

# Evaluación de la oferta de residuos de biomasa de guadua para propósitos energéticos en el Eje Cafetero de Colombia

Juan Carlos Camargo García<sup>1</sup>, Ángela María Arango Arango<sup>2</sup>, Miguel Ángel Amezcuita Berjan<sup>3</sup>

## Resumen

Se evaluó el potencial de producción de residuos en bosques de guadua (*Guadua angustifolia*) de la zona cafetera de Colombia, como posible fuente de biomasa para la producción de energía. El estudio se realizó en una finca con 26 ha de bosques de guadua, donde se simularon escenarios de manejo con dos regímenes de cosecha (25% y 12%). Con la información de un inventario realizado en el año 2002, se estimaron las existencias de culmos secos y se realizó una proyección de la biomasa seca disponible a nivel regional: 2,9 t/ha/año para la finca y 176.400 t/año para la zona cafetera. Estos resultados muestran el potencial de producción de biomasa que se podría obtener de estos bosques bajo manejo, sin poner en riesgo la utilización para otro tipo de productos, ni acelerar su degradación por sobre-explotación.

**Palabras clave:** *Guadua angustifolia*; culmo; bosques; ordenación forestal; residuos de explotación forestal; generación de energía; biomasa; Colombia.

## Abstract

**Assessing supply of bamboo biomass waste from the Colombian coffee region for energy purposes.** The potential production of *Guadua angustifolia* waste in the Colombian coffee region was assessed as a source of biomass for energy production. The study was carried out in a 26 ha guadua forest, and two harvest sceneries were simulated (25% and 12%). Also, basing on the information of a bamboo inventory carried out in 2002, the biomass stocked in dry culms was estimated and projections were extrapolated at a regional level; 2,9 t/ha/year at site-level and 176.400 t/year for the coffee region. These results showed the potential of biomass production for energy purposes in guadua forests under management, neither jeopardizing production for other uses nor accelerating its degradation by over-exploitation.

**Keywords:** *Guadua angustifolia*; culm; forests; forest management; logging residues; power generation; biomass; Colombia.

1 Profesor Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira. [jupipe@utp.edu.co](mailto:jupipe@utp.edu.co)

2 Investigadora, Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira. [amarango@utp.edu.co](mailto:amarango@utp.edu.co)

3 Investigador, Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira. [maamezcuita@utp.edu.co](mailto:maamezcuita@utp.edu.co)

## Introducción

La necesidad actual de encontrar fuentes alternas para la generación de energía ha llevado a evaluar las posibilidades de utilización de biomasa proveniente de residuos agrícolas y forestales; sin embargo, a pesar de su potencial, la información disponible en cada caso varía considerablemente. En la búsqueda de fuentes de energía no convencionales, la biomasa podría llegar a ser una fuente de energía principal y con menores emisiones a la atmósfera (Berndes et al. 2003, Hall y Scrase 1998, Hall 1997).

Entre los residuos del manejo forestal utilizados como fuentes de energía se han incluido especies de pino y eucalipto (Granada et al. 2006), aunque es posible utilizar muchas otras especies. Las especies de bambú, por ejemplo, son una opción interesante debido a su rápido crecimiento (Zehui et al. 2012, Xiao et al. 2007), cantidad de biomasa producida y bajo costo (Barathi 2011).

En el ámbito mundial, el bambú cubre un área de algo más de 36 millones de hectáreas (Lobovikov et al. 2007), que es poco representativa con respecto a la cobertura de bosques. Sin embargo, su patrón de crecimiento y el hecho de que la cosecha no se hace a tala rasa garantizan la permanencia del bambú (Camargo 2006) y, además, significan ventajas con respecto a las plantaciones forestales cuyos turnos demoran largos periodos, aun en el trópico (mínimo siete años; por lo general entre 15 y 20 años según especie y uso), aparte de que se debe volver a plantar después de la cosecha.

En Colombia la especie de bambú más importante en términos comerciales es *Guadua angustifolia* (guadua), cuyo uso se ha venido incrementando durante los últimos años (Muñoz et al. 2010). La zona cafetera es donde tradicionalmente se le ha dado más manejo a este

recurso y donde las condiciones ecológicas y socioeconómicas brindan mejores posibilidades para su aprovechamiento (Camargo et al. 2006). En esta zona se estiman unas 28.000 ha de bosques dominados por esta especie (Kleinn y Morales 2006), lo cual representa un recurso importante para la obtención de materia prima para diferentes aplicaciones.

El uso actual de los guaduales genera residuos que no son utilizados. Con este estudio se evaluó el potencial de producción de residuos en bosques de guadua bajo manejo en la zona cafetera de Colombia, los cuales podrían emplearse para la generación de energía.

### Producción de biomasa a nivel de finca

El estudio se realizó en la finca Yarima, localizada en Pereira, a 1150 msnm. El sitio tiene una precipitación promedio de 2500 mm anuales y una temperatura media de 24°C y suelos inceptisoles ligeramente ácidos. La finca posee un área de 26 ha de bosques de guadua. Inicialmente se realizó un inventario mediante diseño estratificado (Akca 2000) y se colectó información en 40 parcelas. Para el propósito de este trabajo se puso énfasis en la estructura de los culmos de guadua según madurez, número total de culmos y diámetro medido en el internudo a la altura del pecho (Camargo 2006).

Se evaluaron dos escenarios de manejo según régimen de cosecha anual (intensidad del 25% y 12% del total de tallos comerciales maduros y sobremaduros). Para evaluar la dinámica de los bosques de guadua a lo largo del tiempo se hicieron simulaciones con el paquete informático Silvcamark 1.1 para determinar cambios en la estructura en un periodo de 20 años (Morales 2005). Simultáneamente, para calcular la biomasa de residuos, se colectó información acerca de las labores de cosecha realizadas en la finca. Este cálculo se basó en la cantidad

de culmos secos cosechados y la biomasa dejada en el bosque (hojas, ramas y partes de culmo) después de obtener las piezas comerciales; para el cálculo se utilizaron los factores ofrecidos por Arango y Camargo (2010).

### Estimación del potencial a nivel regional

Se consideró información del inventario realizado por Camargo (2006) en la zona cafetera de Colombia, así como la proporción de culmos secos encontrados en este estudio. Además, a partir de los valores registrados a nivel regional por Klein y Morales (2006), se calculó la biomasa a partir del volumen y la densidad de los culmos y se estimó la oferta de biomasa a nivel regional. Para incluir algunas posibles variaciones en la productividad de los guaduales, se estimó la biomasa de culmos secos en áreas de alta productividad (Camargo et al. 2006) en los departamentos que conforman el Eje Cafetero de Colombia.

## Resultados y discusión

### Producción de biomasa a nivel de finca

Los resultados del inventario realizado en la finca Yarima determinaron que los bosques de guadua tienen una densidad total promedio de 5211 culmos/ha, valor inferior a la media de 6284 culmos/ha registrada para el Eje Cafetero (Camargo 2006) y que seguramente es el resultado del manejo continuo de estos bosques desde hace más de 50 años.

La productividad promedio por culmo fue de dos piezas comerciales de 6 m cada una; esto representa un rendimiento promedio de 1,4 t/ha con el escenario 1 (intensidad de cosecha del 25%) y 0,8 t/ha con el escenario 2 (intensidad de cosecha del 12%), para el periodo de 20 años. A esta biomasa comercial se le adiciona el total de la biomasa de hojas y ramas: 0,5 t/ha con el esce-

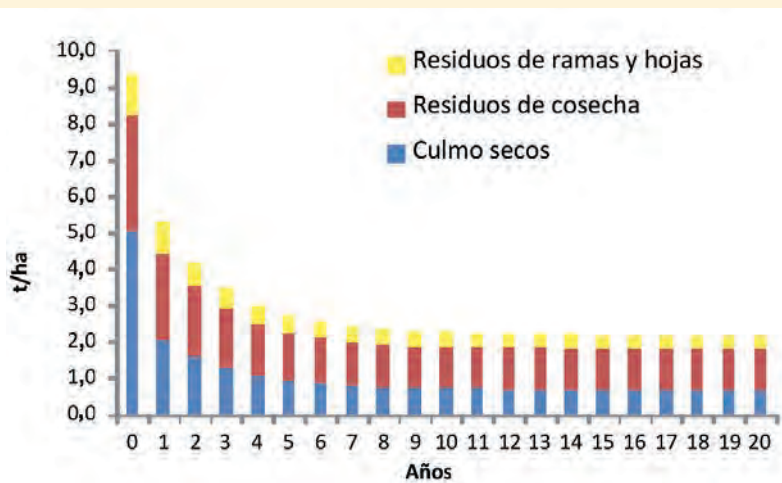
nario 1 y 0,3 t/ha con el escenario 2. Para obtener el total de residuos se incluyen también los culmos secos: 107 culmos/ha/año (1,1 t/ha/año de biomasa seca) con el escenario 1 y 175 culmos/ha/año (1,8 t/ha/año de biomasa seca) con el escenario 2. La proporción promedio de residuos/biomasa estimada por culmo fue del

37% del total. Los valores a lo largo de los 20 años y con los dos escenarios se muestran en las Figuras 1 y 2.

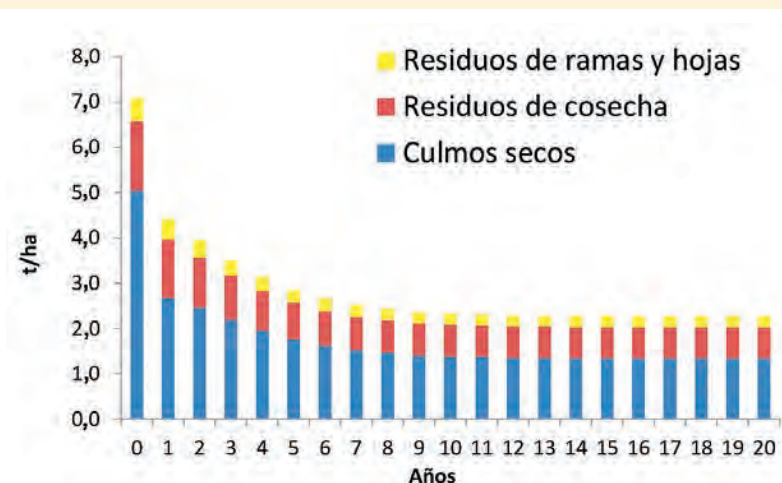
Estos valores de biomasa por hectárea son comparables con aquellos registrados para otras especies de bambú. Hunter y Junqi (2002) estimaron que los residuos de hojas de diferentes especies de bambú se

encuentran entre 0,09 y 11,8 t/ha y según López (2008), las ramas de *Bambusa vulgaris* alcanzan un peso promedio de 2,6 t/ha. En el caso de los árboles, Bertrán y Morales (2008) determinaron que el porcentaje de residuos sólidos sin corteza provenientes del aprovechamiento forestal en Chile se puede estimar en unas 93,50 t/ha.

La producción de residuos registrada con ambos escenarios se complementa con una producción media de culmos comerciales para uso industrial de 371 culmos/ha/año y 220 culmos/ha/año con los escenarios 1 y 2, respectivamente. Con el escenario 1, la cantidad total de culmos vivos cae a unos 2800 culmos/ha después del cuarto año, lo que hace muy vulnerable el bosque a eventos climáticos extremos. Con el escenario 2, el comportamiento del bosque es más favorable ya que se mantiene un estado adecuado de equilibrio. Lo anterior concuerda con la dinámica descrita por Morales (2004) y Camargo et al. (2008) para bosques de guadua del Eje Cafetero.



**Figura 1.** Potencial de residuos de biomasa seca (t/ha) en bosques de guadua de la finca Yarima en Pereira, Colombia. Escenario 1: intensidad de aprovechamiento del 25% de culmos comerciales cosechados cada año.



**Figura 2.** Potencial de residuos de biomasa seca (t/ha) en bosques de guadua de la finca Yarima en Pereira, Colombia. Escenario 2: intensidad de aprovechamiento del 12% de culmos comerciales cosechados cada año.

#### Estimación del potencial a nivel regional

Según Camargo (2006), la proporción media de culmos secos en los bosques evaluados es del 5%; o sea que se pueden encontrar en promedio 314 culmos secos/ha. La biomasa seca total, considerando la densidad de culmos y su volumen neto, equivaldría a 6,3 t/ha y representaría el promedio total de biomasa de culmos secos. Si este valor se extrapola al área total estimada, se podría decir que en los bosques de guadua del Eje Cafetero existe un total de biomasa de culmos secos equivalente a 176.400 t. Esta cantidad podría ser extraída para la generación de energía; además, en términos de manejo del guadua, esta es una práctica adecuada (Camargo et al. 2008). Según los periodos de madurez y tiempos de paso (tiempo que tarda un culmo para pasar de

un estado de madurez a otro), una buena proporción de culmos llega al estado seco cada año en los bosques de guadua, incluso bajo aprovechamiento, y podrían aprovecharse con propósitos energéticos.

Las diferencias entre los valores de culmos secos estimados por Camargo (2006) y los encontrados en el caso de estudio tienen que ver con el manejo constante que reciben los guaduales en Yarima, lo cual hace que el porcentaje de culmos secos sea mucho menor, ya que se eliminan como parte del buen manejo silvicultural. La mayoría de los bosques de guadua inventariados por Camargo (2006) solo reciben un manejo de tipo doméstico que implica menor intensidad y frecuencia de cosecha, lo que conlleva a mayor número de culmos secos.

En los bosques de guadua del Eje Cafetero pueden darse variaciones importantes; por ello, una extrapolación basada en la homogeneidad de, por ejemplo, el número total de culmos por hectárea podría llevar a conclusiones erradas. En el Eje Cafetero, las densidades oscilan entre 1300 culmos/ha y 15.700 culmos/ha (Camargo 2006), aunque los porcentajes a los que corresponden estos valores extremos son realmente muy bajos (menos del 4%).

Una forma de expresar los resultados, considerando ciertas variaciones, es utilizar información puntual sobre los núcleos de alta productividad definidos por Camargo et al. (2006) en los departamentos que conforman la región del Eje Cafetero. El Cuadro 1 mues-



Foto: Grupo GATA

Culmos de guadua cosechados en la finca Yarima, Eje Cafetalero de Colombia

tra que la biomasa de culmos secos cambia con el área total, el número total de culmos y la proporción de culmos secos. Como se mencionó previamente, esto tiene que ver con el manejo: a mayor intensidad y frecuencia de manejo, menor probabilidad de encontrar culmos secos.

La posibilidad de utilizar esta biomasa con fines energéticos -elaboración de *pellets*, por ejemplo- depende inicialmente de la oferta de residuos pero, además, es necesario hacer algunas evaluacio-


nes. Por ejemplo, en lo tecnológico hay que considerar los métodos de torrefacción y los problemas que se podrían presentar por el alto contenido de álcali en los culmos (Scurlock et al. 2000, Lobovikov et al. 2007), o el poder calorífico de la guadua -18,75 MJ/kg según Daza et al. (2013)-. De otro lado, se requiere hacer una evaluación de tipo socioeconómico para determinar los costos de producir energía a partir de esta materia prima y las implicaciones o beneficios sociales que se podrían alcanzar.

**Cuadro 1.** Características de núcleos de alta productividad en la región del Eje Cafetero de Colombia y estimación de la biomasa de culmos secos

Departamento	Bosques de guadua (ha)	Total de culmos/ha	Total de culmos secos/ha	Biomasa equivalente de culmos secos (t/ha)	Biomasa total de culmos secos/área
Risaralda	1354	8233	556	11,2	6213,6
Quindío	2806	5090	343	6,9	2364,7
Valle del Cauca	332	4933	100	2,0	201,0
Caldas	196	6607	430	8,6	3716,0

Fuente: Adaptado de Camargo et al. (2006)

## Conclusiones

La biomasa de los residuos de guadua tiene un potencial importante como fuente energética, el cual se complementa con otros beneficios que aportan estos bosques cuando son manejados. Bajo un esquema de manejo adecuado sería factible obtener biomasa para energía, materia prima para otras aplicaciones y mantener el bosque con sus beneficios ecológicos asociados. Los resultados de este estudio, a partir de dos escenarios de aprovechamiento, deben ser considerados como una aproximación que implica un porcentaje de error y, por lo tanto, se deben tomar con cautela. En este sentido, la extrapolación de la información es también una aproximación a lo que se podría obtener a nivel regional; no obstante, como se mostró, a medida que se cuente con mayor detalle de cada sitio es posible hacer aproximaciones más cercanas a la realidad. Los resultados de este trabajo se pueden complementar con estudios tecnológicos que permitan cualificar la biomasa obtenida de los residuos y su posibilidad de uso para la generación de energía, así como de estudios socioeconómicos que determinen la viabilidad desde esa perspectiva. 

## Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias a los aportes del proyecto “Innovación tecnológica para la optimización de procesos y estandarización de productos en empresas rurales con base en la guadua: una contribución para el fortalecimiento de la competitividad de la cadena productiva de la guadua en el Eje Cafetero de Colombia”, financiado por Colciencias (Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia), la empresa Yarima Guadua E.U. y la Universidad Tecnológica de Pereira. También agradecemos al proyecto “Second generation torrefied pellets for sustainable biomass export from Colombia”, financiado por el programa Energy and Innovation: Sustainable Biomass Import de la NL Agency y ejecutado por el ECN (Holanda), Imperial College (Inglaterra), Sociedad Colombiana del Bambú y la Universidad Tecnológica de Pereira.

## Literatura citada

- Akça, A. 2000. Forest inventory. Göttingen, Germany. University of Göttingen, Institute of Forest Management and Yield Science. 191 p.
- Arango, A.M.; Camargo, J.C. 2010. Bosques de guadua del Eje Cafetero de Colombia: oportunidades para su inclusión en el mercado voluntario de carbono y en el Programa REDD+. Revista Recursos Naturales y Ambiente N°61: 71-79.
- Barathi, N. 2011. Low cost biomass from captive energy plantation: Energy from bamboo. UNDP-GEF, MNRE of India, Winrock International. Bioenergy no. 8. 11 p.
- Berndes, G.; Hoogwijk, M.; van den Broek, R. 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. Biomass and Bioenergy no. 25: 1-28.
- Bertrán, J.; Morales, E. 2008. Potencial de biomasa forestal. In: Comisión Nacional de Energía. Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile. Santiago de Chile, GIZ. <http://www.giz.de/de/downloads/sp-chile-potencial-biomasa-forestal.pdf>
- Camargo, J.C. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the Coffee Region of Colombia. Ph.D. thesis. Göttingen, Germany, Göttingen Universität. 205 p.
- Camargo, J.C., Dossman, M.A., Cardona, G., García, J.H., Larias, L.M. 2006. Zonificación detallada del recurso Guadua en el Eje Cafetero de Colombia, Tolima y Valle del Cauca. Pereira. Min. Ambiente, Universidad Tecnológica de Pereira, CARs del Eje Cafetero. 143 p.
- Camargo, J.C.; García, J.H.; Morales, T. 2008. Bases para la planificación y manejo silvicultural de bosques de guadua: una aplicación a nivel de finca en la zona cafetera de Colombia. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Grupo Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. 86 p.
- Daza, C.; Zwart, R.; Camargo, J.C.; Chávez-Díaz, R.; Londoño, X.; Fryda, L.; Janssen, A.; Pels, J.; Kalivodova, J.; Amézquita, M.A.; Arango, A.M.; Hernández, A.; Rodríguez, J.A.; Suárez, J.D. 2013. Torrefied bamboo for the import of sustainable biomass from Colombia. Informe Final del Proyecto de Investigación “Second generation torrefied pellets for sustainable biomass export from Colombia” Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Centro de Energía de Holanda, Imperial College UK.
- Granada, E., Lareo, G., Míguez, J.L., Morán, J., Porteiro, J., Ortiz, L. 2006. Feasibility study of forest residue use as fuel through co-firing with pellet. Biomass and Bioenergy no. 30: 238-246.
- Hall, D.; Scrase, J. 1998. Will biomass energy be the environmentally friendly fuel of the future? Biomass and Bioenergy 15(4-5): 357-367.
- Hall, D. 1997. Biomass energy in industrialised countries: a view of the future. Forest Ecology and Management no. 91: 17-45.
- Hunter, I.R.; Junqi, W. 2002. Bamboo biomass. INBAR Working Paper no. 36. [file:///D:/Downloads/inbar\\_working\\_paper\\_no36%20\(2\).pdf](file:///D:/Downloads/inbar_working_paper_no36%20(2).pdf)
- Kleinn, C.; Morales, D. 2006. An inventory of Guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. European Journal of Forest Research 125 (4): 361-368.
- Lobovikov, M.; Paudel, S.; Piazza, M.; Ren, H.; Wu, J. 2007. World bamboo resources: A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources (non-wood forest products assessment 2005). INBAR, FAO. 73 p.
- López Martell, A. 2008. Rendimiento de biomasa de *Bambusa vulgaris* y su relación con la protección de los suelos en la provincia de Granma, Cuba. Zootecnia Tropical 26(3): 275-277.
- Morales, T. 2004. Modelos de tratamientos silvicultural para la optimización de la rentabilidad financiera en el manejo y aprovechamiento sostenible de la guadua, Región del Eje Cafetero, Colombia. Tesis M.Sc. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira. 114 p.
- Morales, T. 2005. Modelo Silvcamark 1.1. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Muñoz, J.E.; Londoño, X.; Rugeles, P.; Posso, A.M.; Vallejo, F.A. 2010. Diversidad y estructura genética de *Guadua angustifolia* en la ecorregión cafetera colombiana. Recursos Naturales y Ambiente no. 61: 45-52.
- Scurlock, J.M.; Dayton, D.C.; Hames, B. 2000. Bamboo: an overlooked biomass resource? Colorado, Estados Unidos, Environmental Science Division. 34 p. Disponible en <http://web.ornl.gov/~webworks/cpr/rpt/105155.pdf>
- Xiao, G.; Ni, M.; Huang, H.; Chi, Y.; Xiao, R.; Zhong, Z.; Cen, K. 2007. Fluidized-bed pyrolysis of waste bamboo. J. Zhejiang Univ. Sci. A. 8(9): 1495-1499.
- Zehui, J.; Zhijia, L.; Benjua, F.; Zhiyong, C.; Yan, Y.; Xing'e, L. 2012. The pyrolysis characteristics of moso bamboo. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis no. 94: 48-52.