beyond December 3-5. St. Michaels, Maryland.
- Schreuder, P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey, and C. Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. For. Sci. 43(3):424-434. August.
- Schroeder, J.G., M.A. Taras, and A. Clark. 1975. Stem and primary products weights for longleaf pine sawtimber trees. U.S.F.S. For. Exp. Sta. Res. Pap. SE-139
- Southern Forest Experiment Station. 1959. Techniques and methods of measuring under story vegetation Proceeding Symposium, Tifton, Georgia. October 1958.
- Veiga, R.A.A., M.A.M. Brasil, and C.M. Carvalho. 2000. Aboveground biomass equations for 7-year-old *Acacia mangium* Willd in Botucatu, Brasil. In: Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Proceedings of IUFRO Conference, Boise, Idaho, Aug. 16-20, 1998. USDA Forest Service North Central Res. Sta. GTR NC-212. St. Paul, Minn.
- Wharton, E. H., and D. M. Griffith. 1998. Estimating total forest biomass in Maine, 1995. USDA Forest Service. Northeast. For. Res. Sta. Resource Bull NE-142