

# Modelos preliminares para la estimación de biomasa para diez especies nativas de la zona atlántica de Costa Rica

Luis A. Ugalde Arias, CATIE, Costa Rica; Florencia Montagnini, Yale University, U.S.A.  
Carlos R. Reiche, Consultor privado, Costa Rica

## INTRODUCCIÓN

La Escuela Forestal y de Estudios del Medio Ambiente de la Universidad de Yale mantiene proyectos a nivel internacional en colaboración con instituciones como OTS (Organización para Estudios Tropicales) y el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), dedicadas al estudio y la promoción de usos sustentable de la tierra, y la rehabilitación ecológica de áreas degradadas. Desde 1989 se ha estado trabajando en colaboración con la OTS y el CATIE en regiones de bosque húmedo de Costa Rica, con el fin de promover el uso de especies arbóreas nativas de valor económico para la reforestación y los sistemas agroforestales. En la zona Atlántica del país fueron establecidos tres experimentos con 12 especies nativas en parcelas mixtas y puras, en un área de pastos abandonados, con suelos pobres, con el objetivo de comparar las tasas de crecimiento bajo condiciones de parcelas mixtas y puras, con miras a crear modelos de desarrollo de plantaciones para pequeños agricultores. También se estudiaron los efectos de las plantaciones sobre la regeneración natural, los daños causados por plagas, la biomasa y acumulación de carbono, y los costos de establecimiento de las plantaciones (2, 8, 9, 13).

Estos tres experimentos se han seguido midiendo con el fin de generar información de crecimiento, y cuantificar la producción de biomasa a mayores edades. En la actualidad se ha logrado revisar la información de estos experimentos y almacenarla en el Sistema de Manejo de Información sobre Recursos Arbóreos, conocido como MIRA-SILV (14); la base de datos incluye 10 fechas de mediciones hasta los 120 meses (10 años) de edad.

Recientemente se confirmó el potencial de varias de esas especies a edades entre 6 y 11 años, plantadas en diferentes condiciones de sitio en la zona de Sarapiquí. En este trabajo se presentan los resultados del desarrollo de modelos matemáticos para la estimación de diferentes componentes de biomasa, para 10 de las especies que han demostrado mejor crecimiento y adaptabilidad en la zona de Sarapiquí (11).

## DESCRIPCIÓN DEL SITIO Y EL DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tres experimentos fueron establecidos en un área de pastos abandonados en la Estación Biológica La Selva de la OTS, con una altitud media de 50 m, temperatura media anual de 24 °C, y precipitación media anual de 4000 mm. El sitio experimental es

un terreno llano y uniforme. Los suelos del sitio experimental se clasifican como Fluvéntic Dystropepts derivados de aluviones volcánicos, profundos, bien drenados, sin rocosidad, con contenido de materia orgánica media a baja, textura moderadamente pesada, y generalmente ácidos e infértiles (12). El sitio se deforestó a mediados de la década de los 50 y fue usado para el pastoreo de ganado hasta 1981 (10).

Las especies fueron combinadas de manera de tener diferentes patrones de ramificación y de tamaño y forma de la corona. Los criterios utilizados en la selección de especies arbóreas de este estudio fueron: la tasa de crecimiento, valor económico y preferencia de los agricultores (1), la presencia de nódulos en las raíces de especies leguminosas, los impactos sobre la fertilidad del suelo y reciclaje de nutrientes (4, 5, 6, 7, 8, 9) y la disponibilidad de plántulas. Los experimentos fueron establecidos en bloques completos al azar, con cuatro réplicas y seis tratamientos: cuatro parcelas de especies puras para cada especie, una parcela de especies mixtas (con las cuatro especies), y una parcela de regeneración natural. La distancia de plantación inicial fue de 2 m x 2 m, con el fin de acelerar el cierre del dosel y obtener impactos tempranos sobre los suelos. Cada parcela fue de 32 m x 32 m, con un total de 256 árboles cada una. Cada bloque fue de 64 m x 96 m; y cada experimento tenía 96 m x 256 m, con un área de 24,576 m<sup>2</sup>, aproximadamente 2.5 hectáreas.

## **METODOLOGÍA DE MUESTREO Y MEDICIÓN**

Para la medición de los diferentes componentes de biomasa, se realizó un muestreo de árboles por especie, utilizando clases diamétricas con un rango de 2 cm. hasta alcanzar el mayor DAP posible, dentro de las parcelas de cada especie y en las diferentes repeticiones del experimento. En total se cosecharon 79 árboles, la corta de los árboles y la medición de la biomasa se realizó a los 100 meses (8.3 años) de edad. Para cada árbol cortado se procedió a separar y medir la biomasa con una báscula en Kg. Los componentes de biomasa fueron peso de follaje, peso de ramas, peso de fuste y peso total. Se probaron diferentes modelos lineales y no lineales, tanto para la relación altura total - DAP, como para las estimaciones de los diferentes tipos de biomasa. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SYSTAT. Para los modelos no lineales las estimaciones se utilizaron por medio de los cuadrados mínimos y el método de Gauss-Newton.

## **RESULTADOS**

Se seleccionaron varios modelos para la estimación de diferentes tipos de biomasa (cuadros 1, 2, 3).

## **CONCLUSIONES**

Los modelos no lineales desarrollados presentan un buen ajuste para predecir la biomasa del fuste, ramas y follaje para las 10 especies estudiadas. Se recomienda la utilización de estos modelos para estas especies, en condiciones de sitio, edad y de crecimiento similares a las de este estudio. Para este fin, se pueden considerar, como referencia, los rangos de DAP, Altura total, y la relación altura total con DAP para cada una de las especies. Es importante en el futuro, poder complementar y ajustar nuevos modelos para árboles con mayores edades.

**Cuadro 1. Modelos seleccionados para la estimación de diferentes componentes de biomasa en el Experimento 1.**

Nombre Científico	Tipo de Biomasa	Modelos	R <sup>2</sup>
<i>Calophyllum brasiliense</i> (7 árboles)	Peso de follaje	PFO = 10.437 + 0.003 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.225 * ALTOT	0.989
	Peso de ramas	PRA = -5.597 + 0.003 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.105 * ALTOT	0.984
	Peso de fuste	PFU = -52.798 + 0.006 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.288 * ALTOT	0.995
	Peso total	PTO = -47.958 + 0.011 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.042 * ALTOT	0.995
<i>Vochysia guatemalensis</i> (10 árboles)	Peso de follaje	PFO = 57.246 + 0.001 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.377 * ALTOT	0.952
	Peso de ramas	PRA = 50.365 + 0.001 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.376 * ALTOT	0.601
	Peso de fuste	PFU = -90.130 + 0.007 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.394 * ALTOT	0.997
	Peso total	PTO = -39.480 + 0.008 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.044 * ALTOT	0.994
<i>Jacaranda copaia</i> (8 árboles)	Peso de follaje	PFO = -0.576 + 0.000 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.018 * ALTOT	0.595
	Peso de ramas	PRA = 235.282 + 0.000 * (DAP <sup>2</sup> ) - 1.030 * ALTOT	—*
	Peso de fuste	PFU = -32.157 + 0.004 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.178 * ALTOT	0.973
	Peso total	PTO = -28.227 + 0.005 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.124 * ALTOT	0.966

\* No se contó con valores suficientes para un buen ajuste con el peso de ramas.

**Cuadro 2. Modelos seleccionados para la estimación de diferentes componentes de biomasa en el Experimento 2.**

Nombre Científico	Tipo de Biomasa	Modelos	R <sup>2</sup>
<i>Virola koshnyi</i> (9 árboles)	Peso de follaje	PFO = -15.801 + 0.000 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.120 * ALTOT	0.958
	Peso de ramas	PRA = -10.356 + 0.001 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.022 * ALTOT	0.990
	Peso de fuste	PFU = -44.540 + 0.005 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.272 * ALTOT	0.970
	Peso total	PTO = -70.697 + 0.007 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.415 * ALTOT	0.966
<i>Dipteryx panamensis</i> (6 árboles)	Peso de follaje	PFO = -12.343 + 0.002 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.028 * ALTOT	0.995
	Peso de ramas	PRA = -7.342 + 0.003 * (DAP <sup>2</sup> ) - 0.085 * ALTOT	0.943
	Peso de fuste	PFU = -3.278 + 0.014 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.366 * ALTOT	0.997
	Peso total	PTO = -22.964 + 0.019 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.423 * ALTOT	0.999
<i>Terminalia amazonia</i> (8 árboles)	Peso de follaje	PFO = -0.091 + 0.001 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.033 * ALTOT	0.964
	Peso de ramas	PRA = -7.818 + 0.002 * (DAP <sup>2</sup> ) - 0.050 * ALTOT	0.944
	Peso de fuste	PFU = -87.109 + 0.009 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.314 * ALTOT	0.999
	Peso total	PTO = -123.565 + 0.011 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.709 * ALTOT	0.995

**Cuadro 3. Modelos seleccionados para la estimación de diferentes componentes de biomasa en el Experimento 3.**

Nombre Científico	Tipo de Biomasa	Modelos	R <sup>2</sup>
<i>Genipa americana</i> (6 árboles)	Peso de follaje	PFO = -1.135 + 0.001 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.056 * ALTOT	0.989
	Peso de ramas	PRA = 8.869 + 0.004 * (DAP <sup>2</sup> ) - 0.426 * ALTOT	0.983
	Peso de fuste	PFU = -28.406 + 0.006 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.143 * ALTOT	0.996
	Peso total	PTO = -20.672 + 0.011 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.339 * ALTOT	0.994
<i>Vochysia ferruginea</i> (10 árboles)	Peso de follaje	PFO = -3.293 + 0.001 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.019 * ALTOT	0.966
	Peso de ramas	PRA = 209.632 + 0.002 * (DAP <sup>2</sup> ) - 1.542 * ALTOT	0.991
	Peso de fuste	PFU = -512.872 + 0.003 * (DAP <sup>2</sup> ) + 3.746 * ALTOT	0.941
	Peso total	PTO = -306.533 + 0.006 * (DAP <sup>2</sup> ) + 2.185 * ALTOT	0.971
<i>Hyeronima alchorneoides</i> (8 árboles)	Peso de follaje	PFO = -8.474 + 0.000 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.074 * ALTOT	0.910
	Peso de ramas	PRA = 86.995 + 0.001 * (DAP <sup>2</sup> ) - 0.315 * ALTOT	0.785
	Peso de fuste	PFU = -138.665 + 0.010 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.522 * ALTOT	0.991
	Peso total	PTO = -60.144 + 0.011 * (DAP <sup>2</sup> ) + 0.282 * ALTOT	0.995
<i>Pithecellobium elegans</i> (7 árboles)	Peso de follaje	PFO = 4.312 + 0.001 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.087 * ALTOT	0.980
	Peso de ramas	PRA = 2.962 + 0.002 * (DAP <sup>2</sup> ) - 0.263 * ALTOT	0.981
	Peso de fuste	PFU = -24.824 + 0.007 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.172 * ALTOT	0.995
	Peso total	PTO = -17.549 + 0.010 * (DAP <sup>2</sup> ) + -0.521 * ALTOT	0.993

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHUDNOFF, M. 1984. Tropical timbers of the world. USDA Forest Service, Agricultural Handbook 605, Washington, DC.
2. GUARIGUATA, M., RHEINGANS, R., MONTAGNINI, F. 1995. Early Woody Invasion Under Tree Plantations in Costa Rica: Implications for Forest Restoration. *Restoration Ecology*, Vol. 3 No. 4: 252-260.
3. HOLDRIDGE, L.R.; POVEDA, L.J. 1975. *Arboles de Costa Rica*. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica. 546 p.
4. MONTAGNINI, F.; SANCHO, F. 1990. Impacts of native trees on tropical soils: a study in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Ambio*, 19(8):386-390.
5. MONTAGNINI, F. 1992. Mixed-tree plantations: experiments with native trees in Costa Rica and Argentina. *Agroforestry Today* 4(3):4-6.
6. MONTAGNINI, F., SANCHO, F., GONZALEZ, E., MOULAERT, A. 1993. El uso de especies maderables nativas en plantaciones mixtas para la reforestación de terrenos degradados: resultados preliminares de experiencias en la llanura del Atlántico de Costa Rica. Memoria, 10-12 Noviembre, 1993. VII Jornadas Técnicas: Ecosistemas Forestales Nativos: Uso, Manejo y Conservación. Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales. Eldorado, Misiones, Argentina. pp. 190-210.
7. MONTAGNINI, F. Y SANCHO, F. 1993. Nutrient budgets of young plantations with native trees: strategies for sustained management. En: W. Bentley and M. Gowen (eds.). *Forests and Wood-Based Biomass Energy as Rural Development Assets*. Proceedings of a workshop held in Old Saybrook, CT, USA, February 23-27, 1992. Winrock Int. Inst. Agric. Develop.
8. MONTAGNINI, F., GONZALEZ, E., PORRAS C., RHEINGANS, R. 1995. Mixed and pure forests plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. *Commonwealth Forestry Review*, 74 (4): 306-314.
9. MONTAGNINI, F., SANCHO, F., GONZÁLEZ, E., PORRAS, C., MOULAERT, A. AND DEL MÓNACO, A. 1997. Plantaciones forestales puras y mixtas con especies nativas para la reforestación de terrenos degradados en Costa Rica: estudio comparativo del crecimiento, daños por plagas, regeneración natural y costos de establecimiento. *Biocenosis (Costa Rica)* 12 (1): 25-34.
10. PIERCE, S.M. 1991. Environmental history of the La Selva Biological Station: how colonization and deforestation of Sarapiquí canton, Costa Rica have altered the ecological context of the station. En: H. K. Steen and R.P. Tucker (Editors), *Changing tropical forests: Historical perspectives in today's challenges in Central and South America*. Forest History Society, Durham, NC., USA. En prensa.
11. PIOTTO, D. 2001. Plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua: comportamiento de las especies y preferencias de los productores. Tesis de maestría. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 130 p.
12. SANCHO, F. Y MATA, R. 1987. Estudio detallado de suelos. Estación Biológica La Selva. Organización para Estudios Tropicales, San José, Costa Rica, 162 p.
13. SHEPHERD, D. AND MONTAGNINI, F. 2001. Carbon Sequestration Potential in Mixed and Pure Tree Plantations in the Humid Tropics. *Journal of Tropical Forest Science* 13(3): 450-459.
14. UGALDE, A. L. 2001. El sistema MIRA, Componente de Silvicultura. Manual del usuario. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 82 p.