

Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

N° 65-66 Marzo-Agosto 2012



Yarima
Guadua



G.A.T.A.
GRUPO DE INVESTIGACIÓN
EN GESTIÓN DE
AGROECOSISTEMAS
TROPICALES ANDINOS



Facultad de
Ciencias
Ambientales



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

La revista Recursos Naturales y Ambiente es producida por el CATIE, Sede Central.

Comité Editorial Internacional

José Joaquín Campos
CATIE

Ronnie de Camino
CATIE

Glenn Galloway
CATIE

Anita Varsa
Course Coordinator National Board of Education, Finland

Manuel Guariguata
Scientist, Environmental Services and Sustainable Use of Forests Programme, CIFOR, Indonesia

David Kaimowitz
Program Officer Environment and Development, USA/Mexico

Florencia Montagnini
Universidad de Yale, USA

Gerardo Budowski
Universidad para la Paz, Costa Rica

Kenton Miller
World Resources Institute, USA

Comité Editorial Operativo CATIE

Róger Villalobos
Lorena Orozco
Dietmar Stoian
Francisco Jiménez
Fernando Carrera

Editores Técnicos

Juan Carlos Camargo García
Angela María Arango
María Camila Salazar
Oscar Marino Mosquera
Tito Morales Pinzon
Ligia María Arias

Equipo de Producción

Róger Villalobos, Director
Lorena Orozco, Editora
Elizabeth Mora, Corrección de estilo
Claudia Rodríguez/Matilde Gómez, Indización
Rocío Jiménez, Diseño y diagramación
Biblioteca Conmemorativa Orton, Internet

Esta revista está indizada en la base de datos CABI



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

N° 65-66 Marzo-Agosto 2012

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Estado de Acre en Brasil.

Dr. José Joaquín Campos
Director General

- La Revista Recursos Naturales y Ambiente, continuación de la Revista Forestal Centroamericana, es una publicación cuatrimestral, con una perspectiva integral, biológica, social y económica del aprovechamiento y conservación de los ecosistemas naturales y forestales, y del desarrollo rural.
- Nuestra Revista, que tiene un ámbito geográfico latinoamericano, espera servir como un foro donde se propongan y analicen modelos y experiencias de trabajo relevantes para los técnicos, productores y empresarios, para los gobiernos locales y para las autoridades estatales.

Los contenidos, ideas u opiniones expresadas en los artículos son responsabilidad de los autores; no reflejan necesariamente la opinión de los comités de la Revista Recursos Naturales y Ambiente ni del CATIE.

Se permite la reproducción parcial o total de la información aquí publicada, siempre y cuando se nombre la fuente, se remitan tres copias a la redacción y se utilice sin fines de lucro.



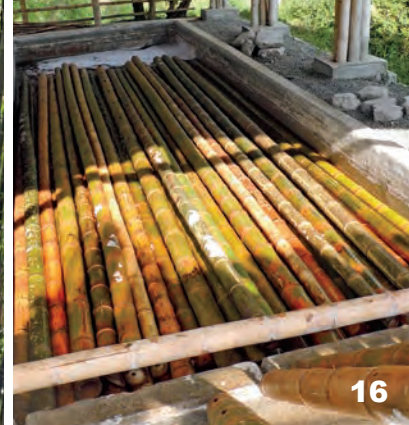
Sede Central CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica

Tel. (506) 2558 2300 Fax (506) 2558 2051 Dirección electrónica: lorozco@catie.ac.cr

www.catie.ac.cr



10



16



38



83

Presentación.....4

Dr. Michael Tistl. Homenaje póstumo5

FORO

Hacia el fortalecimiento del comercio de la guadua en Colombia
Adrián Cardona.....6

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Caracterización fitoquímica de los extractos de acetona y contenido de lignina en culmos de *Guadua angustifolia*
Oscar Marino Mosquera Martínez, Lina María González Cadavid, Yeny Juliana Cortés Ossa, Juan Carlos Camargo García10

Concentraciones de una solución preservante a base de ácido bórico y bórax. Evaluación en culmos de *Guadua angustifolia*
Leidy Johanna Guzmán; Rodrigo Urbano Enríquez; Oscar Marino Mosquera; Juan Carlos Camargo16

Diversidad vegetal de los bosques de guadua en el Eje Cafetero de Colombia
Fernando Ramírez Díaz, Juan Carlos Camargo21

Bases para la aplicación de REDD+ en ecosistemas boscosos del Eje Cafetero de Colombia
Ángela María Arango Arango, Miguel Ángel Amézquita Berjan, Juan Carlos Camargo García26

Evaluación de propiedades físico-mecánicas de *Guadua angustifolia* del Jardín Botánico de la UTP
Edison de Jesús Henao Castañeda, Héctor Fabio Quintero Riaza32

Determinación de la madurez de culmos de guadua mediante el análisis de frecuencia de señales de vibración y acústica
Olmedo Arias Pulgarin, Alexander Betancur, Héctor Fabio Quintero38

Contenido de humedad en guadua rolliza preservada y secada en invernadero
Tito Morales-Pinzón, Luisa Fernanda Durán, César Andrés Alzate45

Efectividad de la preservación de *Guadua angustifolia* en el Eje Cafetero colombiano por el método de inmersión-difusión
Tito Morales-Pinzón, Luisa Fernanda Durán, César Andrés Alzate51

Determinación de la huella de carbono de una empresa forestal productora de guadua. El caso de la empresa Yarima Guadua, Eje Cafetero de Colombia
Ángela María Arango Arango, Juan Carlos Camargo García56

Consideraciones sobre inventario y medición del bambú en bosques y plantaciones, con especial referencia a *Guadua angustifolia* en el Eje Cafetero de Colombia
Juan Carlos Camargo García, Ángela María Arango A.62

Análisis del ciclo de vida aplicado a la fase de extracción de guadua, en el Eje Cafetero colombiano
Andrea Hernández Londoño, Jorge Augusto Montoya Arango, Juan Carlos Camargo García68

Identificación visual de guaduales en el Eje Cafetero de Colombia a partir de una imagen Landsat 8 sometida a mejoramiento espacial por método ISH
Dein Muñoz, Juan Carlos Camargo77

Diversidad de avifauna en paisajes rurales de la cuenca del río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia
Elsa Lorena Sánchez Gómez, Juan Carlos Camargo García83

Evaluación de la oferta de residuos de biomasa de guadua para propósitos energéticos en el Eje Cafetero de Colombia
Juan Carlos Camargo García, Ángela María Arango Arango, Miguel Ángel Amézquita Berjan90

Presentación

En el marco de la convocatoria No. 502 del 2010 se aprobó, en el año 2011, el proyecto *“Innovación tecnológica para la optimización de procesos y la 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”*, bajo la modalidad de cofinanciación. En este proyecto participaron el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Colciencias) como entidad financiera, la empresa Yarima Guadua EU como entidad beneficiaria y la Universidad Tecnológica de Pereira como entidad ejecutora.

Durante 30 meses un grupo de trabajo de aproximadamente 20 personas, conformado por los propietarios de la empresa Yarima Guadua, operarios, estudiantes, coinvestigadores, investigadores y profesores de la UTP, trabajaron con el propósito de consolidar empresas rurales para la gestión, la innovación tecnológica y la optimización de procesos de planificación del manejo de bosques de guadua y el tratamiento preindustrial de sus productos. Como referentes se tomaron la empresa Yarima Guadua y el núcleo forestal de guadua La Esmeralda. En una primera etapa se desarrolló y se puso en marcha un plan de gestión ambiental para Yarima Guadua, se definieron estándares de productos de cosecha de guadua con base en sus atributos y se buscó la optimización de los procesos preindustriales de preservación y secado.

Los resultados de este proyecto constituyen un aporte importante para la definición de las características que debería tener una empresa rural dedicada al manejo y aprovechamiento del recurso guadua. Las herramientas de gestión, la innovación y la investigación se han combinado de manera articulada para garantizar no solo la producción sostenida, sino también la conservación del recurso, del ecosistema y de los servicios ambientales asociados.

En este número de la revista Recursos Naturales y Ambiente se ofrecen 15 artículos en los que se plasman los principales resultados obtenidos por el proyecto. En el Foro se define el contexto actual de la producción de guadua en el Eje Cafetero colombiano y se resaltan los retos percibidos por el sector para mejorar las condiciones de comercialización. En los 14 artículos restantes se analizan los resultados de investigaciones que incluyen desde la importancia de la biodiversidad asociada y el potencial de extractos fitoquímicos, pasando por los procesos preindustriales y el manejo, hasta la medición de la huella de carbono, el análisis de ciclo de vida y la posibilidad de acceder a iniciativas como REDD+ (reducción de emisiones por deforestación y degradación), que podrían generar incentivos para los productores y/o propietarios de bosques de guadua.

Agradecemos a los entes financiadores, a todos los productores, técnicos y profesionales que colaboraron con las actividades desarrolladas, así como a las instituciones que de una manera u otra aportaron información y fueron partícipes de los procesos que se llevaron a cabo en el marco del proyecto. Esperamos que la información ofrecida contribuya a realzar este importante recurso natural, no solo como una opción para la generación de beneficios económicos para los productores rurales, sino para la conservación de los recursos naturales y la posibilidad de contribuir a la construcción de un mejor planeta cada día.

*Juan Carlos Camargo García
Profesor Titular
Director Grupo de Investigación en Gestión de
Agroecosistemas Tropicales Andinos
Universidad Tecnológica de Pereira
Risaralda, Colombia*

Dr. Michael Tistl

Homenaje póstumo

En el año de 1997 el Dr. Michael Tistl llegó a la Universidad Tecnológica de Pereira como director de un proyecto para el fortalecimiento de la Facultad de Ciencias Ambientales, financiado por el gobierno alemán a través de la Agencia de Cooperación Alemana al Desarrollo (hoy denominada GIZ). Dos años después de su llegada, en enero de 1999, ocurrió un terremoto de gran magnitud que afectó de manera significativa toda la región del Eje Cafetero. El Dr. Tistl logró redireccionar parte del proyecto de cooperación para contribuir con el proceso de reconstrucción luego del terremoto.

El Dr. Tistl siempre valoró la gran riqueza de recursos naturales con que cuenta Colombia; de hecho, fue uno de los primeros en reconocer el potencial de la guadua como elemento estructural. Con el apoyo del gobierno alemán, lideró tres proyectos para la utilización de la guadua en la construcción de viviendas para damnificados del terremoto. Esta gran iniciativa fue el punto de partida para una serie de acciones financiadas por la cooperación alemana, bajo el liderazgo del Dr. Tistl, que tuvieron como eje el recurso guadua.

Conocedor de la necesidad de contar con docentes que tuvieran una sólida formación profesional, el Dr. Tistl motivó a quienes hacían sus estudios de postgrado para que se enfocaran en el manejo del recurso guadua. Hasta la fecha, varios profesores han obtenido su formación doctoral con énfasis en el recurso guadua y han multiplicado su conocimiento a través de la investigación y el apoyo a las tesis de grado de estudiantes de la UTP. Los resultados académicos hoy se ven reflejados en beneficios para los productores y la cadena productiva y cada día se avanza en el mejoramiento del saber para el mismo propósito.

Quienes trabajamos a su lado y nos beneficiamos de su sabiduría y colaboración desinteresada queremos rendir un homenaje póstumo al Dr. Michael Tistl, porque gracias a él y su impulso hoy estamos aquí y hemos alcanzado muchos y valiosos logros. Su esfuerzo no ha sido en vano; en cada resultado siempre ha habido, hay y habrá algo de él.

Así como la guadua crece rápidamente, con raíces fuertes y gran capacidad de renovación, así es el legado que nos dejó Michael. Muchas gracias amigo visionario, descansa en paz.

Foto: Carlos Eduardo López



Hacia el fortalecimiento del comercio de la guadua en Colombia

Adrián Cardona¹

En Colombia, la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) ha acompañado el desarrollo de las culturas, los pueblos y las comunidades urbanas y rurales desde épocas prehispánicas. También conocida como “acero vegetal”, la guadua ha sido utilizada ampliamente como material estructural en la construcción y en un sinnúmero de utensilios para la actividad agropecuaria y la vida cotidiana. Igualmente, se reconocen a esta especie de bambú leñoso, importantes servicios ambientales que la convierten en un recurso natural estratégico para la regulación hídrica, la biodiversidad y el clima. Aunque se encuentra en casi todo el país, la guadua ha estado culturalmente ligada a la zona andina, especialmente a la ecorregión del Eje Cafetero que comprende cinco departamentos en las montañas y valles del centro-occidente del país.

Por mucho tiempo, la guadua se percibió básicamente como un material de construcción y uso doméstico en zonas rurales; en las ciudades era de uso marginal en la construcción de viviendas pobres en zonas de invasión y de riesgo. Se consideraba un producto de poco valor social y monetario; su aprovechamiento y comercialización eran poco controlados y no se generaba valor agregado. Por lo general, la extracción de los culmos en guaduales naturales, por parte de los

“guadueros” o de los mismos propietarios de las fincas, se hacía de manera artesanal y no planificada, y se vendía guadua rolliza y esterilla en los depósitos de madera.

Después del terremoto que asoló la zona cafetera en 1999, se iniciaron una serie de proyectos de reconstrucción, desarrollos arquitectónicos icónicos, acciones de agencias de cooperación internacional, investigaciones en las universidades e iniciativas públicas y privadas de emprendimiento. En este entorno, la guadua empieza a ganar interés como un producto potencial para el desarrollo productivo de la región; surgen así iniciativas de comercialización con valor agregado a nivel nacional e internacional que redundan en mejores precios y mayores utilidades².

En este contexto, las corporaciones autónomas regionales -en el marco de sus funciones de control del aprovechamiento de los recursos naturales- comienzan a regular la cosecha de la guadua con el propósito de darle un manejo sostenible. Posteriormente, esta iniciativa se complementa con aspectos de gobernanza forestal, legalidad en el aprovechamiento y comercio y certificación voluntaria, lo que da pie al surgimiento de normas para el manejo sostenible de los guaduales y la construcción con guadua.

De manera paralela, empezaron a crearse empresas y asociaciones alrededor de la guadua; se amplió

la oferta de formación técnica; aparecieron innumerables nuevos productos y aplicaciones (en construcción, muebles, laminados y artesanías principalmente), prestadores de servicios e investigadores en temas afines; se propiciaron acuerdos de competitividad, procesos de certificación y giras por países productores de bambú. Así arrancó el boom de la guadua, el cual impulsó la aparición de un gremio y de una cadena productiva, que todavía están en proceso de organización.

El mercado nacional e internacional del bambú y la guadua muestra cifras significativas y crecientes. La guadua, como ocurren en otros países con el bambú, bien podría ser un renglón importante dentro de la economía colombiana y un ejemplo de manejo y aprovechamiento sostenible de un recurso natural. Según el INBAR, el mercado mundial de diversos productos de bambú y ratán movió cerca de USD 3.200 millones en el 2011; China aparece como el principal productor, gracias a fuertes políticas públicas nacionales de incentivos al cultivo, cosecha y generación de valor agregado (Cabrera 2014).

De acuerdo con cifras del Proyecto Gobernanza Forestal, patrocinado por la Unión Europea, en el año 2013, las cinco Corporaciones Autónomas Regionales de la ecorregión del Eje Cafetero en Colombia (CARDER, CRQ, CORTOLIMA,

¹ Consultor. Experto en moderación de talleres participativos. MSc Planificación y administración del desarrollo regional. Universidad de los Andes. Esp. en gobierno y políticas públicas. Administrador Ambiental, UTP. adriancardona@utp.edu.co

² Más información al respecto en Mejía y Moreno (2013).

CORPOCALDAS y CVC), autorizaron el aprovechamiento de 99.561 m³ de guadua en no más de 2500 ha, que equivalen al 7% de los guaduales de la región³ (Moreno 2014). A partir del precio comercial promedio pagado en depósito de madera (guadua sin valor agregado), la comercialización del producto habría alcanzado no menos de USD 5,7 millones. Este monto, aunque considerable, significa apenas un poco más del 1% del valor estimado del comercio anual de madera en Colombia.

No obstante, el mercado de la guadua en el país es mayor si se tiene en cuenta que parte del producto se vende a precios superiores por contar con valor agregado (secado, inmunizado, laminado, etc.). Asimismo, no se ha considerado la producción y comercialización en otras regiones del país, ni la guadua ilegal. Según Mejía y Moreno (2013), en Colombia se estiman unas 56.000 ha de guadua -una extensión pequeña, en comparación con otras coberturas como las plantaciones forestales con fines comerciales (174.000 ha en 2002, según Acosta 2004), o la extensión boscosa que se estima en 61,2 millones de hectáreas (MADS 2012).

Ya han pasado más de 15 años desde aquel despertar de la guadua y, a pesar de las grandes expectativas, de las proyecciones de entonces y de las innegables buenas características del recurso, los productores, los empresarios y los diversos actores de la cadena consideran que el mercado de la guadua es el eslabón más débil y requiere consolidarse y ampliarse. La guadua en Colombia y en el entorno internacional es poco conocida; más allá del Eje Cafetero su uso y comercio sigue siendo marginal, lo cual denota un mercado pequeño, poco desarrollado e imperfecto. Esto ha causado

el cierre de empresas, la frustración del productor y un cierto ambiente de pesimismo ante el futuro de la comercialización de la guadua y sus productos derivados. Se evidencia la necesidad de impulsar acciones concertadas para mejorar la situación y convertir a la guadua en un renglón forestal realmente importante para el país, que contribuya al desarrollo rural sostenible.

En este contexto, la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) organizó un taller participativo para el análisis del mercado de la guadua y el diseño de un plan estratégico para los actores de la cadena. El evento tuvo lugar en la ciudad de Pereira, centro de la ecorregión del Eje Cafetero durante los días 12 y 13 de junio de 2014. El propósito del taller fue identificar líneas estratégicas de trabajo para el desarrollo del mercado de la guadua. Como resultados esperados se planteaban: (i) elaborar participativamente un diagnóstico de la cadena de la guadua y específicamente del mercado de este recurso; (ii) diseñar un plan estratégico para mejorar la situación de la cadena de la guadua y su mercado.

El taller fue una iniciativa auspiciada por el Proyecto “Innovación tecnológica para la optimización de procesos y la estandarización de productos en empresas rurales con base

en guadua”. Este proyecto se inició en el 2012, mediante un Convenio entre el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Colciencias), la empresa Yarima guadua y el grupo de investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos (GATA) de la UTP.

En el taller participaron 35 personas entre funcionarios de instituciones regionales (CARDER), nacionales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, CORPOICA y Sociedad Colombiana del Bambú), e internacionales (INBAR). Además de investigadores de la academia (SENA, UTP y Pontificia Universidad Javeriana) y diez productores y empresarios. La técnica utilizada para la visualización y moderación del taller fue el “Metaplan”, la cual hace uso de tableros especiales (paneles), tarjetas de colores, marcadores y preguntas orientadoras. Esta técnica fomenta la participación y la visualización de las ideas, así como la discusión para concretizarlas y alcanzar el consenso.

En el taller los asistentes analizaron diversos aspectos de la cadena productiva de la guadua, los cuales se condensan en la siguiente matriz DOFA:

Debilidades	Oportunidades	Fortalezas	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades con la regulación de las corporaciones autónomas regionales y falta de unidad de criterio entre ellas. • Ausencia de una agremiación sólida y de una cadena de la guadua funcional y articulada. • Falta de promoción a nivel nacional e internacional de los productos de guadua (mercado pequeño). • Ausencia de una política para el fomento de la guadua y de la consolidación de una cadena productiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Macroproyectos nacionales de vivienda, en los que la guadua se podría utilizar. • Mercado en expansión para los productos forestales (nacional e internacional). 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial ambiental: auto-renovación, mitigación del cambio climático, regulación hídrica y servicios ambientales. • Multiplicidad de productos y versatilidad del recurso guadua. • Desarrollo de múltiples investigaciones acerca de la guadua (generación de conocimiento). 	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación de las corporaciones autónomas regionales. • Desconfianza sobre la guadua. • Comercio ilegal.

3 Según Mejía y Moreno (2013), en los cinco departamentos de la ecorregión Eje Cafetero existen 29.682 ha de guaduales naturales y 5347 ha de guaduales plantados, que representan el 62,5% de los guaduales del país.



El taller permitió el análisis participativo de diversos aspectos de la cadena productiva de la guadua

- Flexibilizar los trámites en las corporaciones autónomas regionales.
- Diseñar el Plan Nacional de Gestión de Asistencia Técnica.
- Promulgar una norma nacional para el manejo de guaduales naturales y plantados.
- Finalizar la norma técnica de “Estándares y criterios de selección para la comercialización de *Guadua angustifolia*” (para unificación de productos).
- Desarrollar una agenda nacional de investigación.
- Realizar inteligencia de mercado con sistemas de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.

¿Y qué sigue a continuación?

A partir de lo expresado por los diversos actores, en las conclusiones del taller quedó claro que la cadena productiva de la guadua está poco consolidada debido, entre otros, a la baja agremiación nacional, la carencia de incentivos públicos específicos, la existencia de un mercado heterogéneo, espontáneo, poco desarrollado, desconocido e imperfecto y escasamente promocionado entre los consumidores potenciales, más allá del Eje Cafetero.

Igualmente, se denota una baja competitividad de los productos de guadua frente a otros productos forestales, u otros similares de bambú importado. En buena medida, esto se debe a la poca industrialización, la informalidad y falta de conocimiento en cuanto a la madurez del culmo (Camargo et al. 2011) y procesos de secado, inmunizado y estandarizado. Todo ello ha generado experiencias negativas y desconfianza en algunos consumidores. Además, los costos crecientes de producción relacionados con el transporte, la mano de obra y la estructura impositiva del país hacen de la guadua un negocio riesgoso y muy sensible. Finalmente, en el taller se reiteró la solicitud para que las Corporaciones Autónomas Regionales revisen, unifiquen y

En cuanto a los problemas específicos del mercado y la comercialización de la guadua, los participantes resaltaron como principales, los siguientes:

- El consumidor potencial desconoce los productos de guadua y sus fortalezas.
- Entre algunos consumidores existe desconfianza sobre el recurso, por experiencias negativas.
- Falta de estandarización de productos y procesos de producción (metrología).
- Desconocimiento del comprador potencial.
- La informalidad y la ilegalidad en una parte del aprovechamiento.

Construcción de un plan estratégico

A partir de los resultados anteriores, los participantes definieron las siguientes líneas, como fundamentales para un plan estratégico que ayude a fortalecer la cadena productiva de la guadua y, especialmente, del eslabón de comercialización.

- Creación y reconocimiento de la cadena de la guadua y bambú.
- Innovación de productos, desarrollo tecnológico e investigación (I+D+i).
- Visibilización de la guadua a nivel nacional e internacional para otros actores y sectores.
- Fortalecimiento de la asociatividad y articulación entre instituciones y sectores.
- Posicionamiento y ampliación del mercado de la guadua.
- Desarrollo de una estrategia de asistencia técnica.

Entre las acciones principales que se deben desarrollar a corto plazo, se plantearon las siguientes:

- Crear el Consejo Nacional del bambú guadua.
- Contar con una Cadena Nacional del Bambú guadua formalizada, reconocida y en funcionamiento.
- Diseñar una Política Pública Nacional para la guadua (tipo documento CONPES).

moderen los trámites y la regulación del recurso; solo así se logrará agilizar y facilitar la comercialización, el aprovechamiento sostenible y el desarrollo del mercado para los guaduales.

El taller evidenció el interés que aún persiste entre los diversos actores de la cadena guadua, después de más de una década de arduos esfuerzos. Igualmente, se nota un interés más real y un compromiso práctico por parte del gobierno nacional por

apoyar el desarrollo de la cadena productiva. Por otro lado, los resultados de las investigaciones de la academia empiezan a ser utilizados por el sector productivo, donde se identifican nuevos productos y aplicaciones y se tejen lazos de confianza entre los dos sectores.

A nivel nacional e internacional se siguen dando obras majestuosas con guadua, íconos de la arquitectura e innovaciones en el diseño y en multiplicidad de productos, que

siguen mostrando el potencial del recurso. Queda claro, también, que además de la exportación, existe un mercado nacional por desarrollar, más allá de las fronteras del Eje Cafetero. Mediante una política estatal de incentivo y expansión a otros territorios, la guadua se logrará concretizar como una posibilidad económica real y generadora de riqueza para el desarrollo rural sostenible del país. 🌿



Foto: Grupo GATA

Participantes en el taller para el análisis del mercado de la guadua y el diseño de un plan estratégico para los actores de la cadena

Literatura citada

- Acosta, I. 2004. Informe nacional Colombia. Roma, Italia, CONIF-FAO. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j4192s/j4192s00.pdf>
- Cabrera, A. 2014. El bambú, una mirada desde lo global a lo local. [Diapositivas de PowerPoint]. In Construyendo las bases para el desarrollo de mercados de la guadua: Reflexiones desde los actores [Taller, Pereira, CO, 12 y 13 junio, 2014]. UTP.
- Camargo, J.C.; Rodríguez, J.A.; Niño, J.; Mosquera, O.M.; Ríos, A.M.; Cortes, Y.J.; Quintero, H.; Henao, E.; Monroy, M.; Arango, A.M.; Suarez, J.D. 2011. Desarrollo tecnológico para optimizar la calidad de los productos obtenidos de bosques de guadua: definiendo la madurez de los culmos y mejorando los procesos de organización. Editorial Publiprint. Pereira, Risaralda. 137p.
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2012. Informe de gestión al Congreso, 2012. Bogotá. http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/240712_informe_gestion_mads_original.pdf
- Mejía, N.; Moreno, R. 2013. Estado del arte de la cadena de la guadua en Colombia 2003-2012. Pereira, Colombia, Proyecto Gobernanza Forestal.
- Moreno, R. 2014. Aproximación al mercado regional de la guadua. [Diapositivas de PowerPoint]. En Construyendo las bases para el desarrollo de mercados de la guadua: Reflexiones desde los actores [Taller, Pereira, CO, 12 y 13 junio, 2014]. UTP.

Caracterización fitoquímica de los extractos de acetona y contenido de lignina en culmos de *Guadua angustifolia*

Oscar Marino Mosquera Martínez¹, Lina María González Cadavid, Yeny Juliana Cortés Ossa², Juan Carlos Camargo García³

Resumen

Se obtuvieron los extractos de acetona, acuosos y etanólicos mediante maceración de 63 muestras de culmos de *Guadua angustifolia* Kunth procedentes de la finca Yarima, Pereira, (Colombia). Los extractos de acetona fueron caracterizados fitoquímicamente por cromatografía de capa delgada y se encontraron los siguientes metabolitos secundarios: alcaloides, fenoles, terpenos, flavonoides y saponinas. Además, se cuantificó la lignina ácida insoluble, la cual se caracterizó por espectroscopia infrarroja; se encontró que esta corresponde al tipo siringilo-guaiocilo.

Palabras claves: *Guadua angustifolia*; compuestos orgánicos; compuestos fenólicos; metabolitos secundarios; espectroscopia infrarroja; Colombia.

Abstract

Phytochemical characterization and lignin content in culms of *Guadua angustifolia*.

Acetone, aqueous and ethanolic extracts of 63 samples of *Guadua angustifolia* Kunth were obtained of material from the farm Yarima, Pereira (Colombia). Acetone extracts were characterized by thin layer chromatography; alkaloids, phenols, terpenes, flavonoids and saponins were the secondary metabolites found. The insoluble lignin was quantified and characterized by FT-IR (Fourier transformation infrared spectroscopy); results showed syringyl and guaiacyl types.

Keywords: *Guadua angustifolia*; organic compounds; secondary metabolites; infrared spectroscopy; Colombia.

Introducción

La guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) es una especie de bambú nativa de las regiones tropicales del centro y sur de América. La especie pertenece a la familia Poaceae, tribu Bambuseae (Kelchner 2013). Este es un recurso natural renovable y ampliamente utilizado en la cons-

trucción y elaboración de artesanías (Camargo y Rodríguez 2011). En Colombia existen cerca de 51.000 ha de coberturas boscosas dominadas por esta especie; solo en la zona cafetera se ha estimado que crecen cerca de 28.000 ha (Kleinn y Morales 2006). Además, es la especie de bambú de mayor importancia

ecológica, social, económica, cultural y comercial, por lo que se considera uno de los recursos forestales más valiosos del país (Mejía et al. 2009).

La guadua está constituida principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Esta última es el tercer constituyente más abundante y le confiere a la guadua

¹ Grupo de Biotecnología-Productos Naturales (GB-PN). Escuela de Tecnología Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. omosquer@utp.edu.co

² Químicas Industriales. Escuela de Tecnología Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

³ Profesor titular. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. jupipe@utp.edu.co

gran resistencia estructural por ser una macromolécula amorfa con tres monolignoles fundamentales: alcohol *p*-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico. Estos componentes forman diferentes unidades de lignina por medio de polimerizaciones denominadas *p*-hidroxifenilo (H), guaiocilo (G) y siringilo (S) (Xue et al. 2012).

La lignina es ampliamente utilizada para la elaboración de sustancias bioquímicas, biocombustibles, resinas fenólicas, epóxicas y en una gran variedad de nuevas aplicaciones (Sun et al. 2012). Para la industria de polímeros ofrece un gran potencial debido a sus importantes propiedades estructurales (Khalil et al. 2013), así como para la industria farmacéutica, por su potencial nutracéutico (Mejía et al. 2009).

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) caracterizar los metabolitos secundarios presentes en los extractos de acetona de

culmos de *G. angustifolia*; 2) determinar el contenido de lignina ácida insoluble caracterizada por espectroscopia infrarroja (FT-IR). El material empleado se recolectó en la finca Yarima, sur del municipio de Pereira, Risaralda, Colombia, entre las coordenadas 75°45'50"W; 75°46'40"W; 4°47'30"N; 4°48'20"N. La finca está localizada en las estribaciones de la Cordillera Central, a 1150 msnm, en una zona ecológica de transición entre las laderas de las montañas andinas hacia el valle del río Cauca (Marulanda 2010).

Material vegetal evaluado

En forma aleatoria se recolectaron 63 muestras de culmos en varios individuos de *G. angustifolia* de 48 meses de edad en tres zonas diferentes (rodales) de la finca Yarima (Figura 1). Cada rodal está compuesto por siete parcelas con una dimensión de 10 x 10 m².

Extracción

De cada culmo recolectado, se extrajeron muestras según el procedimiento descrito por Mosquera et al. (2010). En resumen, se tomaron cinco gramos (5 g) de material seco y molido de cada culmo de guadua, se sometieron a extracción con acetona a 45°C durante seis horas; agua a 80°C durante una hora y etanol a 60°C durante seis horas; se emplearon las normas TAPPI 204 y 264 om-07 (TAPPI 2006). Cada extracción se realizó por duplicado. Los extractos fueron concentrados a sequedad a presión reducida y almacenados a -10°C hasta su utilización.

Caracterización por cromatografía en capa delgada de los extractos de acetona de *G. angustifolia*

Los metabolitos secundarios de los extractos de acetona de *G. angustifolia* se caracterizaron por cromatografía en capa delgada (CCD) siguiendo el protocolo de

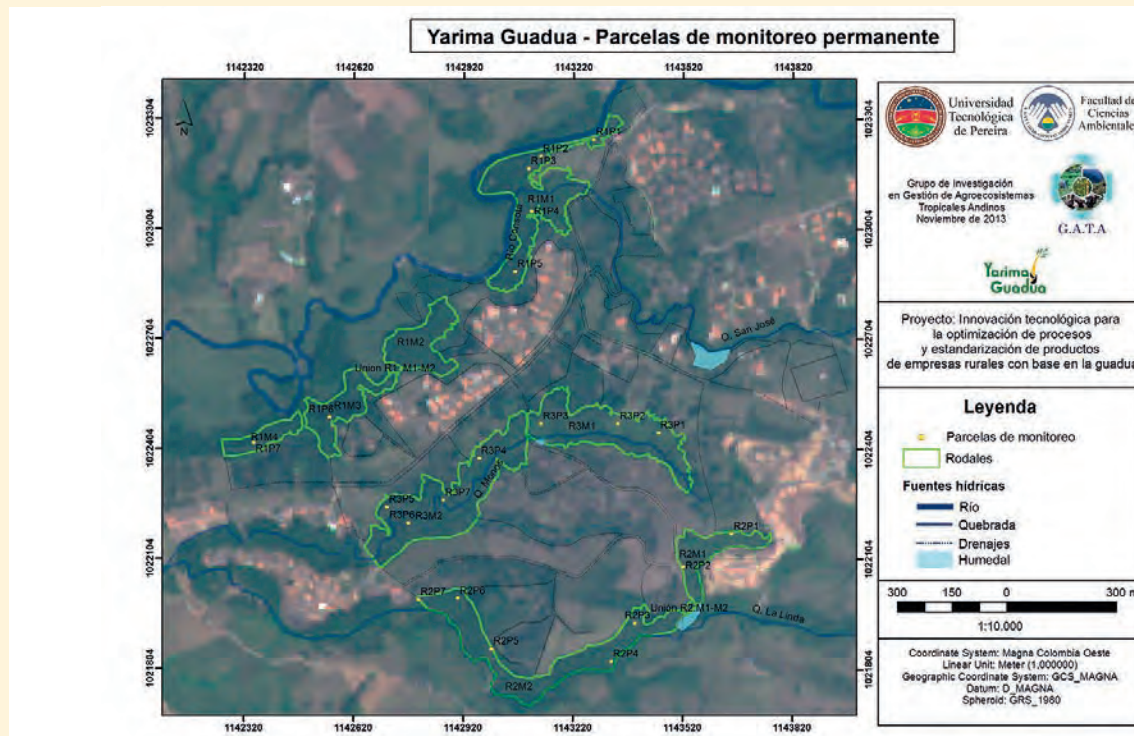


Figura 1. Zonas de recolección de las muestras de *Guadua angustifolia* en finca Yarima, Pereira, Colombia

Wagner y Bladt (1996). Se emplearon cromatoplasmas de sílica gel 60 F254 (5×4 cm); el sistema de elusión utilizado fue *n*-hexano-acetato de etilo (85:15); los núcleos fitoquímicos fueron detectados por su color característico después de la inmersión de la cromatoplasma en cada revelador específico (Cuadro 1).

Extracción y cuantificación de lignina ácida insoluble

Para la extracción de la lignina insoluble se siguió la metodología descrita por Mosquera et al. (2010). El procedimiento se realizó por duplicado en días diferentes para verifi-

car la reproducibilidad del método. El porcentaje de lignina insoluble en la muestra se determinó mediante la siguiente ecuación: % lignina insoluble = (Peso del residuo/250 mg) × 100.

Caracterización estructural de lignina ácida insoluble

La caracterización estructural de la lignina ácida insoluble se hizo en un espectrofotómetro FT-IR Cary 630 (Agilent Technologies). Cada espectro fue adquirido en un rango de 4000/cm a 650/cm con una resolución de 4/cm y con 64 barridos por muestra.

Resultados y discusión

Obtención de extractos de *G. angustifolia*

Del proceso de extracción de 5 g de cada muestra de *G. angustifolia* sometida a extracción se obtuvo, en promedio, 261,15 mg de extracto de acetona, 277,50 mg de extracto acuoso y 51,96 mg de extracto etanólico. Esto concuerda con resultados obtenidos por el Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira, con muestras de las fincas Nápoles y Bambusal: 237 mg de extracto acuoso y 35 mg de extracto etanólico (Mosquera et al. 2011).

Los mayores porcentajes de masa de los extractos de acetona se encontraron en las parcelas 2 y 5 del rodal 1 (Figura 2a); para los extractos acuosos, los mayores porcentajes se evidenciaron en las parcelas 1, 3 y 5 del rodal 1; parcelas 1, 4 y 5 del rodal 2 y parcelas 5, 6 y 7 del rodal 3 (Figura 2b). Por otra parte, los mayores porcentajes de masa en los extractos etanólicos se presentaron en las parcelas 2, 4 y 5 del rodal 1 y en las parcelas 1, 4 y 6 del rodal 2 (Figura 2c).

Entre los extractos acuosos y etanólicos no se dieron diferencias significativas en términos estadísticos en cuanto a la magnitud de las masas en las parcelas evaluadas. Mientras que para el extracto de acetona, fue mayor el contenido del extracto en las parcelas 2 y 5 del rodal 1.

Caracterización fitoquímica de los extractos de acetona por cromatografía en capa delgada

En todas las muestras analizadas se evidenció la presencia abundante de flavonoides (Cuadro 2). Estudios realizados por Keski-Saari et al. (2008) reportaron la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides en los culmos de bambúes *Yushania chungii*, *Fargesia robusta*, *Fargesia denudata*, *Fargesia rufa* y *Fargesia scabrida*, lo cual concuerda con lo encontrado en este estudio, dado que en las muestras de los tres roda-

Foto: Lina María González Cadavid



El material para el alivio se obtuvo de rodales de 48 meses de edad

Cuadro 1. Metabolitos secundarios evaluados en los extractos de acetona de *G. angustifolia* proveniente de finca Yarima, Pereira, Colombia

Metabolitos secundarios	Revelador	Color característico de la mancha
Alcaloides	Dragendorff	Anaranjado
Esteroides y/o saponinas esteroidales	Liebermann – Burchard	Amarillo, verde o azul
Esteroles		Rosa pálido, gris o amarillo claro
Triterpénos y/o saponinas triterpénicas		Morado
Flavonoides	AlCl ₃ al 1% en etanol absoluto (UV 360 nm)	Fluorescencia blanca, amarilla, roja, verde, naranja o rosada
Taninos: hidrolizables y/o compuestos fenólicos, o taninos condensados	FeCl ₃ al 5% en HCl 0.5 N	Azul aguamarina o azul oscuro para fenólos y/o taninos hidrolizables; verde o café para taninos condensados
Quinonas	KOH al 5% en etanol absoluto (UV 360 nm)	Fluorescencia amarilla, naranja, roja o violeta

les (R1, R2, R3) se detectó presencia abundante de flavonoides. Una evaluación de los extractos hidrometanólicos de culmos de *Guadua angustifolia* por HPLC detectó bandas de absorción a 300 nm (Hernández et al. 2010), lo cual podría corresponder a la presencia de flavonoides pues, según (Surveswaran et al. 2007), este tipo de compuestos presentan bandas de absorción en el UV en un rango de 255 hasta 365 nm. Adicionalmente, los extractos de acetona mostraron una abundancia considerable de terpenos, saponinas tritéricas y esteroidales. En menor presencia, se detectaron alcaloides y fenoles. Las muestras evaluadas no evidenciaron la presencia de quinonas.

El análisis de los metabolitos secundarios demostró que *G. angustifolia* posee un gran potencial para ser utilizado por la industria; esos metabolitos son, por lo tanto, una fuente promisoría para el aislamiento e identificación de compuestos más abundantes de extractos obtenidos en este trabajo. Zhang et al. (2005) identificaron compuestos antioxidantes en las hojas de *Phyllostachys nigra* (una especie de bambú), los cuales fueron denominados AOB (*antioxidant of bamboo*). Los AOB tienen el código GB-2760 como antioxidantes de alimentos en China (Mejía et al. 2009). Además, de la corteza de *Phyllostachys heterocycla* (Poaceae) se aisló el compuesto 2,6-dimetoxi-p-benzoquinona, el cual demostró actividad antibacteriana contra *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus* (Nishina et al. 1991). Esto demuestra que los metabolitos secundarios presentes en las especies de bambú poseen bioactividad importante.

Extracción y cuantificación de lignina ácida insoluble
La lignina ácida insoluble presente en los culmos de *G. angustifolia* se evaluó para cada una de las 63 muestras; luego los valores fueron promediados y analizados por parcela. En el Cuadro 3 se detallan los porcentajes de lignina encontrados en las parcelas evaluadas. Al comparar el porcentaje de lignina insoluble contenida en las muestras colectadas, se observó que el contenido es mayor en las parcelas 2, 3 y 5 del rodal 2 y en las parcelas 3, 5 y 6 del rodal 3. El test de anova no mostró diferencias estadísticas significativas entre parcelas de cada rodal, pero sí entre rodales. El contenido de lignina se encuentra en los rangos reportados para este tipo de cultivo (Sasaki et al. 2013) y no presenta mucha variación a los reportados para otras áreas del departamento de Risaralda (23,60-38,20%) (Mosquera et al. 2010), lo cual puede deberse a las características edáficas y climáticas del suelo.

Caracterización estructural de la lignina ácida insoluble de *G. angustifolia*

La espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FT-IR) ha sido ampliamente utilizada para caracterizar los componentes de la biomasa a través de las bandas de

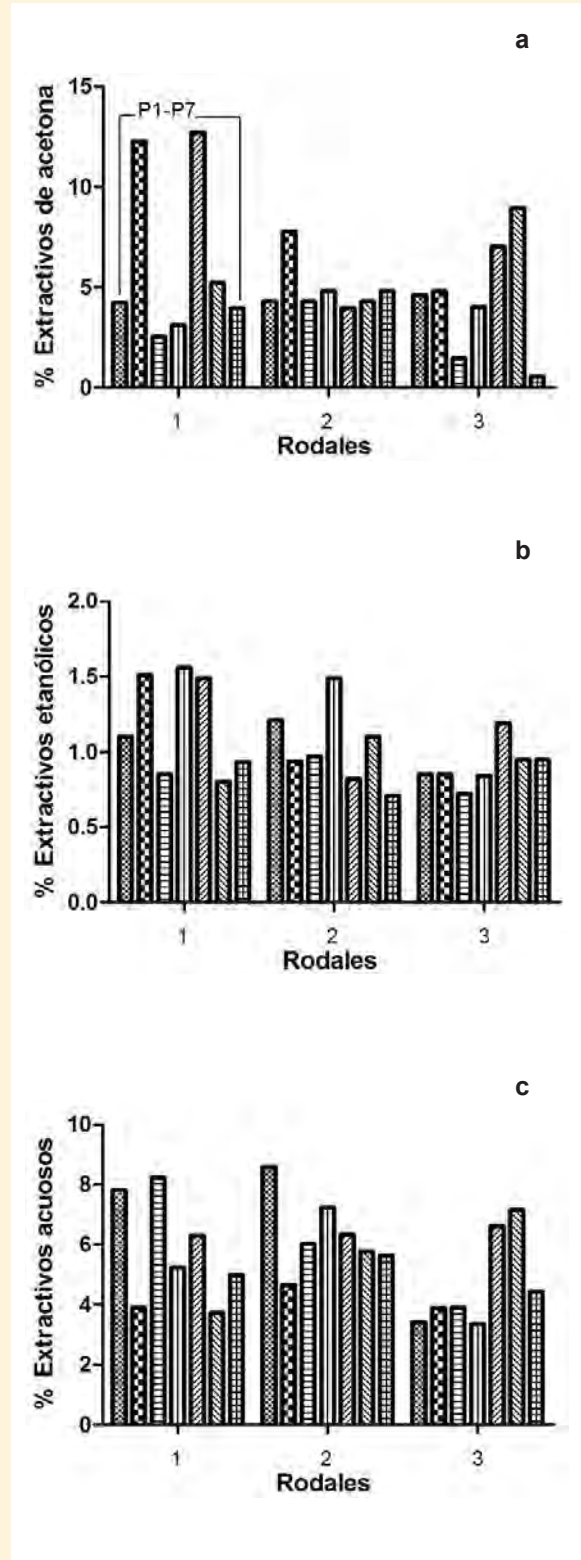


Figura 2. Contenido de extractos de acetona (a), acuosos (b) y etanólicos (c) obtenidos de culmos de *Guadua angustifolia* de finca Yarima, Pereira, Colombia

Cuadro 2. Metabolitos secundarios detectados por CCD en los extractos de acetona de muestras de *G. angustifolia* provenientes de finca Yarima, Pereira, Colombia

Núcleo fitoquímico	Rodal 1							Rodal 2							Rodal 3								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		
Alcaloides	++	++	++	++	++	+	+	-	+	+	-	++	++	+	+	+	+	+	++	-	-	-	
Fenoles	-	-	-	-	+	+	-	-	-	++	++	+	++	++	-	-	-	-	-	+	+	+	
Terpenos	++	+	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++
Flavonoides	++	+++	++	++	++	+	++	+	+++	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++
Saponinas esteroideas	-	+	-	-	+	-	+	+	++	++	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Saponinas triterpénicas	++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+++	++	+++	+++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
Quinonas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

+++ Presencia abundante; ++ Presencia intermedia; + Presencia del núcleo; - Ausencia del núcleo

Cuadro 3. Contenido de lignina ácida insoluble en las parcelas evaluadas de la finca Yarima, Pereira, Colombia

Parcela	% Lignina ± DS*		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3
1	24,70 ± 0,58	26,80 ± 0,13	27,19 ± 1,30
2	28,00 ± 1,03	28,60 ± 0,33	26,38 ± 1,22
3	23,80 ± 1,39	28,80 ± 0,53	29,51 ± 1,22
4	25,30 ± 1,16	28,00 ± 0,49	25,13 ± 0,47
5	24,10 ± 1,11	28,50 ± 0,84	28,45 ± 0,89
6	25,50 ± 1,10	27,20 ± 1,07	28,92 ± 1,73
7	22,80 ± 0,65	27,10 ± 0,64	28,00 ± 0,82

*Valores de la media ± desviación estándar (DS) (n = 2)

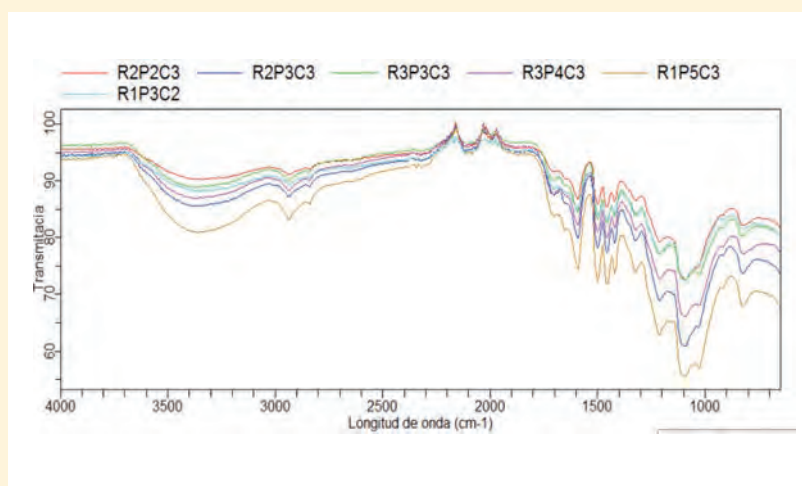


Figura 3. Espectros FT-IR superpuestos de la lignina ácida insoluble procedente de culmos de guadua obtenidos en finca Yarima, Pereira, Colombia

absorción de los grupos funcionales (Xu et al. 2013). Los espectros FT-IR de la lignina ácida insoluble de los culmos de *G. angustifolia* se presentan en la Figura 3, donde se observa una banda ancha de absorción entre 3700 - 3200/cm centrada a 3367/cm. Esta corresponde a la vibración de estiramiento del grupo O-H en anillos aromáticos; asimismo, la banda que se presentó a 2938/cm proviene de las vibraciones simétricas y asimétricas del C-H en grupos metil o metileno (Wen et al. 2013) y, de igual manera, la banda de absorción a 1455/cm es característica de las vibraciones asimétricas del C-H en los grupos metil, metileno y metoxilo (Li et al. 2012).

Los picos a 1593, 1499 y 1421 fueron asignados a las vibraciones del esqueleto aromático, lo cual denota una estructura primaria de la lignina (Xu et al. 2005). La absorción del anillo siringilo se presentó a 1324/cm. Una característica singular de la lignina es la deformación del C-H aromático en el plano, la cual se presenta como una fuerte banda de absorción a 1115/cm y a 1026/cm para estructuras del tipo siringilo y guaiocono, respectivamente. Esto concuerda con el estudio de Sun et al. (2012) con la especie de bambú *Neosinocalamus affinis*, en el cual la lignina fue extraída de los culmos con etanol y álcali.

Los espectros IR de seis muestras de lignina ácida insoluble de la finca Yarima no presentaron diferencias en las bandas de absorción, las cuales fueron del tipo de lignina siringilo-guaiocilo (SG). Este resultado es comparable con lo encontrado por Mosquera et al. (2010) con esta misma especie.

Conclusiones

El contenido de lignina ácida insoluble encontrado en culmos de guadua de tres áreas diferentes en la finca Yarima, Pereira, Colombia, fue más alto en los rodales 2 y 3. Esto evidencia su capacidad para ser usados en construcciones, dado que la lignina le confiere una mayor resistencia y flexibilidad al material.

En los extractos de acetona se determinó la presencia de núcleos fitoquímicos importantes, como fenoles y

flavonoides; sería interesante evaluar la actividad antioxidante de dichos extractos, así como aislar los metabolitos secundarios responsables de estas actividades biológicas para determinar su uso potencial en productos farmacéuticos y cosméticos. Ambos usos darían un mayor valor agregado al cultivo de la guadua en el Eje Cafetero.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a Colciencias (Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia), a la Universidad Tecnológica de Pereira y su Proyecto "Innovación tecnológica para la optimización de procesos y la estandarización de productos en empresas rurales con base en guadua", y a los propietarios de la finca Yarima.

Literatura citada

- Camargo, J.C.; Rodríguez, J.A. 2011. La importancia de la definición de la madurez de culmos de guadua. *In*: Mosquera, O.; Henao, E.; Quintero, H.; Rodríguez, J.; Suárez, J.; Camargo, J. Desarrollo tecnológico para optimizar la calidad de los productos obtenidos de bosques de Guadua: Definiendo la madurez de los culmos y mejorando los procesos de organización. Pereira, Colombia, UTP. p. 15-22.
- Hernández, A.; Arrabal, C.; Montoya, J.A. 2010. Aprovechamiento industrial de *Guadua angustifolia* a partir de los extractos vegetales. *Recursos Naturales y Ambiente* 61: 38-44.
- Kelchner, S.A. 2013. Higher level phylogenetic relationships within the bamboos (Poaceae: Bambusoideae) based on five plastid markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 67(2): 404-413.
- Keski-Saari, S.; Ossipov, V.; Julkunen-Tiitto, R.; Jia, J.; Danell, K.; Veteli, T.; Niemelä, P. 2008. Phenolics from the culms of five bamboo species in the Tangjiahe and Wolong Giant Panda Reserves, Sichuan, China. *Biochemical Systematics and Ecology* 36: 758-765.
- Khalil, H.P.S.; Aprilia, N.A.; Bhat, A.H.; Jawaid, M.; Paradah, M.T.; Rudi, D. 2013. A *Jatropha* biomass as renewable materials for biocomposites and its applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22: 667-685.
- 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.
- Li, M.; Sun, S.; Xu, F.; Sun, R. 2012. Microwave-assisted organic acid extraction of lignin from bamboo: Structure and antioxidant activity investigation. *Food Chemistry* 134(3): 1392-1398.
- Marulanda, L. 2010. Pasado y futuro de los bosques de guadua en el Eje Cafetero Colombiano. El caso de Yarima Guadua. *Recursos Naturales y Ambiente* 61: 6-10.
- Mejía, A.I.; Gallardo, C.; Vallejo, J.J.; Ramírez, G.; Arboleda, C.; Durango, E.S.; Jaramillo, F.; Cadavid, E. 2009. Plantas del género *Bambusa*: importancia y aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. *Vitae* 16: 396-405.
- Mosquera, O.M.; Cortés, Y.J.; Niño, J. 2010. *Guadua angustifolia* en la Ecorregión Cafetera Colombiana. Extracción y cuantificación de lignina insoluble. *Recursos Naturales y Ambiente* 61: 11-17.
- Mosquera, O.M.; Ríos, A.M.; Cortés, Y.J.; Niño, J. 2011. Contenido de azúcares y lignina en culmos de guadua y su estado de madurez. *In*: Mosquera, O.; Henao, E.; Quintero, H.; Rodríguez, J.; Suárez, J.; Camargo, J. Desarrollo tecnológico para optimizar la calidad de los productos obtenidos de bosques de Guadua: Definiendo la madurez de los culmos y mejorando los procesos de organización. Pereira, Colombia, UTP. p. 34-56.
- Nishina, A.; Hasegawa, K.; Uchibori, T.; Seino, H.; Osawa, T. 1991. 2,6-Dimethoxy-p-benzoquinone as an antibacterial substance in the bark of *Phyllostachys heterocycla* var. *Pubescens* a species of thick-stemmed bamboo. *Journal of agricultural and food chemistry* 39(2): 266-269.
- Sasaki, C.; Wanaka, M.; Takagi, H.; Tamura, S.; Asada, C.; Nakamura, Y. 2013. Evaluation of epoxy resins synthesized from steam-exploded bamboo lignin. *Industrial Crops and Products* 43: 757-761.
- Sun, S.; Li, M.; Yuan, T.; Xu, F.; Sun, R. 2012. Sequential extractions and structural characterization of lignin with ethanol and alkali from bamboo (*Neosinocalamus affinis*). *Industrial Crops and Products* 37: 51-60.
- Surveswaran, S.; Cai, Y.; Corke, H.; Sun, M. 2007. Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants. *Food Chemistry* 102: 938-953.
- TAPPI (Leading technical association for the pulp, paper, and converting industry). 2006. T222 om-06. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. 5 p.
- Wagner, H.; Bladt, S. 1996. *Plant drug analysis: A thin layer chromatography atlas*. Berlin, Germany, Verlag Springer.
- Wen, J.; Xue, B.; Xu, F.; Sun, R.; Pinkert, A. 2013. Unmasking the structural features and property of lignin from bamboo. *Industrial Crops and Products* 42: 332-343.
- Xu, F.; Sun, R.; Sun, J.; Liu, C.; He, B.; Fan, J. 2005. Determination of cell wall ferulic and p-coumaric acids in sugarcane bagasse. *Analytica Chimica Acta* 552: 207-217.
- Xu, F.; Yu, J.; Tesso, T.; Dowell, F.; Wang, D. 2013. Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: A mini-review. *Applied Energy* 104: 801-809.
- Xue, B.; Li, M.; Xu, F.; Sun, R.; Jones, G. 2012. Microwave-enhanced alkali treatment of *Pinus yunnanensis*: Physicochemical characterization of the dissolved lignins. *Industrial Crops and Products* 36: 209-216.
- Zhang, Y.; Bao, B.; Lu, B.; Ren, Y.; Tie, X.; Zhang, Y. 2005. Determination of flavone C-glucosides in antioxidant of bamboo leaves (AOB) fortified foods by reversed-phase high-performance liquid chromatography with ultraviolet diode array detection. *Journal of Chromatography A* 1065(2): 177-185.

Concentraciones de una solución preservante a base de ácido bórico y bórax. Evaluación en culmos de *Guadua angustifolia*

Leidy Johanna Guzmán¹; Rodrigo Urbano Enríquez¹; Oscar Marino Mosquera²; Juan Carlos Camargo³

Resumen

El presente trabajo informa de la validación de una técnica potenciométrica que permitió determinar la concentración ideal de una solución preservante a base de ácido bórico y bórax para la preservación de guadua (*Guadua angustifolia*) en la región del Eje Cafetero de Colombia. Se midieron concentraciones de 3% a 11% m/V; a cada solución se les midió pH, conductividad y temperatura. Se dedujo que la conductimetría es la mejor técnica para predecir la concentración de la solución preservante. Se obtuvieron cuatro modelos lineales a partir de la conductividad y la temperatura de la solución; sin embargo, el modelo más práctico es el que solo involucra la medición de la conductividad y una temperatura tomada con un termómetro común. Teniendo en cuenta que para cada valor de conductividad existe un valor de pH asociado, se representó la relación existente entre estas variables por medio de un gráfico de dispersión simple; así se obtuvo un modelo que permite ajustar la concentración ideal de la solución preservante.

Palabras claves: *Guadua angustifolia*; ácido bórico; bórax; conservantes de la madera; potenciometría; conductividad térmica; pH; modelos lineales; Colombia.

Abstract

Concentrations of a preservative solution based on borax and boric acid; evaluation on *Guadua angustifolia*. This study informs about the validation of a potentiometric technique that allowed determining the ideal concentration of a preservative solution based on borax and boric acid, used for preserving guadua culms (*Guadua angustifolia*) in the coffee region of Colombia. Concentrations ranged from 3% to 11% m/V; variables measured were pH, conductivity and temperature. Conductimetry showed to be the best technique to predict the concentration of the preservative solution. Four linear models were obtained basing on conductivity and temperature of the solution; nonetheless, the most practical was the one that implied mensuration of conductivity and a temperature value taken with a common thermometer. Considering that for each conductivity value there is an associated pH value, the relationship between these variables was assessed using a simple graphic dispersion; in this way, a model to set the ideal concentration of the preservative solution was obtained.

Keywords: *Guadua angustifolia*; boric acid; borax; wood preservatives; potentiometry; thermal conductivity; pH; linear models; Colombia.

¹ Universidad Tecnológica de Pereira. leidy915@hotmail.com y urbarod@hotmail.com

² Grupo de Biotecnología-Productos Naturales (GB-PN). Escuela de Tecnología Química. Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. AA 097. La Julita, Colombia. omosquer@utp.edu.co

³ Profesor Titular Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. jupipe@utp.edu.co

Introducción

La guadua es un bambú espinoso perteneciente a la familia Poaceae, subfamilia Bambusoideae, tribu Bambuseae (Martínez 2005). *Guadua angustifolia* Kunth es una de las especies de bambú de mayor demanda y mejor aceptación por parte del sector productivo debido a su capacidad de propagación, rápido crecimiento, utilidad y tradición de uso y el enorme potencial para la construcción, elaboración de muebles, artesanías, fabricación de papel, pisos, modulares y biocombustible. Además, presenta características benéficas para el medio ambiente, por lo que es una especie que podría satisfacer las necesidades más apremiantes de la población (Martínez 2005).

En Colombia la guadua es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas, ya que su utilización como materia prima en la construcción y la industria permite reducir costos (Pérez 2003). Asimismo, sus excelentes propiedades físico-mecánicas, durabilidad a pesar del ataque de insectos, mohos y hongos; belleza escénica y, quizás lo más importante, la diversidad de aplicaciones no igualadas por ninguna especie forestal, hacen de ella una alternativa económica que ha coadyuvado a mitigar la problemática social en el campo (Vélez 2006).

Para lograr un producto de mayor duración es necesario aplicar a la guadua procesos de preservación que garanticen una mayor protección contra plagas, insectos y microorganismos. La preservación de los culmos de guadua se ha realizado por medio de diferentes métodos, como el corte en fase lunar, curado, secado, inmersión en sales, inyección de sales y Boucherie modificado (Montoya 2008). La inmersión salina es el método más empleado debido a su economía, practicidad, simplicidad y alto grado de efectividad (Cruz 1994). La

solución preservante contiene dos químicos cuya actividad principal es fungicida para controlar la aparición de hongos que sirven de alimento a las larvas de insectos xilófagos. Además, actúa como modificador del pH en el culmo de la guadua, de manera que el insecto no encuentra el medio ideal para alimentarse. La ventaja de las sales de boro radica en su acción residual perenne, ya que la solución se cristaliza y se fija en las microcavidades de la guadua, con lo que se altera químicamente el contenido y el pH (Rojas 2003).

Para conocer la eficiencia de estas soluciones salinas se recomienda monitorear su desempeño mediante técnicas analíticas como la potenciometría y conductimetría. Los métodos potenciométricos de análisis se basan en la medida del potencial o fuerza electromotriz de celdas electroquímicas sin paso de corriente apreciable. Durante casi un siglo, la potenciometría se ha usado en la identificación de puntos finales de valoraciones. En los métodos más recientes, las concentraciones iónicas se miden directamente a partir del potencial de electrodos de membrana selectivos de iones. Estos electrodos están relativamente libres de interferencias y constituyen una forma apropiada y no destructiva de determinación cuantitativa de numerosos aniones y cationes de importancia (Skoog 2005). El instrumento de medición del pH tiene por objeto transformar el potencial del electrodo en una indicación correspondiente al pH de la solución a medir. Para este fin es necesario adaptar el instrumento de medición a la curva característica del respectivo electrodo de medición de pH utilizado (Castro 2011). El experimento se fundamenta en la ecuación de Handerson – Halselbalch (1), en donde el pH depende de una relación entre la sal y el ácido (Skoog 2005).

$$pH = pK_a + \log \left(\frac{[Sal]}{[Ácido]} \right) \quad (1)$$

La conductividad de una disolución es una medida de su facilidad para transportar corriente, pues los electrones son transportados por los iones. Los positivos, como el M+ migran a través de la disolución hacia el cátodo, en tanto que los aniones A- se dirigen hacia el ánodo; así se crea un flujo de electrones a través de la disolución (Castro 2011). La conductividad de la disolución depende de dos factores: el número de electrones que cada ion puede desplazar, y la velocidad del ion a través de la disolución (Skoog 2001). La conductividad es directamente proporcional y lineal a la concentración y es altamente dependiente de la temperatura. Esta tiene un doble efecto sobre los electrolitos, ya que influye en su disolución y en la movilidad iónica pues, según Gómez (2010), la conductividad de una disolución aumenta con la temperatura.

El objetivo de este estudio es evaluar, por medio de modelos predictivos, nueve diferentes concentraciones de solución preservante a base de ácido bórico y bórax; los parámetros considerados fueron pH, conductividad y temperatura de la solución. Se espera que los productores de guadua preservada realicen un monitoreo del desempeño de la solución a través del tiempo para determinar su nivel de eficacia.

Concentraciones

Se prepararon soluciones de concentraciones al 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10% y 11% en m/V, mezclando ácido bórico y bórax en relación 1:1 para cada solución. A cada muestra se le midió el pH, la conductividad y la temperatura seis veces, en un número de cuatro réplicas.

Para un segundo experimento se prepararon soluciones al 5% m/V, pero se varió la proporción de ácido bórico y bórax (1:1; 1:4; 4:1; 2:3; 3:2).

Parámetros estadísticos evaluados

Los parámetros estadísticos evaluados fueron los siguientes: precisión, exactitud, repetitividad, reproducibilidad, límite de detección, límite de cuantificación y linealidad, con el fin de validar la técnica de conductimetría (Ministerio de Salud sf, Miller y Miller 2002).

Se recolectaron los datos por medio de un conductímetro Fisher Scientific AB 30 y un pH-metro Fisher Scientific AB 15. Para el análisis se hicieron curvas de calibración obtenidas a partir de serie de patrones.

Resultados y discusión

Se construyeron modelos a partir de regresiones lineales con los datos de conductividad y temperatura (Cuadro 1). El modelo 4 fue el más práctico al momento de realizar el cálculo, puesto que solo involucra la medición de la conductividad y una temperatura que puede ser tomada con un termómetro común.

Los valores de error cuadrático medio (MSE) representan una medida de variabilidad de la conductividad que no es explicada por la

recta de regresión; es decir, lo que el modelo no puede predecir. Como se observa en el Cuadro 1, estos valores son pequeños, por lo que se puede deducir que el ajuste del modelo es adecuado. Este estadístico también indica que la técnica guarda un alto grado de la precisión. El valor del coeficiente de Pearson para los modelos anteriores se encuentra muy próximo a $R = 1,000$, lo que indica una fuerte correlación directa. En cuanto al coeficiente de determinación, en el caso del modelo 1 por ejemplo, el 99,7% de la variable dependiente (conductividad) se explica por el modelo de regresión obtenido (Caberon et al. 2008).

Las concentraciones más utilizadas por los productores de guadua preservada fueron las de 3% y 5% m/V en relación 1:1 (bórax: ácido bórico). El estudio permitió encontrar valores aproximados de pH y conductividad para ambas concentraciones; en el primer caso: $\text{pH} \approx 8,08$ y conductividad $\approx 4,39$ mS; en el segundo caso, $\text{pH} \approx 7,9$ y conductividad $\approx 6,49$ mS. Estos valores pueden ser considerados como una base para el monitoreo de las soluciones preservantes.

Parámetros estadísticos evaluados

Precisión y exactitud: los parámetros de calidad calculados se detallan en el Cuadro 2. Los resultados del coeficiente de variación permiten afirmar que la técnica es precisa, pues los valores son inferiores al 5% para todas las concentraciones. La técnica es también repetible y reproducible ya que hay poca variación entre los datos tomados en un mismo día y los que fueron tomados en condiciones diferentes. La exactitud se reporta como error relativo para cada concentración; estos valores son inferiores al 5%, lo que indica que la técnica de conductimetría es precisa y exacta.

Límite de detección y cuantificación: estos parámetros se calcularon con la desviación estándar de las concentraciones del blanco (agua destilada). Los resultados indican que los modelos empleados lograron detectar y cuantificar bajas concentraciones de los iones, por lo tanto el cálculo de la concentración con esta técnica es muy adecuado, partiendo de que la concentración mínima que utilizan para preservar es de 3% m/V (Cuadro 3).

Linealidad: para observar la linealidad del método, son de gran ayuda el coeficiente de Pearson y el coeficiente de determinación. Un valor cercano a 1,000 indica muy buena relación lineal entre las variables. Se encontró una relación directamente proporcional entre estas las dos variables y se obtuvo un modelo de regresión lineal que permitirá hacer el ajuste en la concentración de la solución. En la Figura 1 se grafica la relación entre las variables de respuesta, conductividad y pH en mS^4 .

El modelo obtenido a partir de la relación entre pH y conductividad fue el siguiente:

Modelo	R	R2	√MSE
$\text{pH} = 8,456 - 0,089\text{Conductividad}$	0,993	0,986	0,028

Cuadro 1. Modelos para determinar la concentración de la solución preservante por medio de la conductividad

Modelos predictivos	√MSE	R	R2
1. $\sigma = -0,874 + 1,005 [\%m/V] + 0,101 \text{TpH}$	0,141	0,999	0,997
2. $\sigma = -0,452 + 1,010 [\%m/V] + 0,083 \text{T}\sigma$	0,158	0,998	0,996
3. $\sigma = -1,013 + 1,000 [\%m/V] + 0,030 \text{T}\sigma + 0,083 \text{TpH}$	0,141	0,999	0,997
4. $\sigma = -0,965 + 1,000 [\%m/V] + 0,106 \text{T}$	0,141	0,999	0,997

MSE: error cuadrático medio
 R²: coeficiente de determinación
 [% m/V]: concentración
 Tσ: temperatura reportada del conductímetro

R: coeficiente de Pearson
 σ: conductividad en mS
 TpH: temperatura reportada del pH-metro
 T: temperatura promedio

Cuadro 2. Parámetros de calidad para la precisión y exactitud

Concentración %m/V	Conductividad									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
N	24	24	24	24	24	15	15	15	15	
Promedio	4,395	5,514	6,514	7,563	8,378	10,13	10,886	11,706	12,686	
% CV	1,411	1,433	1,044	0,926	1,456	0,257	0,781	0,666	1,521	
Varianza S ²	0,004	0,006	0,005	0,005	0,015	0,001	0,007	0,006	0,037	
%Error relativo	1,27	1,62	1,40	1,43	2,48	0,66	2,19	2,01	4,99	

4 La conductividad se reporta en milisiemens (mS) pero en el Sistema Internacional de Unidades (SI) se reporta en Siemens por metro (S/m).

Cuadro 3. Límite de detección y cuantificación para cada modelo predictivo usado

Modelo	Concentración del blanco (% m/V)	Desviación Estándar	LD (% m/V)	LC (% m/V)
1	-1,5242	0,0562	0,1687	0,5624
2	-1,5346	0,0045	0,0136	0,0455
3	-1,5771	0,0442	0,1327	0,4423
4	-1,5869	0,0245	0,0734	0,2447

Cambio en la conductividad y pH con respecto a la proporción

Como se observa en la Figura 2, al aumentar la proporción de bórax aumentan también la conductividad y el pH, debido a que este compuesto es mejor conductor que el ácido bórico y, además, es una base que predomina sobre este ácido débil. Puesto que el experimento se fundamenta por la ecuación de Handerson – Halselbalch (1), la aproximación en cuanto a la proporción de mezcla ácido bórico-bórax en la solución se hará por medio del pH.

Propuesta para ajustar la concentración de solución preservante

Este ajuste se debe hacer para mantener la solución en un estado eficaz de concentración. Para ello se siguen los pasos que se describen a continuación:

- Extraer del tanque una muestra de solución de volumen conocido y medir pH, conductividad y temperatura.
- Elegir de los modelos presentados (Cuadro 1) el que mejor se acople con los datos recolectados y hallar la concentración.
- Con el dato de conductividad, hallar el pH asociado por medio del modelo antes definido ($\text{pH} = 8,456 - 0,089\text{Conductividad}$).
- Si el pH medido en la solución es mayor que el pH asociado hallado, el ajuste deberá realizarse con ácido bórico; hay que agregarlo poco a poco hasta llegar al pH calculado en el paso anterior. Si el pH medido en la solución es menor que el pH asociado, el ajuste deberá realizarse con bórax. Asegúrese de anotar la cantidad de ácido bórico o bórax utilizado.
- Si se requiere ajustar la solución a una concentración mayor de la hallada, el ajuste deberá realizarse con una mezcla sólida 1:1 de ácido bórico y bórax. Agregue poco a poco hasta obtener la conductividad de la concentración deseada. Si se requiere ajustar a una concentración menor, el ajuste deberá realizarse adicionando agua.
- Efectuar el cálculo estequiométrico para determinar la cantidad del compuesto adicionado que se debe suministrar a toda la solución presente en el tanque, ya sea bórax, ácido bórico, mezcla 1:1, o agua.



Foto: Grupo GATA

Proceso de inmersión de culmos de guadua en tanque de preservación

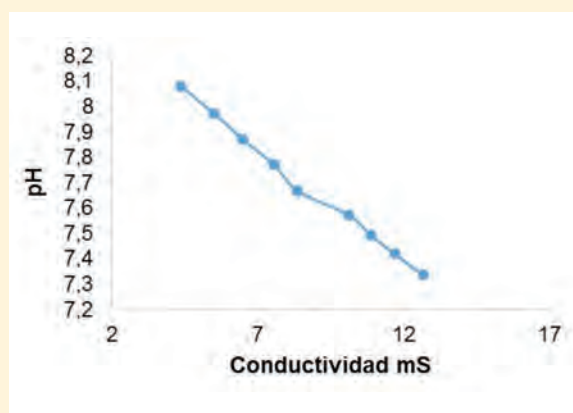


Figura 1. Relación entre pH y conductividad

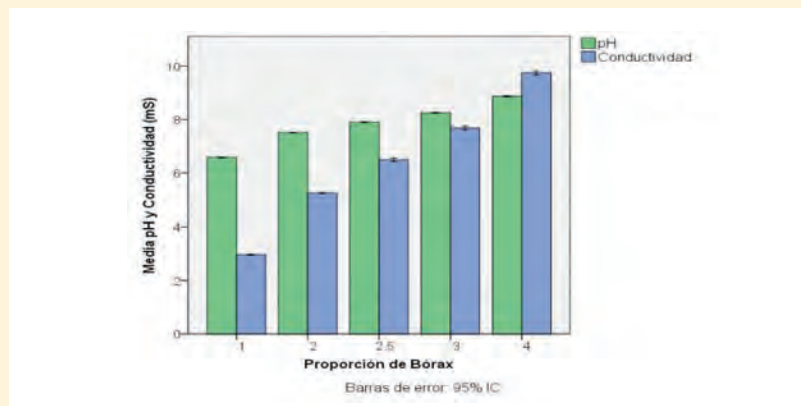


Figura 2. Medias de conductividad y pH vs. proporción de bórax

Para disolver la mezcla de sales en los pasos 1 y 2, se debe agitar en forma mecánica, sin importar el tiempo que se tarde pues, si la solución se calienta, se incrementa la conductividad e induce al error. Para disolver las sales para toda la solución presente en el tanque, según lo determinado con el paso 6, se toma una cantidad de solución extraída del tanque y se mezcla; durante este procedimiento sí se puede calentar la solución.

Conclusiones

De los cuatro modelos evaluados se recomienda emplear el modelo 4 por ser el más práctico, ya que solo involucra la medición de la conductividad y una temperatura que puede ser tomada con un termómetro común.

Para predecir la concentración a partir de los modelos que involucran la medición de la conductividad y proceder a ajustar la solución, es necesario al menos un equipo que mida la conductividad y el pH. La temperatura puede tomarse con un termómetro común.

Es necesario que la solución preservante se mantenga en un nivel de concentración ideal durante todo el tiempo que dure el proceso. Con este fin se definió una serie de pasos para realizar el ajuste de la concentración.



Foto: Grupo GATA

Culmos de guadua inmersos en tanque de preservación. Se utilizan bloques de concreto para sumergir los culmos totalmente

Literatura citada

- Caberon, T.; Quintín, M.; Santana, Y. 2008. Tratamiento estadístico de datos con SPSS. Madrid, España, Thomson. 450 p.
- Castro, F. 2011. Análisis instrumental. Pereira, Colombia, UTP. 471 p.
- Cruz, H. 1994. La guadua: nuestro bambú. Armenia, Colombia, Fudegraf. 291p.
- Gómez, C. 2010. Conductividad de las disoluciones electrolíticas. Valencia, España, Universidad de Valencia. 8 p.
- Martínez, H. 2005. La cadena de la guadua: una mirada global de su estructura y dinámica. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 26 p.
- Miller, N.; Miller, J. 2002. Estadística y quimiometría para química analítica. 4 ed. Madrid, España, Prentice Hall. 286 p.
- Ministerio de Salud (S.f.). Guía de validación de métodos analíticos. Consultado en septiembre, 2014. <http://www.ministeriodesalud.gov.cr/empresas/protocolos/guiavalidacionmetodosanaliticos.pdf>
- Montoya, J.A. 2008. Evaluación de métodos para la preservación de *Guadua angustifolia* Kunth. Scientia Et Technica XIV(38): 5p.
- Pérez, C. 2003. La cadena de la guadua en Colombia. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 28 p.
- Rojas, R. 2003. Preservación de la guadua. Cali, Colombia, Universidad San Buenaventura. 10 p.
- Skoog, D. 2001. Principios de análisis instrumental. 5 ed. Madrid, España, McGraw-Hill. 1024 p.
- Skoog, D. 2005. Fundamentos de química analítica. 8 ed. México, Cengage. 1065 p.
- Vélez, S. 2006. La guadua angustifolia "bambú colombiano". Consultado junio 2012. http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6130/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf?sequence=6

Diversidad vegetal de los bosques de guadua en el Eje Cafetero de Colombia

Fernando Ramírez Díaz¹, Juan Carlos Camargo²

Resumen

Con el propósito de determinar el estado y valor de los bosques dominados por guadua en la zona cafetera de Colombia, se evaluó la diversidad vegetal en dos fincas localizadas en zonas representativas del paisaje altamente fragmentado de esta región. Se contabilizaron 73.000 individuos entre plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas. Se registraron 67 familias botánicas y 197 géneros; el 88% de las familias estuvieron representadas por dos géneros o más; las más abundantes fueron Moraceae (12 géneros), Rubiaceae (12), Solanaceae (11) y Araceae (9). El hallazgo de especies fuera del rango de distribución reconocido a la fecha exige estrategias inmediatas de conservación, especialmente si se considera que estos bosques son cosechados periódicamente. Se resalta la importancia de los bosques de guadua para la conservación de la biodiversidad en paisajes altamente fragmentados.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; bosques; bosque fragmentado; composición botánica; biodiversidad; conservación; diversidad biológica; Colombia.

Abstract

Plant diversity in guadua forests from the coffee region in Colombia. In order to determine the state and value of forests dominated by guadua in the coffee region in Colombia, plant diversity was assessed in two farms representative of the highly fragmented landscape of this region. 73,000 plants (herbaceous, shrubs and trees) were registered; they belonged to 67 botanical families and 197 genera. About 88% of the families had two or more genera, being Moraceae (12 genera), Rubiaceae (12), Solanaceae (11) and Araceae (9) the most abundant. Finding species out of their distribution range requires immediate conservation strategies, especially taking into consideration that these forests are harvested periodically. The importance of guadua forests for biodiversity conservation in highly fragmented landscapes is highlighted.

Keywords: *Guadua angustifolia*; forest; fragmented Forest; botanical composition; biodiversity; conservation; biodiversity; Colombia.

¹ Estudiante Maestría en Biología Vegetal. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. framirezdz@utp.edu.co

² Profesor titular. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. jupipe@utp.edu.co

Introducción

El uso y cobertura de la tierra definen mosaicos paisajísticos constituidos por espacios naturales y antrópicos que varían de modo dinámico en cuanto a forma, tamaño y disposición (Forman y Godron 1986, Krummel et al. 1987). Los patrones espacio-temporales de estos mosaicos son el resultado de complejas interacciones entre factores físicos, biológicos, sociales y económicos (Urban et al. 1987) y sugieren una relación entre la configuración espacial de los espacios y sus procesos ecológicos (O'Neill et al. 1988).

La creciente intervención humana en los paisajes y la fragmentación de hábitats están entre las mayores amenazas para la biodiversidad en todo el mundo (Noss 1987, Wilcox y Murphy 1985). Esto puede generar una reducción progresiva del hábitat natural y, como consecuencia, su división en pequeños espacios aislados (Noss y Cooperride 1994).

Con la fragmentación y destrucción de un hábitat se genera un cambio progresivo en la configuración del paisaje; dicho cambio puede definirse mediante cinco variables paisajísticas: cantidad de hábitat, densidad regional de especies, número de fragmentos de hábitat, tamaño medio de los fragmentos y distancia entre fragmentos. De acuerdo con Saunders et al. (1991), Andrén (1994) y Fahrig (2003), estas variables están interrelacionadas, cambian de manera simultánea y tienen, en conjunto, una incidencia perniciosa sobre la supervivencia de las especies afectadas. Entre las consecuencias más evidentes están:

- Pérdida regional en la cantidad de hábitat, con la consiguiente reducción del tamaño de las poblaciones afectadas y disminución de la densidad regional de especies.
- Disminución del tamaño medio de los fragmentos y aumento del

número de fragmentos de hábitat resultantes. Esto reduce progresivamente el tamaño de las poblaciones en cada fragmento, con lo cual aumenta el riesgo de que alcancen un umbral por debajo del cual la población es inviable.

- Aumento de la distancia entre fragmentos, lo que dificulta el intercambio de individuos entre las poblaciones aisladas y la restauración por recolonización; eventualmente, podría darse la extinción de organismos.
- Aumento de la relación perímetro/superficie y una mayor exposición del hábitat fragmentado a múltiples interferencias procedentes de los hábitats periféricos, lo que ocasiona un creciente efecto de borde que deriva en un deterioro de la calidad del hábitat en regresión y afecta la supervivencia de las poblaciones ubicadas en los fragmentos.

Los fragmentos boscosos dominados por la especie de bambú *Guadua angustifolia* representan los últimos relictos de bosque en la zona cafetera de Colombia, entre los 900 y los 2000 msnm. En esta zona, los bosques han sido eliminados por la expansión de las actividades agropecuarias y la urbanización; sin embargo, los relictos ofrecen posibilidades de hábitat para gran cantidad de especies de flora y de fauna.

Los guaduales se ubican principalmente cerca de los cuerpos de agua o en zonas de drenaje en temporada de lluvias, o donde la topografía dificulta la actividad agropecuaria. Estos bosques suman alrededor de 28.000 ha en esta región (Kleinn y Morales 2006) y, a pesar de su alto grado de fragmentación, proveen beneficios como la protección del suelo, la regulación hídrica y hábitat para la biodiversidad; por ello, son escenarios importantes para la vida silvestre en la región (Camargo et al. 2011). Asimismo, estos bosques son fuente de madera para diversos usos;

desde hace varios años, son cosechados a diferentes intensidades como una forma de mejorar los medios de vida de las comunidades campesinas (Camargo et al. 2007).

A pesar del alto grado de fragmentación –la mayoría de los fragmentos son menores de 5 ha (Camargo y Cardona 2005), estos bosques representan un conjunto de escenarios inscritos en paisajes heterogéneos a nivel regional, favorecen la conservación de la biodiversidad y regulan los efectos de las actividades productivas. De manera contradictoria, las actividades productivas son causantes de buena parte de la pérdida de diversidad biológica en el mundo (Noss 1987). La conservación de la diversidad incorpora dos elementos: riqueza de especies (el número de especies dentro de una comunidad) y abundancia (nivel de participación de cada especie en la comunidad); ambos elementos pueden ser descritos para obtener información sobre el estado de los ecosistemas (Jaksic y Marone 2007).

Con el propósito de contribuir al conocimiento de la biodiversidad de los bosques de guadua, en este trabajo se evaluó la riqueza y la abundancia de especies vegetales asociadas en dos sitios ubicados en la zona cafetera de Colombia.

Área de estudio y localización geográfica de los fragmentos

La investigación se realizó en la cuenca baja del río La Vieja, en bosques de guadua certificados por Forest Stewardship Council (FSC). El primer sitio se ubica en la finca Yarima, a 1150 msnm en la vereda Los Planes, en el suroeste del municipio de Pereira; la temperatura media es de 22°C y la precipitación promedio anual de 2500 mm. La finca cuenta con 27 ha de bosques naturales de guadua en suelos inceptisoles ligeramente ácidos; hay tres fragmentos de 11 ha, 6 ha y 10 ha; en 10 ha especialmente bien ubicadas se definieron rodales para fines de manejo.

El segundo sitio se ubica en el Núcleo Forestal de Guadua La Esmeralda (NFGLE), vereda La Esmeralda, Corregimiento de Pueblo Tapao, municipio de Montenegro. El núcleo está conformado por ocho predios o fincas que cuentan con un área total de 187,78 ha, de las cuales 11,3 ha (6%) están cubiertas por bosques de guadua. El área bajo guadua corresponde a dos rodales de 3,6 ha (Lote 1) y 7,7 ha (Lote 2). El Lote 1 incluye los predios (Guadualito, La Esmeralda, La Manuela y El Bambusal); el Lote 2, los predios La Negrita, La Manila y El Volga. Estas fincas se encuentran a 1200 msnm, con pendientes entre 7-12%, con una temperatura media anual de 24°C y una precipitación media de 1600 mm/año.

Establecimiento de las parcelas dentro de los fragmentos de bosque

Se mapearon las zonas cubiertas por bosques de guadua en los dos sitios. Por medio del software ArcMap®,

se superpuso al mapa original una rejilla de parcelas cuadradas de 10 m x 10 m (100 m²). Posteriormente, de manera aleatoria, se seleccionaron 41 parcelas en rodales de la finca Yarima y 33 parcelas en el NFGLE. El muestreo de diversidad se realizó según la metodología de Gentry (1982) con las adaptaciones propuestas por Villarreal et al. (2006). Se realizaron cuatro muestreos entre diciembre 2012 y octubre 2013, los cuales cubrieron la totalidad de un ciclo anual de distribución de lluvias. En cada muestreo se contabilizaron las especies presentes en las 74 parcelas seleccionadas. Se determinó la abundancia relativa para cada taxón.

Resultados y discusión

En los muestreos realizados en la finca Yarima y el NFGLE se contabilizaron 73.000 individuos de plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas. Estas plantas pertenecen a 67 familias botánicas y 197 géneros. El 88,32% de las familias encontradas tienen dos o más géneros repre-

sentados; las familias Moraceae, Rubiaceae, Solanaceae y Araceae fueron las más abundantes con 12, 12, 11 y 9 géneros respectivamente (Figura 1).

Ospina (2002), en su estudio sobre diversidad vegetal asociada a bosques de guadua, reportó para esta misma zona geográfica 51 familias botánicas y 182 especies. Tales valores son mucho más bajos que lo encontrado en este estudio; aunque se debe reconocer que el muestreo de Ospina (2002) se realizó solamente en el primer semestre del año 2002. Es necesario analizar estos resultados en función de sus particularidades e importancia biológica.

La mayor abundancia correspondió a la familia Araceae, con el 49,5% de los registros; se destaca la presencia del género *Arisaema* sp. (Figura 2) y la especie *Anthurium pentaphyllum* (Aubl.). De la familia Orchidaceae se encontraron tres especies: *Galeandra beyrichii* Rchb.f. (1850) (Figura 3), *Trizeuxis falcata* Lindl., Coll. Bot.: t. 2 (1821)

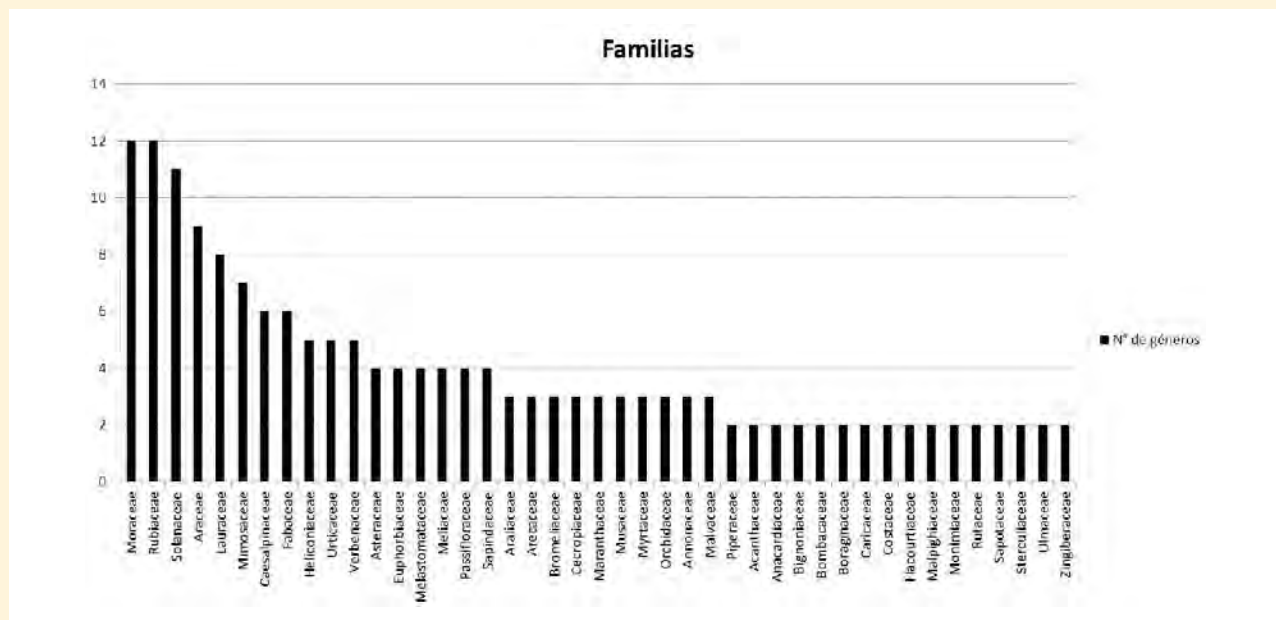


Figura 1. Familias botánicas con presencia de dos o más géneros en los bosques de guadua pertenecientes a la Finca Yarima y al Núcleo Forestal de Guadua La Esmeralda, cuenca del río La Vieja, Colombia



Figura 2. Planta del género *Arisaema* sp. perteneciente a la familia Araceae



Figura 3. *Galiandra beyrichii*, familia Orchidaceae, especie de gran valor científico

y *Erythrodes hirtella* (Sw.) Fawc. & Rendle. Estas tres especies, junto con *A. pentaphyllum* y las del género *Arisaema*, son de gran valor científico por lo que exigen un seguimiento cuidadoso para su conservación. El rango de distribución de *Arisaema* en América se circunscribe a la región de Norteamérica (Govaerts y Frodin 2002); *A. pentaphyllum* presenta una distribución en el trópico americano que excluye a Colombia (Forzza 2010). El hallazgo de estas especies en los bosques muestreados extiende los rangos de distribución reconocidos hasta la fecha y exige estrategias inmediatas de conservación, dado que los bosques donde fueron encontradas se encuentran bajo manejo. Las tres especies de orquídeas son potencialmente más susceptibles y propensas a cambios ecosistémicos (Calderón 2007) y podrían ser consideradas bioindicadoras de la salud de los ecosistemas (Sydes 1994), debido a que son altamente sensibles a disturbios ambientales y climáticos (Rumpff et al. 2008) por lo que su presencia va a depender del grado de disturbios en los bosques.

También se encontraron plantas con alto valor comercial, como especies pertenecientes al orden Zingiberales (*Zingiber spectabile* Griff. 1754, Figura 4) y otras especies de las familias Araceae y Heliconiaceae.

Conclusiones

Los productores locales y regionales tienen por delante un gran reto para garantizar la sostenibilidad de los recursos contenidos en los guaduales: conciliar los procesos productivos asociados con el aprovechamiento de la guadua, con el cuidado y conservación de la diversidad vegetal presente.

La diversidad vegetal no solo es un elemento de valor científico, sino que también representa una posibilidad de crear estrategias de aprovechamiento comercial de espe-



Figura 4. *Zingiber spectabile*, especie de alto valor comercial

cies vegetales presentes en los bosques de guadua. A la vez, la diversidad biológica favorece la calidad del ecosistema.

La mayoría de los bosques de guadua existentes en el eje cafetero se encuentran bajo manejo y son cosechados periódicamente. Por eso, se hace necesario plantear estrategias que garanticen la sostenibilidad de la diversidad vegetal que esos bosques albergan, puesto que la dinámica -tanto en diversidad como en abundancia de especies- permite visibilizar un ecosistema frágil pero vital en la constitución del mosaico paisajístico de la zona cafetera colombiana. 🌿

Literatura citada

- Andrén, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos* 71: 355-366.
- Calderón, E. (Ed.). 2007. Libro rojo de plantas de Colombia: Orquídeas. Bogotá, Colombia, Instituto Alexander von Humboldt – Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. V. 6, Primera parte.
- Camargo, J.C.; Cardona, G. 2005. Análisis de fragmentos de bosque y guaduales. *In: Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas*. Pereira, Colombia, CIPAV-CATIE-Banco Mundial-GEF-LEAD. Unpublished project report. 38 p.
- Camargo, J.; García, J.; Morales, T. 2007. 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, Colciencias-UTP-GATA. 88 p.
- Camargo, J.; Rodríguez, J.; Niño, J.; Mosquera, O.; Ríos, A.; Cortés, Y.; Quintero, H.; Henao, E.; Monroy, M.; Arango, A.; Suárez, J. 2011. Desarrollo tecnológico para optimizar la calidad de los productos obtenidos de bosques de guadua: definiendo la madurez de los culmos y mejorando los procesos de organización. Pereira, Colombia, Colciencias-UTP-GATA. 138 p.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34: 487-515.
- Forman, R.; Godron, M. 1986. *Landscape ecology*. New York, Wiley. 619 p.
- Forzza, R.C. 2010. Lista de espécies Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010>.
- Gentry, A. 1982. Patterns of neotropical plant diversity. *Evolutionary Biology* 15: 1-84.
- Govaerts, R.; Frodin, D. 2002. World checklist and bibliography of Araceae. Royal Botanical Gardens, Kew. 568 p.
- Jaksic, F.; Marone, L. 2007. *Ecología de comunidades*. 2 ed. ampl. Santiago, Chile, Universidad Católica de Chile. 336 p.
- Kleinn, C.; Morales, D. 2006. An inventory of Guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. *Eur J Forest Res.* 125 (4): 362-368.
- Krummel, J.; Gardner, R.; Sugihara, G.; O'Neill, R. 1987. Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos* 48: 321-324.
- Noss, R.F. 1987. Protecting natural areas in fragmented landscapes. *Natural Areas Journal* 7: 2-13.
- Noss, R.; Cooperrider, A. 1994. *Saving Nature's Legacy: Protecting and restoring biodiversity*. Washington, D.C., USA, Defenders of Wildlife. 415 p.
- O'Neill, R.V.; Krummel, J.R.; Gardner, R.H.; Sugihara, G.; Jackson, B. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 153 -162.
- Ospina, R. 2002. Factores que determinan las características florísticas y estructurales de los fragmentos dominados por *Guadua angustifolia* Kunth en el eje cafetero colombiano y su relación con el aprovechamiento de guadua. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 52 p.
- Rumpff, L.; Coates, F.; Messina, A.; Morgan, J. 2008. Potential biological indicators of climate change: Evidence from phenology records of plants along the Victorian coast. Melbourne, Australia, Victorian Government Department of Sustainability and Environment.
- Saunders, D.A.; Hobbs, R.J.; Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology* 5: 18-32.
- Sydes, M. 1994. Orchids: indicators of management success? *The Victorian Naturalist* 111: 6.
- Urban, D.; O'Neill, R.; Shugart, H. 1987. Landscape ecology, a hierarchical perspective. *BioScience* 37: 119-127.
- Villarreal, H.; Álvarez, M.; Córdoba, S.; Escobar, F.; Fagua, G.; Gast, F.; Mendoza, H.; Ospina, M.; Umaña, A. 2006. *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá, Colombia, Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 236 p.
- Wilcox, B.; Murphy, D. 1985. Conservation strategy: The effects of fragmentation on extinction. *American Naturalist* 125: 879-887.

Bases para la aplicación de REDD+ en ecosistemas boscosos del Eje Cafetero de Colombia

Ángela María Arango Arango¹, Miguel Ángel Amézquita Berjan², Juan Carlos Camargo García³.

Resumen

Con el presente trabajo se ha tratado de definir lineamientos para el correcto desarrollo de proyectos REDD+ a nivel jurisdiccional o regional en el departamento de Risaralda, Eje Cafetero de Colombia. Por medio de actividades de caracterización de ecosistemas boscosos y determinación del grado y nivel de deforestación y/o degradación de los bosques se han logrado avances en la preparación de proyectos REDD+. La evaluación de diferentes proyectos y acciones que se desarrollan en el territorio evaluado, así como la participación de organizaciones e instituciones locales hacen prever un buen desempeño en la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques.

Palabras claves: Bosques; ecosistema; deforestación; degradación ambiental; reducción de emisiones; proyectos de desarrollo; participación de la comunidad; Colombia.

Abstract

Basis for the implementation of REDD+ in forest ecosystems from the colombian coffee region. Laying the groundwork for the implementation of REDD+ in forest ecosystems in the coffee region of Colombia. The aim of this study was to define the guidelines for the proper development of REDD+ jurisdictional or regional projects in the Department of Risaralda, Colombian coffee region. By characterizing forest ecosystems and determining the degree and level of deforestation and/or forest degradation, progress has been made in the preparation of REDD+ projects. The evaluation of different projects and activities held within the territory, as well as the participation of local organizations and institutions do provide a good performance in emission reductions from deforestation and forest degradation.

Keywords: Forests; ecosystem; deforestation; environmental degradation; reducing emissions; development projects; community participation; Colombia.

1 Administradora Ambiental. Estudiante de Maestría en Ecotecnología. Joven Investigador Colciencias. Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos, Universidad Tecnológica de Pereira, amarango@utp.edu.co.
 2 Administrador Ambiental. Estudiante de Maestría en Ciencias Ambientales. Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. maamezquita@utp.edu.co.
 3 Profesor Titular, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. jupipe@utp.edu.co

Introducción

Los efectos negativos del cambio climático sobre el planeta no se han hecho esperar: inundaciones, sequías y variabilidad climática ya empiezan a afectar a comunidades y poblaciones humanas, vegetales y animales. Si bien se dice que el cambio climático es un fenómeno natural, para nadie es un secreto que las intervenciones antrópicas han desencadenado los efectos mucho antes de lo previsto (Nagendra 2007). Ante este panorama se han desarrollado básicamente dos opciones para enfrentarlo: la mitigación y la adaptación (Glemarec 2011). La mitigación consiste en realizar acciones encaminadas a reducir las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, mientras que la adaptación consiste en adecuar las condiciones de vida a los constantes cambios del medio (IPCC 2002).

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), el sector forestal bien pudiera contribuir con las acciones de mitigación y adaptación por medio de incentivos financieros para actividades de forestación y reforestación. El mecanismo de desarrollo limpio (MDL), creado por el Protocolo de Kioto, brinda este tipo de incentivos para los países en desarrollo (CMNUCC 1997). La Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), realizada en Bali durante 2007 (IPCC 2007), reconoció la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD) como un mecanismo válido para la mitigación del cambio climático. Este mecanismo tiene como principio básico la posibilidad de que los países en desarrollo que están emitiendo GEI provenientes de actividades de deforestación reciban una compensación financiera por detener dicha práctica.

Varios autores coinciden en que para la implementación de REDD se requieren cuatro pasos básicos: ámbito, escala, financiamiento y nivel de referencia (Angelsen 2008, Angelsen et al. 2010, Arriaga 2012, Parker et al. 2009). Sin embargo, se quedan cortos en cuanto a temas necesarios, como la medición y monitoreo; por ello, con el fin de dar cumplimiento a nuevos objetivos y retos planteados se agregó un “plus” (+): (el papel de la conservación, el manejo sostenible de los bosques y el aumento en las reservas de carbono). Se incluyeron, además, actividades de monitoreo, reporte y verificación (MRV), cobeneficios y salvaguardas, el respeto y la participación de los pueblos indígenas y comunidades locales y la distribución justa de beneficios (Angelsen et al. 2008, Arriaga 2012, Parker et al. 2009).

Si bien todavía no se cuenta con un marco general para la aplicación de este incentivo, las experiencias en mercados voluntarios hacen creer que esta opción es viable no solo a nivel de país, sino a escalas regionales y/o jurisdiccionales en las cuales se establezcan actividades de implementación temprana.

Por la superficie de bosques con que cuenta, la región de América Latina y el Caribe ofrece un gran potencial para el mecanismo REDD+ (Antonissen 2010), a pesar de que existen marcadas diferencias a nivel de regional. Algunos países como Brasil, Perú, Bolivia, Venezuela y Colombia poseen amplias coberturas boscosas; otros, como los países de Centroamérica, tienen poca superficie y cobertura boscosa y otros más, tienen territorios extensos pero con poca cobertura boscosa.

El mecanismo REDD+ considera una amplia gama de actividades elegibles (CMNUCC 2008); sin embargo, hay muchas interrogantes acerca de la puesta en práctica de este mecanismo, comenzando por las regulaciones, la implementación, el financiamiento y la gobernanza.

En territorios específicos, la forma de implementación más comúnmente utilizada son los proyectos de REDD+ (ONF 2010). Este enfoque ha sido usado para la ejecución de acciones tempranas en territorios específicos, con procesos sencillos y replicables a escalas mayores.

Mediante este estudio se ha tratado de analizar los elementos institucionales y legales del departamento de Risaralda que favorecen o limitan la implementación de un mecanismo REDD+ en el territorio. Se buscó respuesta a una interrogante en concreto: ¿Es posible incluir el territorio de Risaralda en un proyecto REDD+ mediante el enfoque de proyectos anidados y/o jurisdiccionales para la mitigación del cambio climático?

Bases para la aplicación de REDD+ en Risaralda

En el desarrollo de la estrategia REDD+, se han dado múltiples discusiones acerca de lo que se requiere para su implementación y han aparecido diversas metodologías para medir la reducción de emisiones de carbono y GEI. Dos de las utilizadas son el estándar verificado de carbono (*verified carbon standard, VCS*) y, como parte de ese estándar, el marco jurisdiccional y anidado para proyectos REDD+ (*jurisdictional and nested REDD+ framework, JNR*) (VCS 2012).

En términos territoriales también se ha avanzado en la definición de las condiciones básicas del territorio para el desarrollo de proyectos REDD+. En el ámbito de proyectos de carbono forestal, se han establecido criterios puntuales como la definición de bosque para el país, el tipo de reservorio de carbono, el tipo de deforestación en la zona de interés, los agentes y motores de la deforestación (Languado 2012). La última versión del documento de preparación de la estrategia REDD+ Colombia y de consolidación de la estrategia REDD+ a nivel

país apunta hacia la aplicación del mecanismo a escala de proyectos (MADS 2011). El departamento de Risaralda se ha considerado como una de las principales opciones para implementar esta estrategia.

Enfoque anidado

El enfoque anidado es un marco conceptual propuesto para estructurar mecanismos efectivos de incentivos que ayuden a reducir la emisión de GEI producidos por la deforestación y la degradación de los bosques en múltiples escalas (Pedroni 2012). Este enfoque permite incentivar acciones tempranas e insertarlas en esquemas más amplios o subnacionales, y luego en esquemas nacionales. Además, permite colocar incentivos en el nivel más apropiado de gobernanza; acelerar el proceso de implementación de proyectos REDD+; fomentar la participación de las comunidades locales; fortalecer los marcos nacionales de implementación de REDD+ (Pedroni 2012), y promover el desarrollo de capacidades de medición, reporte y verificación.

No se han definido pasos específicos para la ejecución del enfoque anidado; el proceso, más bien, se puede adaptar al contexto en el que se lleve a cabo. Sin embargo, FTFCF (2013) propone tres fases para el desarrollo de un enfoque anidado:

Primera fase: el país, estado o provincia establece los criterios para la aprobación de los proyectos piloto REDD+, así como una estrategia para controlar la deforestación y la degradación y un objetivo de reducción de emisiones provocadas por la degradación y deforestación.

Segunda fase: se considera la capacidad técnica e institucional adicional requerida para la implementación del proyecto. En la medida de lo posible, se debe crear un sistema nacional o subnacional de vigilancia y registro de la reducción de las emisiones y un sistema de seguimiento y participación.

Tercera fase: se desarrollan los requisitos nacionales de referencia y de MRV, así como los mecanismos de conciliación con las comunidades (participación comunitaria).

La distribución de beneficios mediante el enfoque anidado es muy positiva, ya que los recursos llegan directamente a los proyectos, con lo que se evitan filtros que, a la larga, se convierten en cargas administrativas que implican gastos adicionales al proyecto.

Departamento de Risaralda y Opciones REDD+

Uso del suelo y vocación de uso: Para efectos de planificación del departamento se han identificado tres subregiones con características biofísicas, económicas y socioculturales diferentes: la subregión I corresponde a la vertiente oriental del río Cauca, la subregión II corresponde a la vertiente occidental del río Cauca y la subregión III, a la vertiente del Pacífico risaraldense (Carder 2011). Según el Plan de Gestión Ambiental de Risaralda (PGAR 2002-2012), la mayor extensión del suelo se encuentra cubierta por bosque natural secundario (152.220 ha), que representa el 42% del territorio del departamento y se localiza en las subregiones I y III (Carder 2011). En segundo lugar aparecen los cultivos permanentes y semipermanentes y en tercer lugar, los pastos manejados; de hecho, este uso se considera como una de las

amenazas latentes para la deforestación (Arango 2011).

El Conif (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal) en convenio con la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (Carder), realizó en el 2011 una actualización de usos de la tierra en la zona rural de los catorce municipios del departamento a una escala de 1:25.000 (Figura 1). Se determinaron los usos del suelo y se recopiló información acerca de coberturas del suelo, según información recolectada por el Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) con la metodología *Corine Land Cover*. Con esta metodología se determinaron cuatro categorías: territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, y superficies de agua (Conif 2011). Se encontró que la mayor parte del territorio de Risaralda está bajo algún esquema de protección y que predomina la cobertura de bosque denso alto de tierra firme (48,9%), seguido por el bosque fragmentado con pastos y cultivos, los pastos limpios (o manejados), los mosaicos de cultivos (pastos / espacios naturales) y el café (Cuadro 1) (Conif 2011).

Hay una marcada diferencia entre las subregiones: en la subregión I se encuentran zonas urbanas y bosques de guadua cerca de los cauces; en la subregión II predominan los cultivos (en especial café) y otros arreglos agrícolas (policultivos); en la

Cuadro 1. Vocación de uso y cobertura de suelos en el departamento de Risaralda, Colombia

Vocación de uso	Usos	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Agrícola	Cultivo anual y semestral, permanente y semipermanente	57.6757	21
Agroforestal	Suelo agrícola, agro/silvo/pastoril y pastoril	55.0608	20
Ganadera	Pastoreo intensivo y extensivo	10.4332	4
Forestal	Protección, protección/producción, producción	146.3072	54
Cuerpos de agua	Conservación Recreación	2.0539	1
Zonas urbanas		0,9645	0,3
TOTAL		272,4953	100

Fuente: CONIF (2011)

DEPARTAMENTO DE RISARALDA
COBERTURA Y USOS DE LA TIERRA AÑO 2011

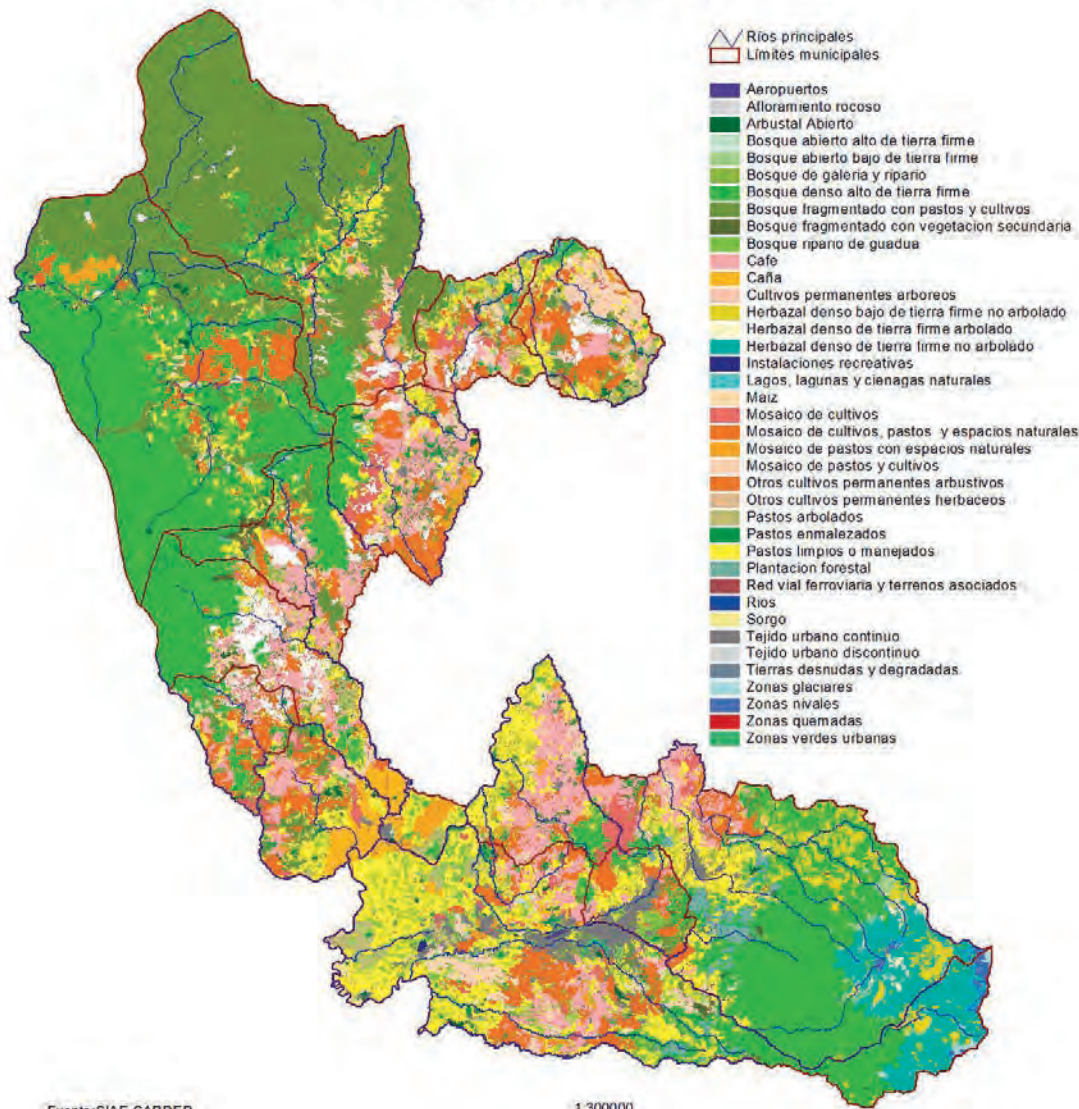


Figura 1. Cobertura del suelo en el departamento de Risaralda, Colombia
 Fuente: Conif (2011).

subregión III predomina la cobertura boscosa. Conif (2011) reconoce el proceso de fragmentación paulatina de los bosques en la región debido al aumento de la actividad ganadera.

Según Arriaga (2012), la tasa de cambio del uso del suelo en Colombia es de 0,08%; para Risaralda se ha informado de una deforestación de 1346 ha/año, sobre

todo en la subregión III (Cabrera et al. 2011, González et al. 2011). En la Figura 2 se observan los focos de deforestación. La presencia de zonas deforestadas coincide con los asentamientos de comunidades indígenas y territorios colectivos de las negritudes (Carder 2011), así como explotación minera, vías de acceso a territorios y cambio de usos del suelo

hacia ganadería, principalmente (Carder 2011, MIDAS/USAID 2008a, MIDAS/USAID 2008b).

Opciones REDD+: casi el 49% del territorio del departamento de Risaralda se encuentra bajo alguna forma de protección. El nuevo PGAR (2009-2019) se enfoca en hacer de Risaralda un bosque modelo para el mundo, lo que bien podría impulsar

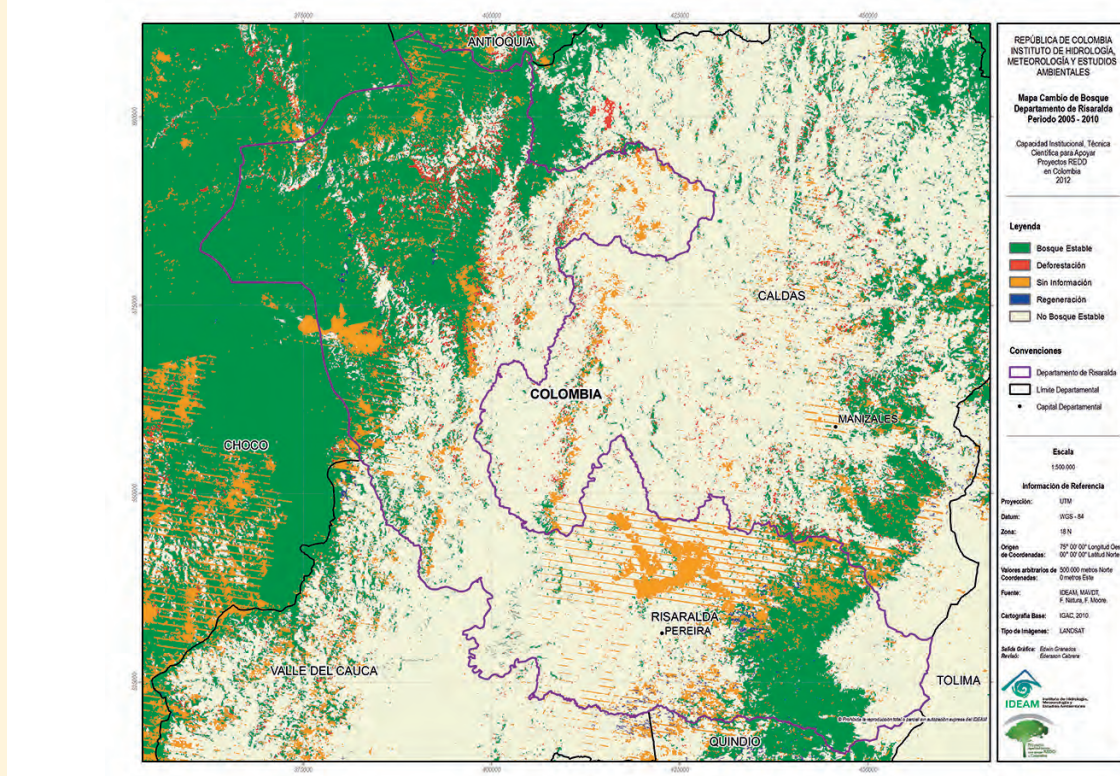


Figura 2. Cambios en la cobertura boscosa del departamento de Risaralda entre 2005- 2010

Fuente: Cabrera et al. (2011), González et al. (2011).

la implementación de REDD+ en Colombia. A continuación se mencionan algunas acciones tempranas en esa misma línea:

- **Bosque Modelo Risaralda (BMRI):** es un proceso de gestión ambiental participativo de manejo del territorio en el que rigen los principios de asociación, paisaje y territorio, compromiso con la sustentabilidad, estructura de gobernanza, programa de actividades e intercambio de conocimientos, desarrollo de capacidades y trabajo en red (RIBM 2011).
- **Sistema Departamental de Áreas Protegidas (SIDAP) y Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP):** ambos generan procesos de integración interinstitucional entre autoridades ambientales y entidades territoriales para el logro de propósitos comunes en conservación de los bosques.


- **Plan de Ordenamiento y Manejo Forestal del Consejo Comunitario de Santa Cecilia,** municipio de Pueblo Rico y **Plan de Ordenamiento y Manejo Forestal Comunidad Indígena Embera Chamí Katío del Alto San Juan,** ambos en el departamento de Risaralda. Estos dos procesos han logrado una gestión ambiental participativa y podrían aproximarse a lo que se busca con REDD+.
- **Bosques FLEGT Gobernanza Forestal:** esta iniciativa de cooperación internacional ejecutada entre el 2007 y 2010 con el apoyo de la Unión Europea, tuvo como objetivo contribuir al manejo forestal sostenible y al incremento de la producción y comercialización de recursos forestales de los pequeños y medianos productores en el departamento de Risaralda (Amézquita 2012).

Cada una de estas opciones podría ser parte de una estrategia REDD+, si se agruparan para conformar un proyecto con enfoque anidado que sirva de guía a proyectos posteriores.

Conclusiones

- Se ha avanzado en la definición de la estrategia REDD+ a nivel de país pero es necesario fortalecer las capacidades institucionales para lograr sinergias entre los procesos existentes.
- Los actores más relevantes en la región saben poco sobre el mecanismo REDD+ lo cual significa una barrera a la hora de desarrollar proyectos REDD+.
- Se deben incrementar las capacidades técnicas e institucionales para el desarrollo de un proyecto REDD+ con enfoque anidado; si bien ya existen algunas acciones

desarrolladas, estas no apuntan al tema REDD+ ni se complementan entre sí.

- Los proyectos REDD+, aunque no están regulados, son una opción viable para aquellos lugares en donde la deforestación es un riesgo inminente.
- Se requiere mucho más que una revisión para el logro de los objetivos de la investigación, debe existir un proyecto marco en el que se pueda medir la degradación real con metodologías desarrolladas específicamente para esto y con una escala menor para que los resultados sean concluyentes. 

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a Colciencias por medio de la convocatoria de Joven Investigador (2012) así como al Proyecto “*Innovación Tecnológica para la optimización de procesos y estandarización de productos en empresas rurales con base en la guadua*” (Código 1110452-21121; Contrato 442-1-2008) y a la Universidad Tecnológica de Pereira por el financiamiento parcial del proyecto. Agradecemos también a las propietarias de las Fincas Yarima y La Esmeralda.

Literatura citada

- Amézquita, M.A. 2012. Acciones tempranas para la implementación del mecanismo REDD+ en el Departamento de Risaralda (Informe de final). Pereira, Colombia, Carder.
- Angelsen, E. (Ed.) 2008. Moving ahead with REDD: Issues, options and implications. Bogor, Indonesia, CIFOR.
- Angelsen, E.; Brockhaus, M.; Kanninen, M.; Sills, E.; Sunderlin, W.; Wertz-Kanounnikoff, S. 2010. La implementación de REDD+: estrategia nacional y opciones de política. Bogor, Indonesia, CIFOR.
- Antonissen, M. 2010. Requerimientos institucionales y legales de los países de América Latina para la implementación de un mecanismo de reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+). CEPAL-GTZ. http://www.gtz-cepac.cl/files/2010-06_antonissen.pdf
- Arango, A.M. 2011. Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático; caso Eje Cafetero Colombiano. Trabajo de Pregrado. Pereira, Colombia, UTP/Facultad de Ciencias Ambientales. 113 p.
- Arriaga, V. 2012. Reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques (REDD+) en los países de América Latina; requerimientos institucionales y jurídicos para su implementación. Santiago, Chile, CEPAL. 175 p. Consultado el 06/08/2012. <http://www.eclac.cl/cgibin/getProd.asp?xml=%20/publicaciones/xml/0/47580/P4750.xml&xml=/tpl/p9f.xml%20&base=/tpl/top-bottom.xslt>.
- Cabrera, E.; Vargas, D.M.; Galindo, G.; García, M.C.; Ordoñez, M.F.; Vergara, L.K.; Pacheco, A.M.; Rubiano, J.C.; Giraldo, P. 2011. Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional – escalas gruesa y fina. Bogotá D.C., Colombia, IDEAM. 106 p.
- Carder (Corporación Autónoma Regional de Risaralda). 2011. Plan general de ordenación forestal del departamento de Risaralda. <http://www.carder.gov.co/intradosuments/webExplorer/gesti-n-debosques#bosques>.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2008. Informe del taller sobre las cuestiones metodológicas relacionadas con la reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques en los países en desarrollo.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 1997. Protocolo de Kioto. Consultado el 06/10/2010. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Conif (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal). 2011. Actualización de usos de la tierra de la zona rural de los catorce municipios del departamento de Risaralda a partir de interpretación de imágenes de satélite. Informe final presentado a la Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Bogotá, Colombia, Convenio Carder-Conif. Mapas: escala 1: 25.000. 108 p.
- FTCF (Forest Trend and Climate Focus). 2013. Nested approaches to REDD+ an overview of issues and options. Consultado el 25/02/2014. http://www.forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2762
- Glemarec, Y. 2011. Catalyzing climate finance: A guidebook on policy and financing options to support green, low-emission and climate-resilient development. NY, USA, UNDP. Consultado el 12/09/2012. http://www.undp.org/content/dam/undp/library/Environment%20and%20Energy/Climat%20Strategies/Spanish/UNDP-Catalyzing-SPAN-v3_22Nov2011_FINAL.pdf.
- González, J.J.; Etter, A.A.; Sarmiento, A.H.; Orrego, S.A.; Ramírez, C.; Cabrera, E.; Vargas, D.; Galindo, G.; García, M.C.; Ordoñez, M.F. 2011. Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia. Bogotá D.C., Colombia, IDEAM. 64 p.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento Técnico V. Consultado el 12/09/2012. <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-pers/Climate-change-s-biodiversity-sp.pdf>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza, 104 p. Consultado el 10/08/2012. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Languado, W. 2012. Metodologías para la implementación de proyectos REDD+ en los mercados voluntarios. Plataforma Webinar Finanzas Carbono.
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2011. Propuesta de preparación para REDD+. Borrador. Consultado el 31/05/2011. www.mads.gov.co.
- MIDAS-USAID (Programa Más Inversión para el Desarrollo Alternativo Sostenible). 2008a. Plan ordenamiento y manejo forestal para 4.428,42 hectáreas de bosque natural propiedad del Consejo Comunitario de Santa Cecilia, en el municipio de Pueblo Rico, departamento de Risaralda. Pereira, Colombia, Carder – UTP – Ciebreg - U. del Cauca. 161 p.
- MIDAS-USAID (Programa Más Inversión para el Desarrollo Alternativo Sostenible). 2008b. Plan ordenamiento y manejo forestal para un área de 15.544,5 hectáreas de bosque natural propiedad de la Comunidad Indígena Embera Chami Katio del Alto San Juan, Subregión III del departamento de Risaralda. Pereira, Colombia, Carder – UTP – Ciebreg - U. del Cauca. 180 p.
- Nagendra, H. 2007. Drivers of reforestation in human-dominated forest (en línea). Bangalore, India, Center for the Study of Institutions, Population, and Environmental Change, Indiana University. Consultado el 15 set. 2012. Disponible en <http://www.pnas.org/content/104/39/15218.full.pdf+html>
- ONF International (Office National des Forêts). 2010. REDD+ at project scale – Evaluation and development guide. Paris, France. 210 p.
- Parker, C.; Mitchell, A.W.; Mardar, T.; Mardas, N. 2009. The Little REDD+ Book. Oxford, U. K, Global Company Foundation.
- Pedroni, L. 2012. Forestlandia: un ejemplo para entender REDD+. Seminario Internacional Proyectos de Carbono Forestal [Memorias. Medellín, Colombia, 16 y 17 de abril 2012].
- RIBM (Red Iberoamericana de Bosques Modelo). 2011. Hacia una construcción realista del desarrollo sostenible. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- VCS (Verified Carbon Standard). 2012. Jurisdictional and nested REDD+. <http://v-c-s.org/JNRI>

Evaluación de propiedades físico-mecánicas de *Guadua angustifolia* del Jardín Botánico de la UTP

Edison de Jesús Henao Castañeda¹, Héctor Fabio Quintero Riaza²

Resumen

Mediante ensayos de compresión, cizalladura y dureza Brinell se buscó establecer la relación entre las propiedades físico-mecánicas y la madurez de culmos de guadua (*Guadua angustifolia*) de diferente sección y edades. Se encontró que el esfuerzo promedio a la compresión es de 24,46 MPa, el esfuerzo promedio al corte es de 9,66 MPa, la dureza Brinell de 0,81 y el módulo de elasticidad de 20,42 GPa. Estos valores demuestran que la resistencia a la compresión, al corte y el módulo de elasticidad aumentan a medida que la sección del culmo es más baja. La resistencia a la compresión y al corte mostró sus mejores valores entre 60 y 72 meses, mientras que el módulo de elasticidad muestra una tendencia casi constante durante los primeros años y empieza a aumentar notablemente después de los 40 meses.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; culmo; resistencia; propiedades de la madera; propiedades mecánicas; madurez; etapas de desarrollo.

Summary

Physical and mechanical properties of *Guadua angustifolia* from the UTP Botanical Garden. Using compression, shear and Brinell hardness tests, we sought to establish the relationship between the physical and mechanical properties and maturity of bamboo culms (*Guadua angustifolia*), from different sections and age. The average compressive strength was 24.46 MPa, the average shear force was 9.66 MPa, Brinell hardness was 0.81 and the modulus of elasticity was 20.42 GPa. These values showed that the compressive strength, the shear force and the modulus of elasticity increased at lower culm sections. The compressive strength and the shear strength values were higher at 60-72 months, while the modulus of elasticity showed an early consistent trend, and increased significantly after 40 months.

Keywords: *Guadua angustifolia*; culm; resistance; wood properties; mechanical properties; maturity; developmental stages.

¹ Ing. Msc. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. edisonhenao@utp.edu.co

² Ing. Msc. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. hquinte@utp.edu.co

Introducción

Guadua angustifolia Kunth es un bambú con grandes posibilidades económicas para su utilización en construcción e industria. Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas y resistencia, y por ser un material renovable, la guadua es una valiosa alternativa económica (Cruz 1994). En la industria, la guadua podría contribuir a enfrentar la demanda de especies maderables productoras de pulpa. En la construcción, la altura, versatilidad, funcionalidad y durabilidad de la guadua hacen que sea de gran utilidad en la construcción de viviendas, estructuras, puentes, cercos, puertas, conducción de aguas, fabricación de muebles, artesanías, laminados, molduras, tablillas y pisos. Este recurso ha mostrado balances positivos en la economía local de los lugares en donde se desarrollan los bosques de guadua (Castaño y Moreno 2004).

Para lograr productos de calidad, los culmos deben cosecharse en el momento ideal. Si se cosechan muy jóvenes o demasiado maduros, la calidad de los productos decrece y son rechazados por el mercado debido a que no poseen las propiedades físico-mecánicas óptimas. Con este estudio se ha tratado de determinar la posibilidad de relacionar las características dendrométricas y propiedades físico-mecánicas de los culmos con su madurez. El trabajo se sustenta en resultados de investigación realizados en los últimos años por diferentes proyectos de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP); entre ellos, el grupo de Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos y el grupo de Procesos de Manufactura y Diseño de Máquinas. Los resultados alcanzados por ambos grupos han generado impacto en empresas, como el Núcleo Forestal de Guadua

La Esmeralda, y en la comunidad rural del Eje Cafetero de Colombia (Camargo 2008, Morales 2004).

La metodología empleada para determinar las propiedades físico-mecánicas de la guadua se basó en estándares internacionales vigentes (ISO/TR 22157-1.2004 y DIN EN 1534).

Materiales evaluados

Las propiedades mecánicas del bambú varían según la especie botánica, la edad de corte, la sección del culmo y las propiedades físicas del sitio (Camargo et al. 2008). Los culmos de guadua utilizados para este estudio se obtuvieron del jardín botánico de la UTP (5 ha de guaduales), ubicado a 1430 msnm, con una precipitación promedio de 2500 mm al año y una temperatura media de 21°C. El corte de los culmos se efectuó sobre el primer o segundo nudo por encima del suelo, según lo indi-



Foto: Grupo GATA

La guadua constituye una valiosa alternativa económica por sus características físico-mecánicas y gran cantidad de usos

can las normas ISO/TR 22157-1 e ISO/TR 22157-2 del 2004 y la norma nacional unificada para el manejo de guadua (CAR 2002).

Clasificación de las probetas

A partir del patrón de crecimiento de la especie, se identificaron los culmos conectados a través de rizomas. Se inició la identificación en culmos pertenecientes a individuos de edad conocida. La edad de la secuencia completa de culmos con distintos grados de madurez y pertenecientes a un mismo individuo se estimó según el seguimiento cronológico. Es importante mencionar que entre 12 y 18 meses después de haber emergido un culmo, puede emerger un segundo a partir del anterior. En la Figura 1 se observa la marcación de una secuencia de siete culmos conectados que hacen parte de un individuo, el número uno es el más joven y el número siete el de mayor edad o madurez.

Henao y Rodríguez (2010) presentan estudios que relacionan directamente la resistencia a la compresión y al corte con la madurez del culmo de *Guadua angustifolia*; sin embargo, no evalúan las propiedades en las diferentes secciones. El presente trabajo evalúa las propiedades físico-mecánicas de los culmos en ocho individuos. Cada culmo se seccionó en cuatro partes del siguiente modo: se identificó la mitad del culmo y se partió; cada mitad se dividió de nuevo en mitades, para obtener cuatro secciones. La sección más alta se definió como la zona 4 y la más baja como la zona 1 (Figura 2). Cada sección se dividió, a su vez, en cuatro partes con el fin de obtener 16 probetas en total (cuatro por cada sección). De cada sección, se seleccionaron dos probetas para corte y dos para compresión. De los ocho individuos cortados se obtuvieron 326 probetas para corte y compresión, respectivamente.

Las probetas fueron clasificadas mediante el código siguiente: el



Figura 1. Marcación de un individuo de guadua

Fuente: Tomado de Henao y Rodríguez (2010)

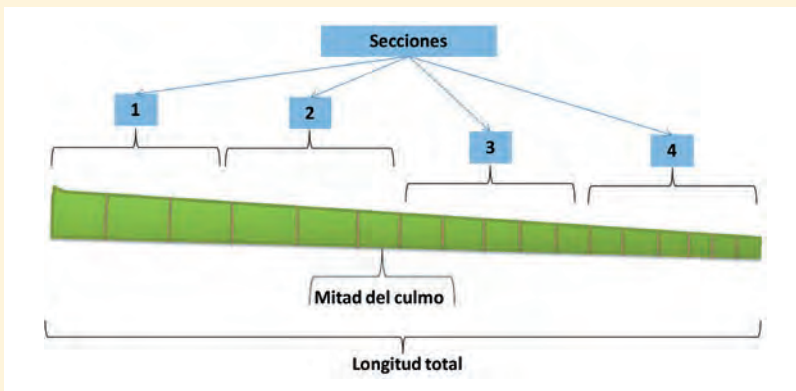


Figura 2. Secciones del culmo de guadua para la obtención de probetas

Fuente: Tomado de Henao y Rodríguez (2010)

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las propiedades físico-mecánicas de probetas de *G. angustifolia*

Variables	No. probetas	\bar{x}	σ
Resistencia a la compresión [MPa]	310	24,46	13,03
Resistencia al corte [MPa]	314	9,66	6,52
Dureza Brinell	281	0,81	0,29
Módulo de elasticidad [GPa]	168	20,42	13,53

sitio (Jardín Botánico), un primer número que denota la secuencia de culmos, un segundo número que denota la madurez (1= 12 meses; 2= 24 meses; 3= 30 meses; 4= 36 meses; 5= 48 meses; 6= 60 meses; 7= 72 meses; 8= 84 meses) y un tercer número que indica la sección a la

que pertenece (4= alta; 3= media alta; 2= media baja, 1= baja). Así por ejemplo, la probeta j122 corresponde a un material que proviene del sitio Jardín Botánico, del primer culmo evaluado, con una edad aproximada de 24 meses y de la sección medio baja.

Equipo utilizado

Los ensayos se realizaron en tres máquinas del laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTP. Los equipos empleados fueron un escleroscopio HP-250 marca Wekstoffprüfmaschinen, para los ensayos de dureza Brinell; una máquina universal de ensayos WPM ZD 40 para los ensayos de corte y una máquina universal de ensayos Mod. UMIB-600-SW para las pruebas de compresión.

Resultados

En el Cuadro 1 se detallan los ensayos realizados y los valores hallados junto con su desviación estándar.

Resultados por sección del culmo

La resistencia a la compresión (Figura 3) y la resistencia al corte (Figura 4) disminuyen a medida que aumenta la sección del culmo; asimismo, la dureza Brinell tiende a aumentar a medida que la sección es más alta (Figura 5), mientras que el módulo de elasticidad tiende a disminuir a medida que la sección del culmo es más alta (Figura 6). Es evidente, entonces, que la sección más baja del culmo posee las mejores propiedades físico-mecánicas y, por ende, es la sección de mayor aceptabilidad comercial.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se comprobó que la resistencia a la compresión y al corte tienden a aumentar a medida que la sección del culmo es más baja. La guadua posee buenas propiedades físico-mecánicas. El esfuerzo promedio a compresión es de 24,46 MPa, el esfuerzo promedio al corte de 9,66 MPa, la dureza Brinell de 0,81 y un módulo de elasticidad de 20,42 GPa. Al analizar la dureza Brinell por sección de culmo, muestra una tendencia a aumentar a medida que la sección del culmo es más alta, siendo la sección 4 la que presenta el mayor valor.

Resultados por madurez del culmo

Henaó y Rodríguez (2010) encontraron que la guadua presenta sus mejores propiedades entre los 60 y los 70 meses después de emerger del suelo y luego empiezan a

decrecer. El ensayo de resistencia a la compresión corrobora tal afirmación (Figura 7), pues muestra cómo se alcanza un valor óptimo con la madurez y luego inicia el descenso. La tendencia de la resistencia al corte se muestra en la Figura 8; al

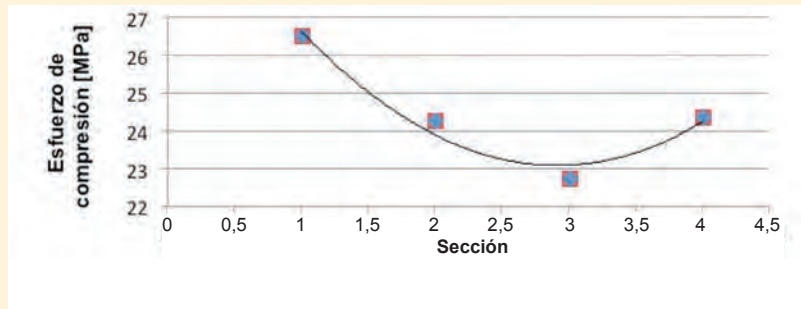


Figura 3. Tendencia del esfuerzo a compresión por sección del culmo

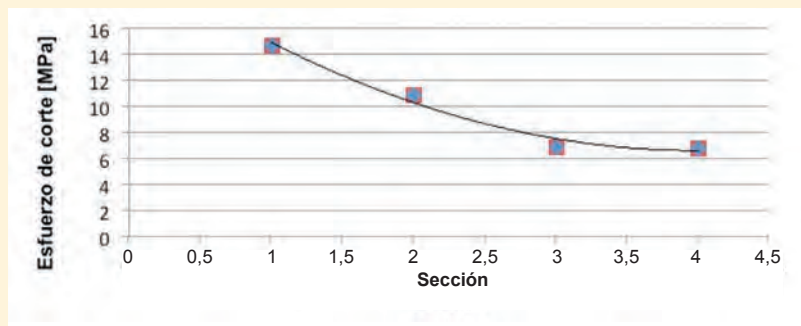


Figura 4. Tendencia del esfuerzo al corte por sección del culmo

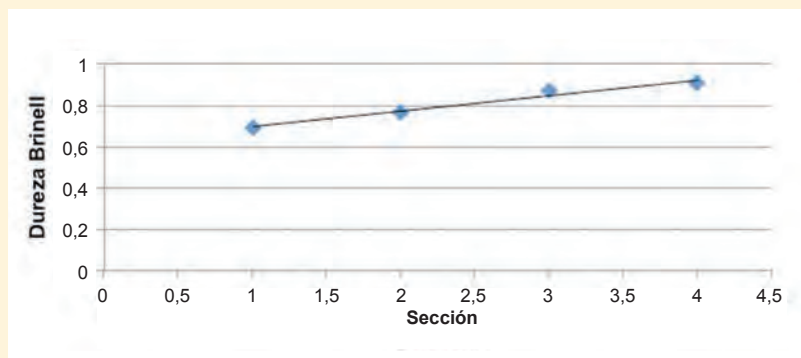


Figura 5. Tendencia de la dureza Brinell por sección del culmo

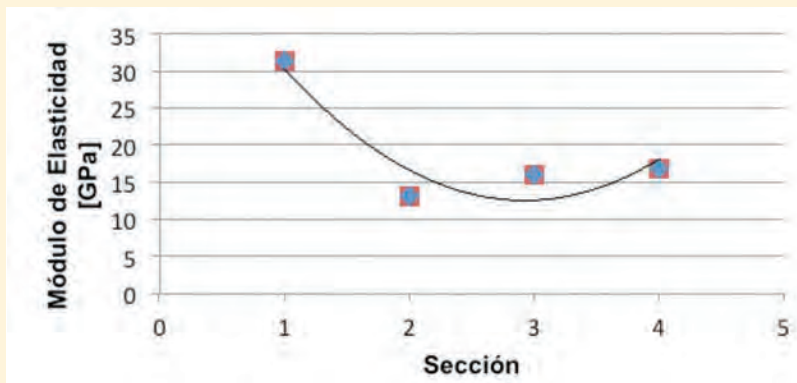


Figura 6. Tendencia del módulo de elasticidad por sección del culmo

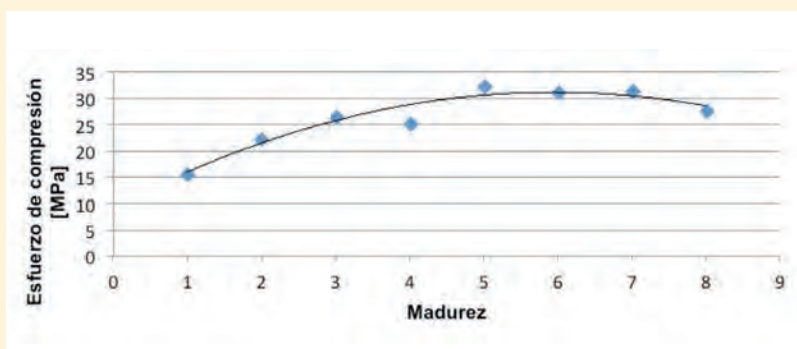


Figura 7. Tendencia de la resistencia a la compresión por madurez del culmo

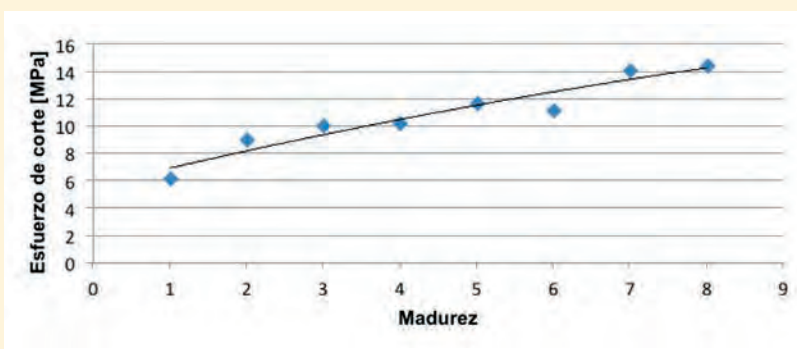


Figura 8. Tendencia de la resistencia al corte por madurez del culmo

igual que la resistencia a la compresión, aumenta con la madurez pero no decrece en ningún momento. La tendencia de la dureza Brinell, por su parte, muestra un valor casi constante para diferentes edades

(Figura 9); probablemente, esto se debe a que la dureza es una propiedad de la capa superficial del culmo. Finalmente, la tendencia del módulo de elasticidad (Figura 10) muestra valores casi constantes en culmos

jóvenes y empieza a aumentar hacia los 40 meses, lo que hace pensar que el módulo de elasticidad también se relaciona con la madurez del culmo.

Estos resultados confirman las excelentes propiedades físico-mecánicas de la guadua.

Mediante el análisis, se encontró que la resistencia a la compresión y al corte están directamente relacionados con la madurez del culmo; estas propiedades aumentan con la edad del culmo y presentan sus mejores valores entre los 60 y 72 meses. Después de esta edad, la resistencia a la compresión decrece. Además la dureza Brinell no tiene relación alguna con la madurez, posiblemente debido a que la dureza es una propiedad de la capa superficial del culmo.

Conclusiones

- La dureza Brinell más alta por sección de culmo se encontró en la sección 4.
- Mediante el ensayo y análisis, se encontró que la resistencia a la compresión y al corte están directamente relacionadas con la madurez del culmo de guadua. Estas propiedades aumentan con la edad del culmo y presentan sus mejores valores entre los 60 y 72 meses. Después de los 72 meses, los valores de resistencia a la compresión decrecen.
- Se esperaba que, al igual que la resistencia a la compresión, la resistencia al corte también disminuyera a partir de cierta edad; sin embargo, no se logró comprobarlo. Es necesario evaluar culmos de mayor edad para verificar esta tendencia.
- El módulo de elasticidad, al igual que la resistencia a la compresión y al corte, tiende a aumentar a medida que la sección es más baja; la relación con la madurez muestra una tendencia casi constante durante los primeros años y empieza a aumentar a partir de los 40 meses.

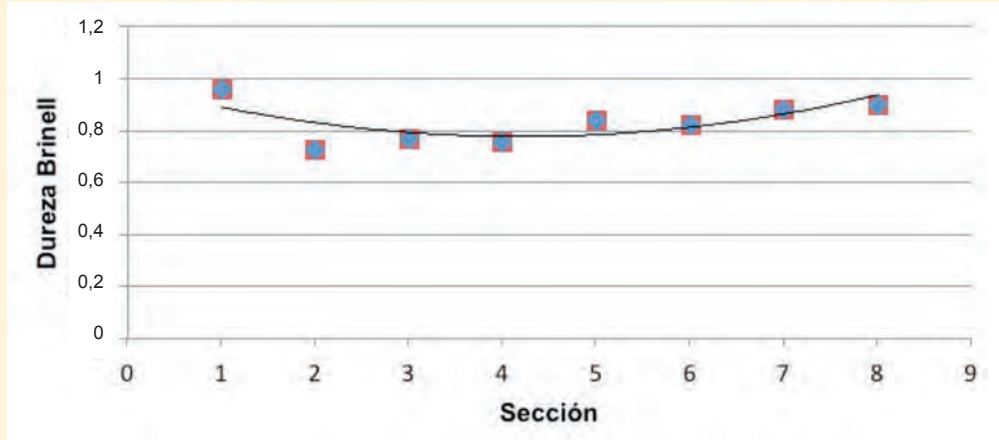


Figura 9. Tendencia de la dureza Brinell por madurez del culmo

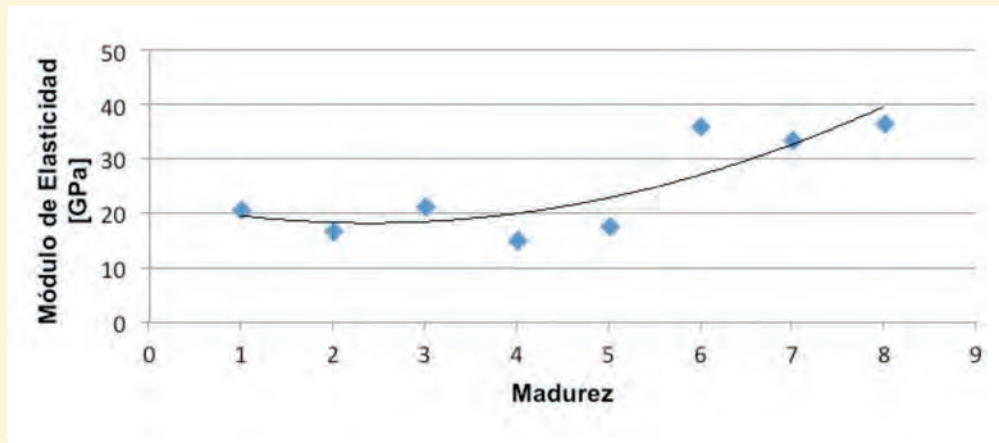


Figura 10. Tendencia del módulo de elasticidad por madurez del culmo

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a Colciencias (Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia) por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación, mediante el proyecto "Tecnología para definir la madurez del culmo de *Guadua angustifolia*: una contribución al desarrollo forestal del Eje Cafetero colombiano" (Código No. 1110452-21121; Contrato 442-1-2008).

Literatura citada

- Camargo, J.C. 2008. Sistema integral de gestión del proyecto "Tecnología para definir la madurez del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth: una contribución al desarrollo forestal del eje cafetero colombiano". Pereira, Colombia.
- Camargo, J.C.; Morales, T.; García, J.H. 2008. Inventario y mensura forestal para el manejo sostenible de bosques de guadua. Pereira, Colombia, UTP / Colciencias / Grupo de Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. 94 p.
- CAR (Corporaciones Autónomas Regionales del Eje Cafeteros). 2002. Norma unificada en guadua: reglamentación para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guadua, caña brava y bambúes. Proyecto Manejo Sostenible de Bosques en Colombia (Convenio 021 de 2001).
- Castaño, F.; Moreno, R. 2004. Guadua para todos: cultivo y aprovechamiento. Bogotá, Colombia, Proyecto manejo sostenible de bosques de Colombia. 190 p.
- Cruz, H. 1994. La guadua, nuestro bambú. Armenia, Quindío, Colombia, Corporación Autónoma del Quindío y Centro Nacional para el estudio del bambú y la guadua. 293 p.
- DIN EN 1534. Determination of resistance to indentation (Brinell)-Test method. European Standard.
- Henao, E.; Rodríguez, J.A. 2010. Cambio en las propiedades físico-mecánicas de culmos de *Guadua angustifolia* como indicadores del estado de madurez. Recursos Naturales y Ambiente No. 61: 26-31.
- ISO TR 22157-1. Bamboo: determination of physical and mechanical properties. Part 1. Laboratory manual. International Organization for Standardization. 19 p.
- ISO TR 22157-2. Bamboo: determination of physical and mechanical properties. Part 2. Laboratory manual. International Organization for Standardization. 19 p.
- Morales, T. 2004. Modelos de tratamiento silvicultural para la optimización de la rentabilidad financiera en el manejo y aprovechamiento de la guadua, Región del Eje Cafetero, Colombia. Tesis de Maestría. Pereira, Colombia, UTP. 114 p.

Determinación de la madurez de culmos de guadua mediante el análisis de frecuencia de señales de vibración y acústica

Olmedo Arias Pulgarin¹, Alexander Betancur², Héctor Fabio Quintero³

Resumen

Un esfuerzo importante de la industria de la madera se centra en el desarrollo de métodos robustos no destructivos para predecir las propiedades intrínsecas de la materia prima. En este trabajo se presenta un método experimental para la determinación de la madurez del culmo de *Guadua angustifolia*. La propuesta se basa en la determinación de la frecuencia natural y la atenuación de la señal en ensayos de vibración libre. Los resultados demuestran que es posible relacionar la madurez del culmo con la frecuencia natural obtenida con el ensayo de vibración libre.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; culmo; madurez; propiedades mecánicas; diseño experimental; modelos matemáticos; Colombia.

Abstract

Determination of maturity in bamboo culms by analyzing frequency of vibration and acoustic signals. A major effort of the wood industry focuses on the development of robust non-destructive methods to predict the intrinsic properties of the raw material. This paper presents an experimental method for determining maturity of bamboo culms. The method seeks to determine the natural frequency and signal attenuation on free vibration test. The results showed that culm maturity can be related with the low natural frequency on free vibration tests.

Keywords: *Guadua angustifolia*; culm; maturity; mechanical properties; experimental design; mathematical models; Colombia.

¹ Estudiante de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira. oarias@utp.edu.co

² Estudiante de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira. alexbeta44@hotmail.com

³ Profesor titular, Universidad Tecnológica de Pereira. hquinte@utp.edu.co

Introducción

El género de bambú nativo más importante de América tropical es la guadua, de la cual existen unas 30 especies distribuidas desde México hasta Argentina, en rangos de altitud que van desde el nivel del mar hasta los 2200 msnm (Moreno et al. 2006). Una de estas especies es *Guadua angustifolia* Kunth, un importante recurso forestal de la biodiversidad colombiana. El tallo se origina en el ápice de un rizoma y brota del suelo cubierto de hojas caulinares, con el diámetro máximo que tendrá de por vida. Dependiendo de las condiciones edáficas y de la época de brote, el tallo demora entre 4 y 6 meses para alcanzar su altura definitiva. El tallo es un cilindro hueco y adelgazado dividido en segmentos o internodos separados por diafragmas (nodos). Los internodos pueden alcanzar diámetros entre 10 y 14 cm y alturas entre 17 y 23 m (Moreno et al. 2006).

Las propiedades físico-mecánicas de esta especie le confieren características ideales para su uso en la construcción y en la industria de elaboración de muebles, modulares y combustibles, entre otros (Martínez et al. 2005). Por su bajo costo, genera buenos beneficios económicos (Salas 2006). Uno de los principales atributos de la guadua en aplicaciones estructurales, en comparación con otras maderas, es el corto tiempo que tarda en alcanzar la madurez.

Según Castaño y Moreno (2004), la calidad de la guadua se asocia con sus propiedades dendrométricas (longitud, altura, diámetro) y características superficiales (cantidad y distribución de los nodos, presencia de hongos y líquenes). Si la apariencia es la razón principal para determinar la calidad de un culmo, estas consideraciones son suficientes; sin embargo, son cuestionables si se requieren productos que ofrezcan condiciones de rigidez y resistencia.

Ambas características dependen del grado de madurez del culmo y, si no se aplica una medición real de estas propiedades, culmos dentro de un rango de edades muy amplio pueden ser clasificados en un mismo grado de madurez (Rodríguez y Camargo (2010). Por tal razón, es necesario contar con nuevas herramientas tecnológicas para el manejo adecuado de la especie.

El aprovechamiento de la guadua depende, en gran medida, de los métodos empleados para la recolección, secado y preservación de los culmos. Mediante la formulación de modelos matemáticos que permitan determinar las propiedades físico-mecánicas y el grado de madurez, es posible establecer la calidad de un culmo. En este trabajo se presenta un método experimental que cumple con tales expectativas. El método propuesto se basa en la determinación de la frecuencia natural en ensayos de vibración libre y en la atenuación de la señal (Ewins 2001).

La medición indirecta de la madurez mediante el análisis de vibraciones y señales acústicas se ha utilizado con éxito en frutas (Valente y Ferrandis 2003, Hernández et al. 2005), vegetales (Saltveit et al. 1985), en maderas (Ross y Pellerin 1985 y Wang et al. 2001) y en guadua (Duque et al. 2010). Inducir una onda de vibración dentro de un material y medir la respuesta característica de dicha perturbación constituye uno de los ensayos más usados. El método empleado para este ensayo consiste en producir una onda mediante un golpe con un objeto determinado y medir la vibración o sonido con un acelerómetro o sensor acústico, puesto en contacto con el elemento evaluado.

Entre las ventajas que este método ofrece es que no es destructivo y, sin embargo, permite determinar las propiedades idóneas de los culmos de guadua para su aprovechamiento en usos diversos. La industria productora de guadua

está bajo presión económica para maximizar el valor del producto procesado, el cual depende, en gran parte, de conocer cuándo el culmo tiene la madurez adecuada para obtener materia prima de la mejor calidad.

Equipos empleados

En este ensayo se utilizaron los siguientes equipos: martillo de impacto modal REF 780991, acelerómetro con ganancia 10 mV/G, tarjeta de adquisición de datos de la National Instruments NI 9234, computador portátil con la aplicación Data Acquisition de Matlab.

Medición de la madurez mediante el análisis de la señal de vibración en ensayo estático

Mediante este ensayo se busca medir la respuesta con suficiente precisión y extensión en los dominios de frecuencia y espacio, de manera que se pueda realizar el análisis y determinar las propiedades dinámicas según los modos de vibración de la estructura. En este análisis se consideraron los conceptos de vibración mecánica, instrumentación, procesamiento de señales e identificación modal (Rao 2004). El proceso experimental fue el siguiente: se golpea el culmo con un martillo para producir una vibración en estado libre; con un acelerómetro se capta la señal y se identifica la frecuencia natural del sistema con un análisis de frecuencia, a partir de los algoritmos de la FFT (Fast Fourier Transform, por sus siglas en inglés). El análisis modal es ampliamente utilizado en la evaluación de estructuras civiles, fuselajes de avión, detección de fallas en tuberías, etc.

La frecuencia natural de un sistema se observa en ensayos de vibración libre; esta ocurre cuando la energía almacenada se convierte en otra forma de energía de manera repetida. En sistemas mecánicos, la vibración libre puede ocurrir porque la energía cinética (manifestada como



Figura 1. Prueba de impacto en el culmo de guadua



Figura 2. Adquisición de la señal del martillo de impacto y del acelerómetro

la velocidad de las masas) se convierte en energía potencial elástica debido a la deformación del sistema y retornar a energía cinética, repetidamente, durante el movimiento. La frecuencia natural se asocia con la rigidez propia del sistema que, en el caso de la madera, depende de las propiedades físico-mecánicas del culmo. Se entiende por rigidez la

relación entre una fuerza aplicada, la deformación del sistema y la capacidad de almacenar energía potencial elástica (De Silva 2000).

Las mediciones se tomaron en dos lugares diferentes: finca Esmeralda y finca Yarima. En el primero se muestrearon cinco secuencias en una parcela; la prueba se repitió diez veces para cada culmo. En el

segundo se realizó un muestreo de seis secuencias en una parcela; la prueba se repitió cinco veces para cada culmo.

Para el ensayo se utilizó un martillo de impacto modal y se tomó la señal de la vibración mediante un acelerómetro (Figura 1). La señal del martillo de impacto y la del acelerómetro fueron adquiridas con una tarjeta de adquisición (Figura 2). Para el almacenamiento y procesamiento de las señales capturadas se utilizó la herramienta *Data Acquisition* de Matlab.

Resultados y discusión

Para el análisis del método propuesto se analizaron diferentes secuencias en dos parcelas diferentes. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de la señal obtenida en un culmo de la finca Yarima. La señal de vibración se presenta después de inducir el impacto en el culmo; esta señal tiene la forma de un ensayo característico de la vibración libre de un sistema. Por medio de la señal en el tiempo, se hizo el análisis de frecuencia utilizando la transformada rápida de Fourier. La Figura 4 muestra el espectro de frecuencia de la señal en el tiempo mostrada en la Figura 3; la respuesta muestra un pico muy alto que se corresponde con la frecuencia natural del culmo.

De los resultados obtenidos se observa una alta repetición de la frecuencia natural en los culmos de la secuencia. En el Cuadro 1 se muestran los valores de la frecuencia natural, f_n [Hz], obtenidos en las cinco pruebas de cada culmo de la secuencia analizada. La desviación estándar es muy baja, lo que respalda los resultados obtenidos.

La Figura 5 muestra la variación de la frecuencia natural en la secuencia analizada, el culmo 1 es el más joven y 6 el antiguo. Se observa que la frecuencia natural tiene una tendencia a aumentar hasta el culmo 5 y en el 6 empieza a disminuir la frecuencia natural.

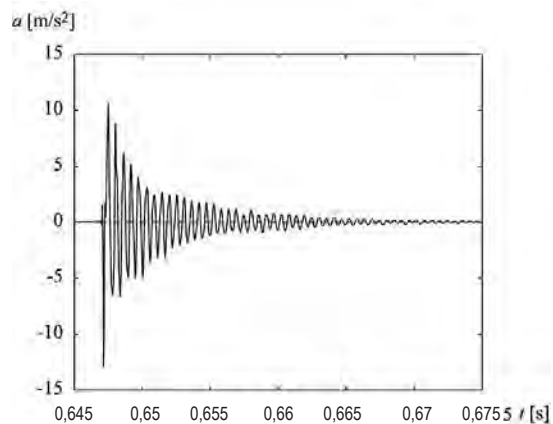


Figura 3 Señal del acelerómetro de un culmo de la finca Yarima

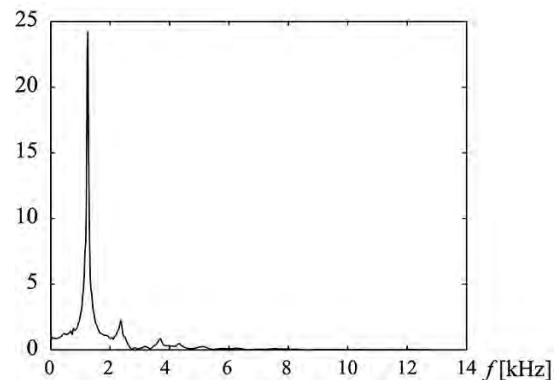


Figura 4. Espectro de frecuencia de un culmo de la finca Yarima

Cuadro 1. Medición de la frecuencia natural en los culmos de la finca Yarima

Prueba	Culmo					
	1	2	3	4	5	6
P1	1152	1691	1807	1891	1982	1355
P2	1152	1686	1802	1892	1977	1356
P3	1150	1699	1807	1896	1977	1357
P4	1156	1688	1803	1888	1970	1350
P5	1152	1691	1808	1893	1977	1358
Media	1152,4	1691	1805,4	1892	1976,6	1355,2
Desviación	2,19	0,99	0,54	2,92	4,28	3,11

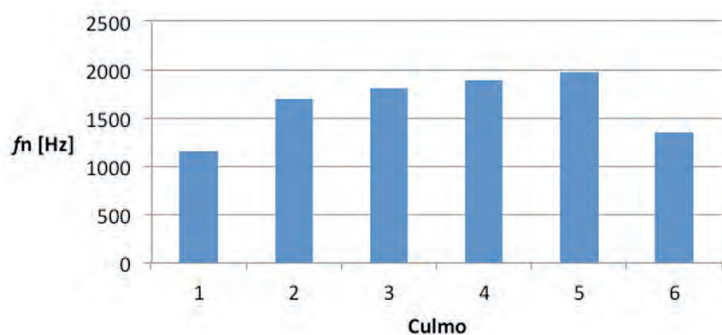


Figura 5 Variación de la frecuencia natural en una secuencia de la finca Yarima

Los análisis realizados en finca Esmeralda mostraron resultados muy similares.

Ante un ensayo de impacto, la respuesta del sistema bajo vibración libre es dada por una función con decremento de la amplitud de la vibración. Esta función es dada como una multiplicación de una función exponencial con exponente negativo y una función armónica:

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t} \cos(\omega_d t - \varphi) \quad (1)$$

Donde:

las funciones $Ae^{-\zeta\omega_n t}$, y $-Ae^{-\zeta\omega_n t}$ son las curvas envolventes de la respuesta del sistema

A es una constante que depende de las condiciones iniciales y se relaciona con la amplitud de vibración inicial

ζ es la relación de amortiguamiento que determina el factor con que se reduce la amplitud de la vibración en cada ciclo
 ω_n es la frecuencia natural circular [rad/s] y se puede relacionar con la frecuencia natural del sistema

$\omega_n = 2\pi fn$. ω_d es conocida como la frecuencia natural circular amortiguada y determina la frecuencia de la vibración libre.

La frecuencia de la vibración libre es determinada mediante:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (2)$$

En este estudio se propone implementar un procedimiento de identificación de la curva envolvente utilizando un cambio de variable. La dificultad de la identificación en la señal original se debe a la multiplicación de dos funciones no lineales. Por este motivo, se calcula el logaritmo natural del valor absoluto de la señal original:

$$X(t) = \ln|x(t)| = \ln A - \zeta \omega_n t + \ln|\cos(\omega_d t - \varphi)| \quad (3)$$

Es necesario utilizar el valor absoluto de la función armónica, ya que el logaritmo de un número negativo genera un número complejo. El método utilizado para la identificación de la función envolvente determina los máximos locales de la función $X(t)$ y el tiempo en que ocurren. Por medio de métodos de mínimos cuadrados se realiza la regresión lineal de la línea recta que contiene los valores máximos de

$X(t)$. En la Figura 6 se presenta el comportamiento de la función $X(t)$ con los datos obtenidos de un culmo de la finca Esmeralda y se muestra la línea recta del modelo lineal.

Una vez ajustada la recta de regresión a los datos del cambio de variable, X , de la señal de vibración, x , es importante disponer de una medida que mida la bondad del ajuste realizado para decir si el ajuste lineal es suficiente o si se deben buscar métodos alternativos. Como medida de ajuste se utiliza el coeficiente de determinación, definido como:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (X_{est,i} - X_{dat,i})^2}{\sum (X_m - X_{dat,i})^2} \quad (4)$$

Donde:

$X_{est,i}$ es el valor estimado i del modelo lineal

$X_{dat,i}$ es el dato medido i , i varía entre 1 y N , siendo N el número de máximos locales de X

X_m es el valor medio de X_{dat} .

La frecuencia natural amortiguada $f_d = \omega_d / 2\pi$, se puede determinar midiéndolo el tiempo entre dos máximos locales de la función $x(t)$. Es importante recordar que los máximos locales de la $X(t)$ alternan valores máximos y mínimos locales de la función original, ya que se toma el valor absoluto de la función armónica, para convertir los mínimos de la función original $x(t)$ en máximos locales de $X(t)$. Con esta consideración se determinó la frecuencia f_d mediante:

$$\frac{1}{f_d} = T_d = \frac{t_{p,N} - t_{p,1}}{(N-1)/2} \quad (5)$$

Donde:

T_d es el periodo de oscilación de la vibración libre

N el número de máximos locales encontrados en la señal X

$t_{p,N}$ y $t_{p,1}$ son los tiempos en que ocurre, respectivamente, el máximo local N y el primero

La división por 2 es para contar solo los ciclos positivos de $x(t)$.

Una vez determinado el modelo lineal de los máximos locales de $X(t)$, con lo que se determina los valores $\ln(A)$, y $C_1 = \zeta \omega_n$, del modelo lineal, y $\omega_d = f_d$ se puede calcular ζ y ω_n mediante:

$$\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} = \omega_d = C_2 \quad (6)$$

$$\zeta \omega_n = C_1 \quad (7)$$

Elevando al cuadrado la primera ecuación y dividiendo por el cuadrado de la segunda, se obtiene:

$$\frac{\omega_n^2 (1 - \zeta^2)}{(\zeta \omega_n)^2} = \frac{1 - \zeta^2}{\zeta^2} = \frac{C_2^2}{C_1^2} = C_3 \quad (8)$$

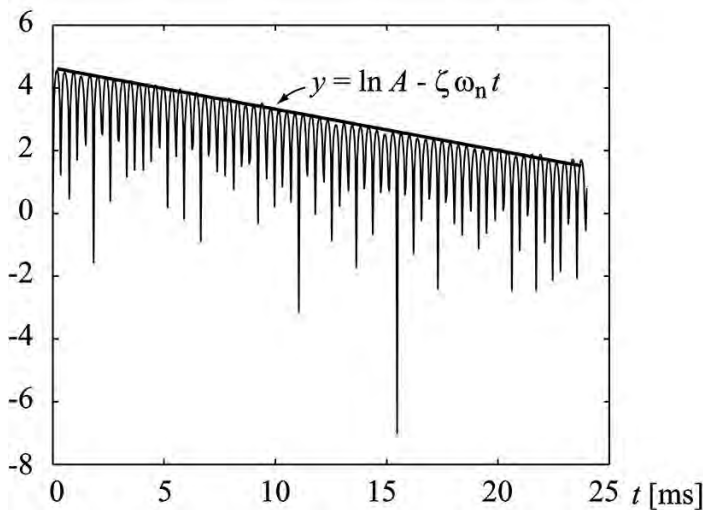


Figura 6. Estimación parámetros del modelo lineal

Con lo que se obtiene:

$$\zeta = \sqrt{\frac{1}{1+C_3}} \quad (9)$$

$$\omega_n = C_1 / \zeta \quad (10)$$

En la Figura 7 se muestran los datos de la señal original, x , y las envolventes obtenidas mediante el método de identificación de envolventes. Se observa que las envolventes obtenidas mediante el análisis de los resultados son muy cercanas a la curva exponencial que pasaría por cada uno de los picos de la señal de vibración.

Para decidir si se puede utilizar la variación de la relación de amortiguamiento como método alternativo para la determinación de la madurez del culmo de guadua se aplicó el análisis a los resultados obtenidos de la secuencia de la finca Esmeralda. En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos de la frecuencia natural, la relación de amortiguamiento, y el coeficiente de determinación en cada ensayo de los culmos de la secuencia analizada.

En la Figura 8 se muestra la variación del promedio de la relación de amortiguamiento equivalente para cada culmo de la secuencia analizada. En los resultados obtenidos, se observa que la desviación estandar es baja; sin embargo, la variación de la relación de amortiguamiento equivalente entre culmos no da a pie para establecer un método de determinación de la madurez basado en este parámetro.

La Figura 9 presenta el promedio de la variación de la frecuencia natural en la secuencia analizada. Como se ve, estos resultados son muy similares a los obtenidos mediante la transformada rápida de Fourier (Figura 5).

Conclusiones

Los resultados demostraron que es posible asociar la frecuencia natural del culmo, calculada mediante el espectro de frecuencia empleando la transformada rápida de Fourier o la obtención de la envolvente, a partir de la respuesta de la señal de vibración en un ensayo estático. Estos resultados permiten determinar la madurez del culmo de guadua mediante un método indirecto: la determinación de la frecuencia natural en un ensayo de vibración libre. Puesto que la edad se relaciona con las propiedades físico-mecánicas de

los culmos de guadua, mediante un *software* ya existente es posible utilizar la frecuencia natural para determinar la edad del culmo y su capacidad de uso. Dicho procedimiento permitirá tecnificar el proceso de selección y corte de la guadua que, hasta ahora, es bastante empírico.

El cálculo de la relación de amortiguamiento equivalente, a pesar de que arrojó resultados similares en los diferentes ensayos realizados en cada culmo, no mostró resultados concluyentes que permitan afirmar que este parámetro puede definir la madurez del culmo de guadua.

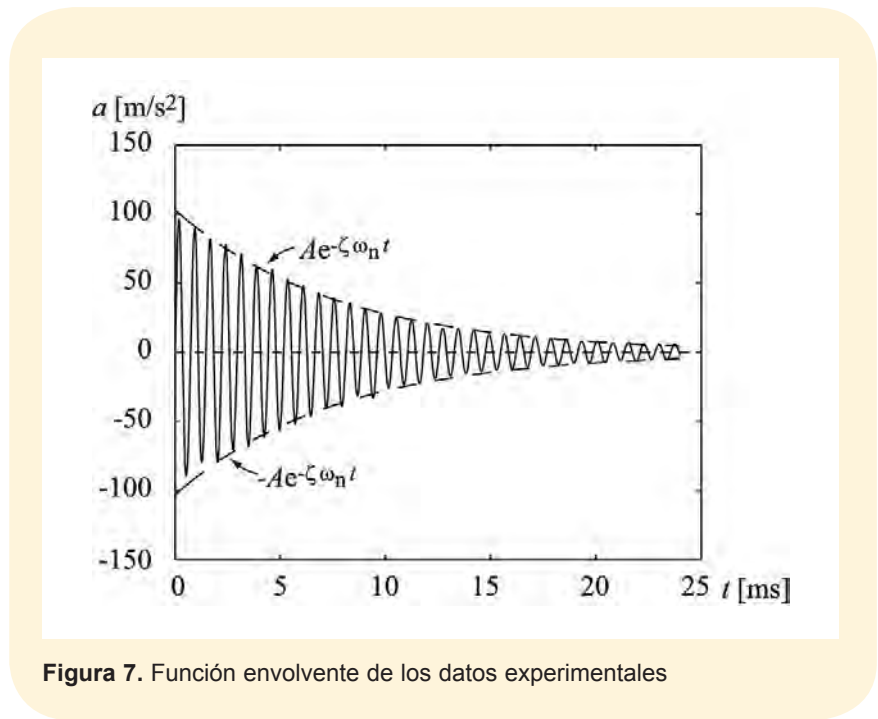


Figura 7. Función envolvente de los datos experimentales

Cuadro 2. Resultados del método envolvente aplicado a los culmos analizados en finca Esmeralda

Culmo	fn [Hz]		z		r
	s	s	s	s	
1	1085,4	1,77	0,0237	0,0008	0,97
2	1130,5	3,44	0,0177	0,0021	0,96
3	1189,7	25,41	0,0298	0,0036	0,92
4	1356	3,77	0,01812	0,002	0,98
5	974,1	8,43	0,0208	0,0019	0,94

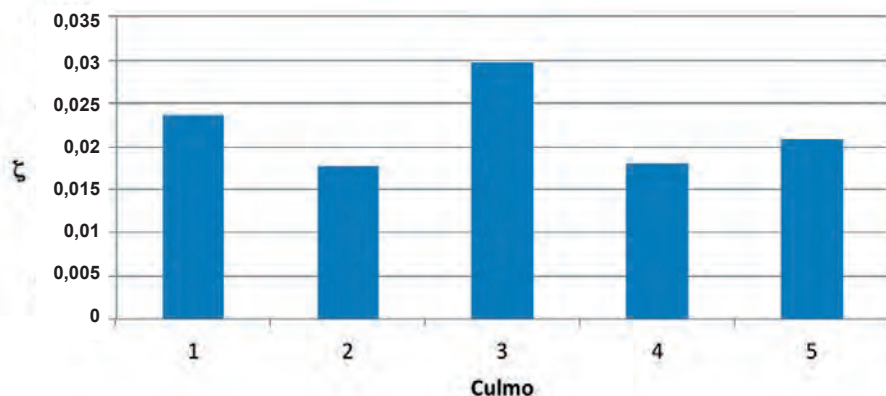


Figura 8. Variación de la relación de amortiguamiento en la secuencia de la finca Esmeralda

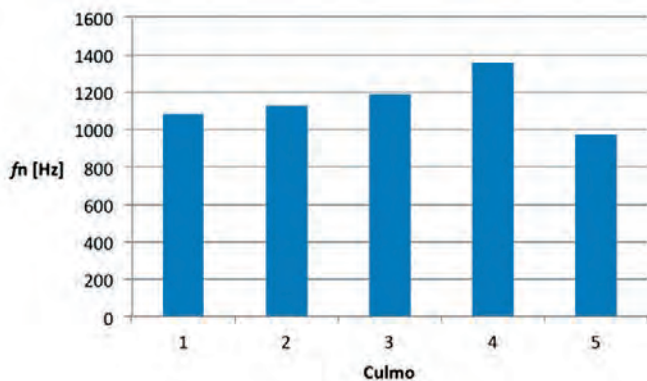


Figura 9. Variación de la frecuencia natural de la secuencia de la finca Esmeralda, método envolvente

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Colciencias (Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia), por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación mediante el Proyecto “Tecnología para definir la madurez del culmo de *Guadua angustifolia*: una contribución al desarrollo forestal del Eje Cafetero colombiano” (Código No. 1110452-21121; Contrato 442-1-2008).

Literatura citada

- Castaño, F.; Moreno, R.D. 2004. *Guadua para todos: cultivo y aprovechamiento*. Bogotá, Colombia, Proyecto Manejo Sostenible de Bosques de Colombia. 190 p.
- De Silva, C. 2000. *Vibration: Fundamentals and practice*. Boca Ratón, USA, CRC Press.
- Duque, A.F.; Lara, A.; Quintero, H.F.; Henao, E.; Monroy, M. 2010. Medición indirecta de la madurez del culmo de guadua por medio de las vibraciones mecánicas. *Recursos Naturales y Ambiente* no 61:32-37.
- Ewins, D.J. 2001. Modal analysis, experimental. In: Braun, S; Ewins, DJ; Rao, S.S. (Eds.). *Encyclopedia of Vibrations*. Elsevier. p. 805-813. http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1873&VerticalID=0
- Hernández, A.; Wang, J.; Pereira, A.G. 2005. Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. *Postharvest Biology and Technology* 35: 209-215.
- Martínez, H.J.; Pinzón, N.; Espinosa, D. 2005. *La cadena de la guadua en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005*. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural/Observatorio Agro cadenas. 24 p.
- Moreno, L.; Osorio, L.; Trujillo, E. 2006. Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de *Guadua angustifolia*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202009>
- Rao, S. 2004. *Mechanical vibrations*. New Jersey, Prentice Hall.
- Rodríguez, J.A.; Camargo, J.C. 2010. Determinación en campo de la madurez de los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth en el Eje Cafetero de Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* N°61: 95-103.
- Ross, R.J.; Pellerin, R.F. 1985. NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. *Forest Products Journal* 38(5): 39-45.
- Salas, E. 2006. *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia*. PhD thesis. Barcelona, España, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).
- Saltveit, M.E.; Upadhyaya, J.F.; Harpp, R.; Brien, O. 1985. Maturity determination of tomatoes using acoustic methods. *ASAE Paper* No 85-3536.
- Valente, M.; Ferrandis, J.Y. 2003. Evaluation of textural properties of mango tissue by a near-field acoustic method. *Postharvest Biology and Technology* 29: 219-228.
- Wang, X.; Ross, R.J.; McLellan, M.; Barbour, R.J.; Erickson, J.R.; Forsman, J.W.; McGinnis, G.D. 2001. *Wood and fiber science* 33(4): 522-533.

Contenido de humedad en guadua rolliza preservada y secada en invernadero

Tito Morales-Pinzón¹, Luisa Fernanda Durán¹, César Andrés Alzate¹

Resumen

Se evaluó el contenido de humedad en piezas de *Guadua angustifolia* de 6 m de longitud, previamente sometidas a un proceso de preservación por inmersión en sales de boro. Se empleó un proceso de secado natural bajo techo en condiciones ambientales propias del Eje Cafetero colombiano. El contenido de humedad se determinó por método gravimétrico en laboratorio; adicionalmente se realizó un ensayo para evaluar el efecto del curado en el contenido de humedad final de la guadua con secado tipo invernadero. Los resultados muestran que el contenido de humedad del producto comercializado (guadua rolliza) presenta poca variación, con valores entre 15% y 20% para tiempo de secado mayor a tres meses. Sin embargo, se encontró correlación entre la densidad y el contenido de humedad: mayor contenido de humedad a menor densidad de la pieza. El contenido de humedad inicial fue significativamente menor en piezas curadas, lo que facilita el secado.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; contenido de humedad; densidad; compuestos químicos; conservantes de la madera; conservación de la madera; secado natural; curado (procesamiento); Colombia.

Abstract

Moisture content of bamboo preserved and dried indoors. Moisture content of 6 m *Guadua angustifolia* pieces was determined after a process of indoor natural drying under the environmental conditions of the Colombian coffee region. The material was previously preserved by immersion in a boron solution. Moisture content was determined in laboratory by gravimetric method; additionally, a single experiment was conducted to evaluate the effect of clump curing on the final moisture content of dried guadua. Results showed little variation in moisture content, with values between 15% and 20% and drying time longer than three months. However, density and moisture content showed correlation: higher moisture content to lower density. Initial moisture content was significantly lower in clump curing pieces, which improved drying.

Keywords: *Guadua angustifolia*; moisture content; density; chemicals; wood preservatives; wood preservation; natural drying; curing (processing); Colombia.

¹ Grupo de investigación Gestión Ambiental Territorial, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia. 660003. Tel 57-6-3137208. Autor para correspondencia: tito@utp.edu.co

Introducción

El proceso de secado es uno de los eslabones más importantes en la cadena productiva de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en el Eje Cafetero Colombiano; sin embargo, pocos productores disponen de sistemas tecnológicos de secado artificial (cámaras de secado convencional o secado tipo invernadero). Este proceso se ha convertido en uno de los grandes desafíos y una necesidad apremiante en el eslabón de transformación y procesamiento, ya que los problemas de secado tienen como consecuencia la pérdida de competitividad para atender pedidos en gran escala, la falta de homogeneidad en el contenido de humedad del producto y la ausencia de garantía de permanencia del producto por largos periodos de tiempo.

Sin un adecuado control del contenido de humedad, los productores de guadua ponen en riesgo mercados potenciales para sus productos y no llegan a ser competitivos en cuanto a calidad se refiere. Las agencias de madera son los mayores comercializadores de guadua; sin embargo, no cuentan con innovaciones que les permitan mejorar los productos ofrecidos ni agregar un valor importante. Aparte del secado natural, no se aplican sistemas de tratamiento ni de procesamiento; solo unos pocos proveedores realizan todo el proceso desde el manejo y aprovechamiento del guadua, le incorporan valor agregado en el secado y preservación y mantienen sus espacios en el mercado sin mucha competencia (Mejía 2004).

A pesar de las buenas propiedades físico-mecánicas de la guadua para la construcción de viviendas y otros usos, este es un material vulnerable al fuego, al agrietamiento, rajaduras y daños por mal secado (Montoya y Jiménez 2006). Los métodos comúnmente empleados para el secado no garantizan la calidad de los productos y, además, implican el uso cada vez mayor de fuentes de energía

renovable de bajo costo. El secado tipo invernadero pudiera convertirse en la mejor opción tecnológica para pequeños y medianos productores de guadua. No obstante, es necesario optimizar el proceso en las condiciones propias de cada sitio.

La investigación desarrollada planteó como objetivo evaluar el contenido de humedad final en guadua rolliza sometida a un proceso de secado natural y secado de tipo invernadero, previa preservación por inmersión en sales de boro.

Metodología

Con el fin de evaluar el contenido de humedad en productos comercializados, se realizaron muestreos de guadua rolliza con longitud comercial de 6 m, procedente de tres productores del Eje Cafetero de Colombia. Las características del producto evaluadas fueron espesor de pared, diámetro, peso y densidad. Para lograr una muestra representativa, se conformó un lote combinado de los tres productores y se seleccionó una muestra proporcional a la procedencia del material. En total, se evaluaron 36 piezas de guadua; la medición del contenido de humedad se tomó en tres secciones de la pieza: sección inferior (0 a 1 m), media (2,5 a 3,5 m) y superior (5,5 a 6,0 m). En cada sección se tomó una muestra cilíndrica de 5 cm de largo para un total de 108 muestras evaluadas.

Durante la segunda etapa de la investigación se evaluó el contenido de humedad después del proceso de preservación empleado por los productores (solución de bórax y ácido bórico al 5%, en relación 1:1 y 5 días de inmersión). El ensayo se realizó con guaduas extraídas del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira con y sin proceso de curado. Se evaluaron 29 piezas de 80 cm que tuvieran al menos dos nudos y posteriormente se preservaron con sales de boro. Una vez terminado el proceso de preservación, se dejaron escurrir

durante un día y luego se colocaron en secador solar tipo invernadero. El diseño de la estructura para el almacenamiento de la guadua dentro del secador permitió el manejo de tendidos individuales y facilitó el almacenamiento de cierta cantidad de guadua en determinado momento con diferente tiempo de secado o diferente diámetro. Esto jugó un papel importante a la hora de procesar lotes con características diferentes.

En este ensayo controlado se realizaron mediciones de temperatura y humedad del secador y los cambios experimentados por la guadua durante el proceso de secado. La temperatura y la humedad se midieron con higrómetros y termómetros ubicados en el exterior y en el interior del secador. Estos instrumentos permiten dar seguimiento al comportamiento de estas variables y así realizar la evaluación al proceso de secado. Se evaluó la pérdida de humedad durante un periodo de siete días bajo condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa específicas del sitio.

El contenido de humedad de todas las muestras de guadua rolliza evaluadas se determinó por medio del método gravimétrico. Se cortaron secciones circulares de guadua rolliza preservada y secada, según procedimiento descrito en la Norma ISO 22157-1: 2004, numeral 6. En cuatro partes del aro circular se midieron variables como ancho de sección, espesor de pared y diámetro; a continuación se pesaron en una balanza electrónica con precisión de 0,01 g para determinar su masa húmeda y luego se introdujeron en una estufa de secado a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Al salir de la estufa, las muestras se introducen de inmediato en un desecador que registra el peso cada dos horas hasta alcanzar un valor constante. Nuevamente, se pesan las muestras y se les mide el ancho de sección, el espesor de pared y el diámetro

en cuatro secciones. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira.

De acuerdo con ISO (2004), el contenido de humedad de cada probeta se calcula como la pérdida de masa, expresada como un porcentaje de la masa seca en horno, utilizando la siguiente fórmula:

$$\%CH = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100$$

Donde:

CH es el contenido de humedad de la guadua expresada como un porcentaje de su peso anhidro

Ph es la masa de la muestra de ensayo antes del secado

Ps es la masa de la muestra de ensayo después de seca o peso final constante

Ph y Ps medidos con una precisión de 0,01 g

Resultados

Contenido de humedad en piezas de guadua comercializada

Los lotes de guadua evaluados mostraron poca variación (Figura 1); sin embargo, se evidenció que el sistema de almacenaje del productor 2 genera una disminución en el contenido de humedad de la sección superior. Este aspecto es relevante ya que se pueden presentar tensiones en el material que ocasionen rajaduras y, en consecuencia, pérdida de calidad.

Según Grosser y Liese (1971), dentro de la pared del bambú el número total de haces vasculares disminuye desde la parte inferior hacia la parte superior, mientras que aumenta la densidad; a la vez, cerca de la periferia los haces vasculares son pequeños, numerosos y concentrados mientras que en la parte media del culmo son más grandes y con una distribución más amplia. Es decir que en la guadua, como en todos los bambúes, el tamaño de los

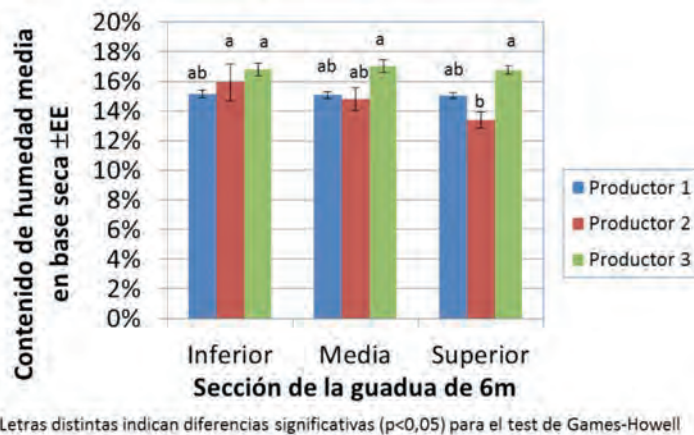


Figura 1. Contenido de humedad de piezas de guadua de 6 m comercializada por productores del Eje Cafetero de Colombia



Foto: Tito Morales-Pinzón

Medición del contenido de humedad en guadua almacenada.

haces vasculares decrece notoriamente desde la base hacia el ápice pero se incrementa su densidad (Londoño et al. 2002). Esta condición hace que se concentre una mayor cantidad de humedad en un espacio mayor y con mayor volumen en la parte superior de la guadua.

Entre la densidad y el contenido de humedad se evidenció una correlación: mayor contenido de humedad conforme disminuye la densidad de la pieza evaluada (Figura 2). Si bien se encontró una baja correlación lineal de Pearson, es significativa ($p < 0,05$) para las muestras evaluadas con un valor de $r = -0,17$. Sin embargo, cuando se analizaron los promedios de contenidos de humedad y densidad por secciones, fue evidente una alta correlación, con valores altamente significativos ($p < 0,01$) de $r = -0,75$ (Cuadro 1). En cuanto a las variables promedio de forma y peso, se encontró que la variable diámetro se correlaciona positiva y significativamente ($p < 0,05$) con el contenido de humedad ($r = 0,72$), mientras que las variables espesor de pared y peso no evidenciaron correlación significativa ($p < 0,05$).

En las evaluaciones de contenido de humedad se suelen comparar los resultados con el valor que corresponde al nivel en el cual la guadua –y la madera en general- ha perdido

teóricamente toda el agua libre y, por lo tanto, las paredes celulares se encuentran saturadas de agua higroscópica. Un material no está seco si el contenido de humedad es superior al 30% del agua libre; es decir, superior al punto de saturación de las fibras. En las muestras evaluadas de guadua rolliza, el contenido de humedad promedio no sobrepasa el 17%, valor superior en 2% al máximo esperado para secado artificial. Según la NTC 5301 (Icontec 2004), el contenido de humedad por secado de tipo solar, vapor o gas debe ubicarse entre 6% y 15%.

Existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en las densidades de la guadua según la procedencia o productor seleccionado (Figura 3). La densidad en peso seco en las tres secciones es significativamente más alta ($p < 0,05$) en el material del productor 3; sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las medias de las densidades de las secciones guadua analizadas. La densidad mínima y máxima encontradas se encuentra entre 0,35 y 0,94 g/cm³, comparables a los valores reportados por Liese (1985 y 1988), quien afirma que en los bambúes, la densidad varía entre 0,5 y 0,8 (0,9) g/cm³.

Evaluación del contenido de humedad durante el proceso de preservación y secado natural

Los resultados del ensayo evidencian que la técnica de curado en mata (utilizada por algunos productores de guadua que consiste en cortar el tallo sin volcarlo y dejarlo entre 15 a 20 días en el guadual) disminuyó significativamente el contenido de humedad inicial. Como efecto indirecto, esto contribuyó a que el culmo absorbiera más solución preservante, según lo demuestra la pendiente mayor entre el punto inicial y la estabilización en la retención de solución (Figura 4).

Las condiciones del secador tipo invernadero son muy variables ya que no dependen de energía adicional incorporada. Durante el seguimiento al proceso de secado de las muestras en secador tipo invernadero se midieron valores mínimo y máximo de 46% y 84% de humedad relativa y 23°C y 34°C de temperatura mínima y máxima dentro de la estructura de secado; por fuera de la estructura se registraron valores promedio mínimo y máximo de 44% y 78% de humedad y 23°C y 33°C de temperatura.

El contenido inicial de humedad media (y desviación estándar) de las piezas de guadua a preservar fue de 50% (± 14) y 83% (± 27)

Cuadro 1. Contenido de humedad en piezas de guadua comercial de 6 m

Lote	Sección	Contenido de humedad (% base seca)	Densidad en base seca (g/cm ³)	Características del producto comercializado (incluye humedad)			n
				Espesor de pared (mm)	Diámetro (mm)	Peso (kg/mL)	
Productor 1	Inferior	15,2±0,8	0,65±0,04	13,6±2,6	109,9±10,5	2,9±0,4	10
	Media	15,1±0,7	0,67±0,03	11,8±1,3	106,2±7,6	2,5±0,4	10
	Superior	15±0,6	0,69±0,04	11,5±3,4	98,1±7,4	2,1±0,4	10
	Promedio	15,1±0,7	0,67±0,02	12,3±2,7	104,7±9,7	2,5±0,5	30
Productor 2	Inferior	15,9±3,9	0,6±0,03	12,9±3,1	106,2±12,1	2,4±0,5	10
	Media	14,8±2,4	0,61±0,02	12,2±2,1	104,6±12,2	2,3±0,5	10
	Superior	13,4±1,7	0,62±0,02	10,1±1,1	93,9±11,3	1,8±0,5	10
	Promedio	14,7±2,9	0,61±0,01	11,8±2,5	101,6±12,7	2,2±0,6	30
Productor 3	Inferior	16,8±1,5	0,53±0,03	11,5±2,3	117,1±9,2	2,1±0,6	12
	Media	17±1,5	0,51±0,02	10,2±2,5	111,1±12,8	1,9±0,5	12
	Superior	16,8±1,0	0,52±0,03	9,6±1,3	102,6±13,1	1,6±0,5	12
	Promedio	16,9±1,3	0,52±0,02	10,4±2,2	110,3±13	1,9±0,6	36

Los datos representan la media±desviación estándar.

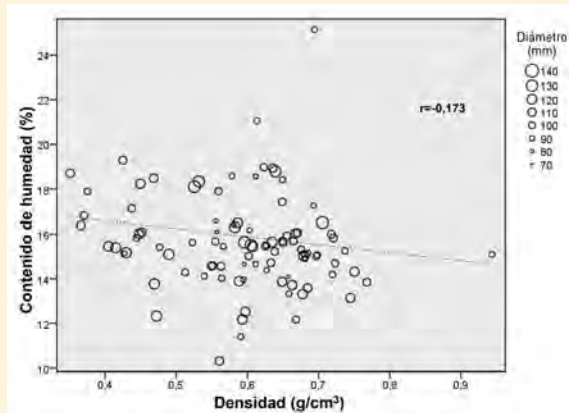


Figura 2. Efecto de la densidad en relación con el contenido de humedad y diámetro de la guadua

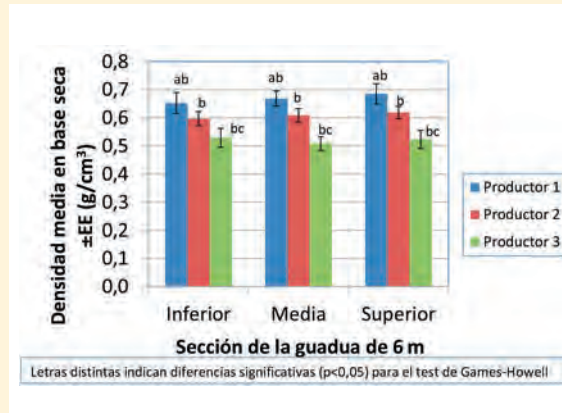


Figura 3. Densidades de las piezas de guadua de 6 m comercializadas

para guadas con proceso de curado y sin curar, respectivamente. Estos valores están dentro del rango de contenido de humedad de bambúes reportado por Liese y Kumar (2003) -entre 60 y 90%-. Sin embargo, los valores mínimos y máximos encontrados fueron de 33% (con curado) y 120% (sin curado); en promedio, las guadas curadas presentaron un 14% de diferencia entre la humedad inicial y la obtenida a los cinco días de finalizado el proceso de preservación, el doble de lo alcanzado por las piezas sin curar.

El ensayo de secado de piezas de 80 cm demostró que el secado natural tipo invernadero es eficiente en longitudes cortas. La humedad perdida durante los siete días del ensayo en el lote de guadua curado fue de 19% y 27% en el lote sin curar (Figura 5). Los valores máximos de contenido de humedad fueron superiores en las guadas sin curado (35% al inicio del proceso de secado), en tanto que los valores mínimos se encontraron en las guadas con curado (3% al inicio del proceso de secado) (Cuadro 2). Los modelos de regresión elaborados a partir de la propuesta de Montoya y Jiménez (2006) revelan que el secado se daría en solo 20 días, mientras que las piezas de seis metros requie-

ren de al menos cuatro meses para un secado con similares contenidos de humedad. Las piezas de guadua con proceso de curado tuvieron un menor contenido de humedad al iniciar el proceso y alcanzaron el secado en menor tiempo (Figura 5).

La densidad y el contenido de humedad de la guadua al inicio del proceso de preservación afectaron la efectividad del mismo. Los mejores resultados se obtuvieron en las piezas con menor densidad y menor contenido de humedad inicial (con proceso de curado), pues estas condiciones mejoran la retención de solución. Este aspecto ratifica lo ya probado por diferentes estudios en cuanto a que el proceso de curado

no solo es de gran importancia para la preservación de la guadua, por la pérdida de azúcares, sino que también genera mayor capacidad de absorción de la solución preservante, al tener un contenido inicial de humedad menor.

Conclusiones y recomendaciones

El curado en mata, durante 15 o 20 días, favorece la capacidad de retención de solución preservante y facilita el secado, ya que reduce el contenido inicial de humedad en la pieza de guadua. Este es un factor que debe ser considerado en la cadena de transformación y procesamiento de la guadua.

Cuadro 2. Contenido de humedad (en porcentaje) en piezas de guadua secadas en secador natural tipo invernadero

	Estadística	Tiempo (días)						
		1	2	3	4	5	6	7
Curado	Media	60	57	54	51	49	44	42
	Desviación estándar	14	14	14	13	13	13	13
	Máximo	86	83	80	77	75	71	69
	Mínimo	43	40	38	35	33	28	25
	n	14						
Sin curado	Media	80	75	70	66	64	57	53
	Desviación estándar	27	27	26	25	25	24	24
	Máximo	121	115	108	103	99	91	85
	Mínimo	40	37	33	30	29	23	20
	n	14						

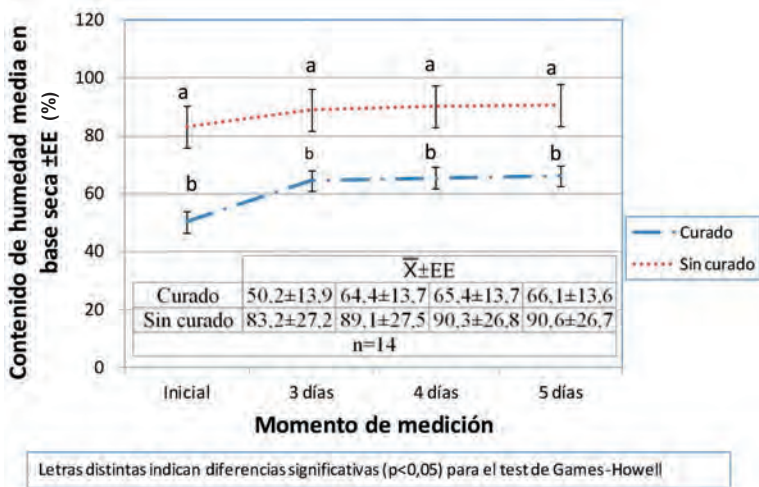


Figura 4. Contenido de humedad de la guadua en el proceso de preservación

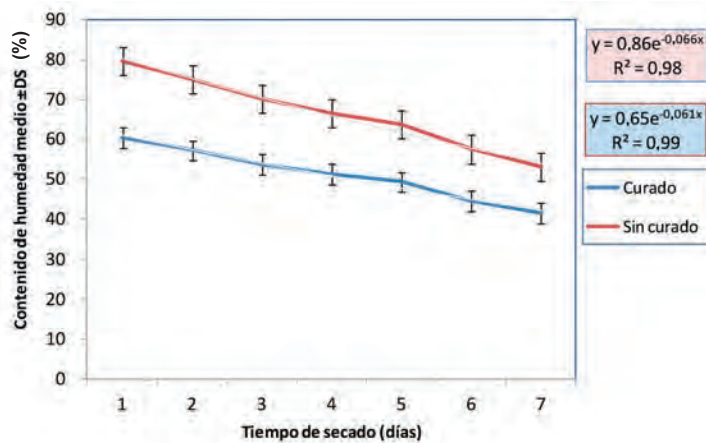


Figura 5. Contenido de humedad en secador natural tipo invernadero

El contenido de humedad en piezas de 6 m comercializadas por productores del Eje Cafetero está cerca del valor máximo esperado para procesos de secado artificial: entre 20% y 15%, con tiempos de secado mayores a tres meses. En general, el secado natural evita rajaduras en las piezas de guadua,

siempre y cuando se las proteja del sol y el agua (en estructura cubierta).

Se recomienda a los productores de guadua realizar procesos de preservación por inmersión, una vez que las piezas hayan perdido parte de su contenido de humedad -por ejemplo, mediante el proceso de curado en mata-

Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos a la Universidad Tecnológica de Pereira, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y a la Corporación Red Especializada de Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Agropecuario de Colombia (Cenired), por la financiación del proyecto de investigación "Mejoramiento tecnológico del proceso de la cosecha, poscosecha, preservación con sales de boro y secado por invernadero de piezas de guadua rolliza. Desarrollo de estándares para la competitividad en la cadena productiva de la guadua".

Literatura citada

- Grosser, D.; Liese, W. 1971. On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles. Wood Science and Tech. 5: 290-312.
- Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2004. Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5301.
- ISO (International Standards Organisation). 2004. ISO 22157-1: Bamboo determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements. Geneva, Switzerland. 19 p.
- Liese, W. 1985. Bamboos: Biology, silvics, properties, utilization. Eschborn, GTZ.
- Liese W. 1988. The anatomy of bamboo culms. Beijing, International Network for Bamboo and Rattan.
- Liese, W.; Kumar, S. 2003. Bamboo preservation compendium. New Delhi, India, Inbar-Cibart. ABS-Technical. Report No. 22. 231 p.
- Londoño, X.; Camayo, G.C.; Riaño, N.M.; López, Y. 2002. Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. Bamboo Science & Culture 16: 18-31.
- Mejía, N. 2004. La cadena de la guadua en Colombia. Situación de la cadena y matriz del acuerdo marco nacional de competitividad. Cali, Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Montoya, J.A.; Jiménez, E. 2006. Determinación de la curva de secado al aire libre mediante modelación matemática y experimental de la *Guadua angustifolia* Kunth. Scientia Et Technica 12(30): 415-419.

Efectividad de la preservación de *Guadua angustifolia* en el Eje Cafetero colombiano por el método de inmersión-difusión

Tito Morales-Pinzón¹, Luisa Fernanda Durán¹, César Andrés Alzate¹

Resumen

Se evaluó la efectividad del proceso de preservación de guadua rolliza mediante el método de inmersión-difusión en solución de boro. El material evaluado fue producido por tres empresas establecidas en el Eje Cafetero de Colombia. Las muestras del material tratado fueron analizadas en laboratorio; se realizaron mediciones de penetración radial del boro utilizando un método cualitativo de detección. Se encontró que en todos los rangos de retención hubo una alta penetración, lo que demuestra que la penetración no depende de la concentración de la solución a la cual fue expuesta la guadua. La preservación por el método inmersión-difusión, al 5% de concentración de solución de bórax-ácido bórico en relación 1:1 es superior a 1 kg EAB/m³ y se presenta homogénea a lo largo de toda la pieza preservada. Los métodos cualitativos de detección de boro analizados demostraron que la cúrcuma molida (*Curcuma longa* L.) reacciona con un amplio rango de retención de boro.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; bórax; ácido bórico; preservación; inmersión; medición; espectrofotómetros; Colombia.

Abstract

Effectiveness of preservation using the immersion-diffusion method on *Guadua angustifolia* from the Colombian coffee region. The effectiveness of a preservation process using the immersion-diffusion method on *Guadua angustifolia* was evaluated. A boron solution is commonly applied for producers from the Colombian coffee region as preserving method. Samples of treated material were tested in laboratory; radial penetration was determined using a boron qualitative detection method. A high penetration occurred in all ranges of boron retention; this proved that penetration does not depend on the concentration of the solution. Preservation using the immersion-diffusion method, with a borax-boric acid solution at 5% of concentration (relation 1:1) showed retentions greater than 1 kg EAB/m³ distributed homogeneously throughout the piece. Qualitative detection methods demonstrated that turmeric (*Curcuma longa* L.) reacted with a wide range of boron retention values.

Keywords: *Guadua angustifolia*; borax; boric acid; preservation; immersion; measurement; spectrophotometers; Colombia.

¹ Grupo de investigación Gestión Ambiental Territorial, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia. 660003. Tel 57-6-3137208. tito@utp.edu.co

Introducción

La guadua rolliza (redonda) es, sin duda, el producto de bambú con mayor potencial comercial en mercados locales, nacionales e internacionales. Sin embargo, la preservación sigue siendo uno eslabón crítico en el proceso de transformación y adición de valor a los productos obtenidos de los culmos (tallos) de guadua adulta que se cosechan en la región del Eje Cafetero de Colombia. En el eslabón de transformación de la cadena de la guadua se han detectado una serie de problemas, tales como la ineficacia de los métodos empleados para preservación y secado, que no garantizan la calidad de los productos; el incremento en el costo de la materia prima, por el empleo de prácticas empíricas inadecuadas en el manejo y aprovechamiento de los guaduales y el transporte de los culmos; la falta de conocimiento de los agentes empresariales acerca de las normas de aprovechamiento, preservación y secado de la guadua (Gobernación del Quindío 2004).

En la preservación de culmos de bambú y sus productos, los compuestos de boro son los más utilizados (Liese 2004). Algunas empresas del Eje Cafetero han optado por preservar con solución de bórax y ácido bórico, que son compuestos favorables por su baja toxicidad para las personas y el medio ambiente; además, son muy efectivos y de fácil acceso para la mayoría de pequeños y medianos productores.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia del proceso de preservación de piezas de guadua (retención y penetración de las sales de boro), aplicado por productores de la región cafetera. Se utilizó el método de análisis espectrofotométrico de la azometina-H; esta es una técnica de medición del boro ampliamente utilizada en el análisis de foliares. Adicionalmente, se empleó un método cualitativo de estimación del contenido de boro, a partir de la penetración de las sustancias preservantes. Este es

un método de uso práctico, efectivo y al alcance de todos, que mejora la credibilidad y competitividad a la hora de implementar y certificar estándares de calidad sustentados en el conocimiento del producto final entregado por la empresa o productor.

La investigación consistió en determinar el contenido de boro de las muestras preservadas mediante un proceso de inmersión-difusión; para ello se analizaron muestras provenientes de tres empresas productoras establecidas en el Eje Cafetero de Colombia. Los análisis se hicieron en laboratorio y se relacionaron con un método cualitativo de detección de contenido de boro: cúrcuma (*Curcuma longa* L.) comercial molida disuelta en alcohol industrial. La coloración que la sustancia reveladora toma en la madera se relaciona con el nivel de retención en las muestras, el cual se expresa en kilogramos por metro cúbico (CIIBI 2002). De acuerdo con FAO (1986), una retención de EAB (equivalencia de ácido bórico) igual o superior a 0,96 kg/m³ (p/v) es suficiente para brindar una protección eficiente a la madera para uso interior; en condiciones de almacenamiento, la retención mínima en el núcleo debe ser de 0,20% a 0,25% de ácido bórico equivalente al peso de la madera secada en horno.

Determinación de la muestra

Como primera fase, se realizó un muestreo en lotes almacenados ya preservados. Se trabajó principalmente con empresas de la región, certificadas con el Forest Stewardship Council (FSC) o en proceso de certificación. Se estimó un tamaño óptimo de 96 muestras que debían ser analizadas; para el cálculo se empleó un muestreo aleatorio simple, a partir de datos previos presentados por Morales-Pinzón (2006) (ver ecuación 1).

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2} * \sigma)^2}{e^2 + \frac{(Z_{\alpha/2} * \sigma)^2}{N}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

n es el tamaño óptimo de muestra aleatoria

e es el error permisible y viable para el estudio en términos de costos de las muestras analizadas (5,3 kg/m³ de EAB o 10% del valor medio esperado)

$Z_{\alpha/2}$ es el valor estadístico de desviaciones estándar en la distribución normal que corresponde a una confiabilidad de 0,95

N es el tamaño de la población estudiada que corresponde a los lotes combinados de los productores del último proceso de preservación (estimado en 164 piezas de guadua rolliza).

Método cuantitativo de detección de boro

De cada guadua se tomaron muestras de aserrín provenientes de tres secciones diferenciadas: ambos extremos, entre 0-0,5 m y 5,5-6 m y parte central, entre 2,75-3,25 m. Del total de 288 muestras se envió a laboratorio solo una de cada tres, es decir 96 muestras distribuidas de forma sistemática aleatoria. En laboratorio se realizaron análisis para cuantificar, por espectrofotometría, el contenido de boro y compararlo con estándares de preservación reportados en la literatura para constatar el grado de protección del material de diferentes procedencias. El principio general de este método es que el boro reacciona con el compuesto azometina-H para formar un complejo estable de color amarillo, el cual se valora colorimétricamente a 410 nm (UTP 2000).

Método cualitativo de detección de boro

Para la valoración cualitativa del proceso de preservación de las muestras, se realizó un proceso de corte en cinco diferentes secciones longitudinales (en los bordes y cada 1,5 m sobre la pieza de guadua comercial de 6 m). Se definió una nueva muestra de 160 mediciones, equivalente al 30% del total de secciones disponibles. La solución reveladora de cúrcuma en alcohol al 95% se aplicó por asper-

sión con un atomizador comercial y se tomaron mediciones de penetración del preservante. De forma complementaria, se aplicó una solución complementaria (sobre muestra seca) de ácido acetilsalicílico (ácido clorhídrico al 34%, 6 g de ácido salicílico en 100 ml de alcohol industrial >90%). Las valoraciones cualitativas se hicieron por la reacción de estas sustancias con el boro al cambiar de color (de amarillo a rojo intenso); para ello se evaluó la proporción de sección circular (penetración radial) con mayor preservante retenido.

Resultados

Los tres productores con quienes se trabajó preservan la guadua rolliza por medio del método inmersión-difusión con una concentración del 5% en relación 1:1 de ácido bórico y bórax y un tiempo de inmersión de la guadua de cinco días, tal como se constató con mediciones en las piscinas de preservación. Además, aplican el proceso de vinagrado, el cual consiste en cortar los culmos en el guadua y dejarlos en pie, recostados sobre las demás guadas del rodal durante un periodo no menor de ocho días ni mayor de tres semanas (Montoya 2002). La corta debe hacerse en luna menguante y en horas de la madrugada, cuando es menor la cantidad de agua en la planta. Durante el tiempo que se dejan los culmos en el guadua se produce un proceso de vinagrado natural; es decir que los líquidos almidonados en el interior se fermentan y producen un vinagre o alcohol que preserva la guadua en forma natural y la hace menos propensa al ataque de insectos (Giraldo y Sabogal 1999).

Evaluación cualitativa de la penetración del boro en la guadua preservada

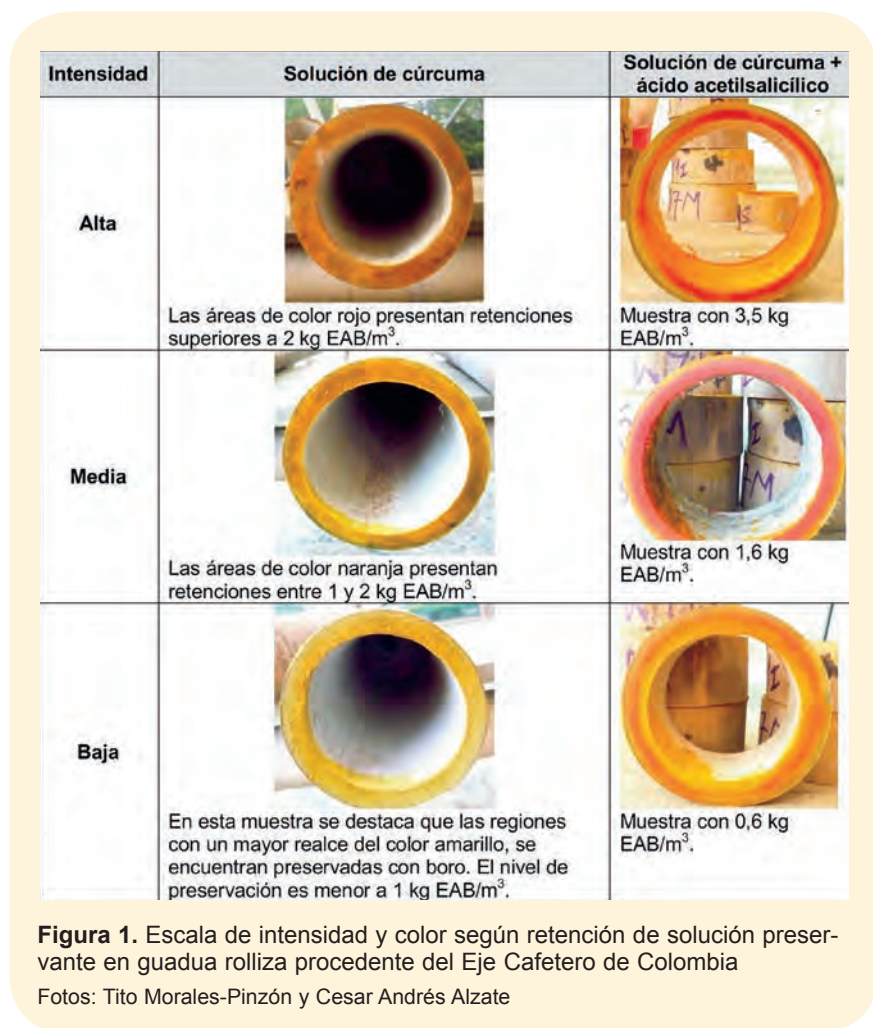
La penetración de la solución de cúrcuma se clasificó en tres categorías: baja (cambio leve, amarillento, ligeramente diferente de una muestra sin boro), media (cambio a color naranja) y alta (cambio a color rojo). Al agre-

garse ácido acetilsalicílico a la solución, las partes con mayor retención se revelan con más claridad (Figura 1).

El 9% de las muestras evaluadas presentaron niveles bajos de retención y niveles altos en el 42%. Los mayores rasgos de preservación (penetración alta) se evidencian en la pared interior, lo que coincide con lo descrito por Morales-Pinzón (2006). En cuanto a la penetración del químico, se encontró una distribución homogénea a lo largo de las piezas de 6 m de guadua rolliza (producto comercial ofrecido por los productores) (Figura 2).

La penetración del preservante fue siempre del 100%; sin embargo, la zona de mayor penetración varía en función de las características del material preservado (diámetro, espesor de pared) y, seguramente, de las

condiciones iniciales de preservación (contenido de humedad antes de la inmersión) (Morales-Pinzón 2006). En las muestras evaluadas, el porcentaje de penetración con mayor intensidad de color fue siempre mayor a 41%, aunque se encontraron dos muestras con valores mayores al 90%. Se encontró que en todos los rangos de retención hubo una alta penetración, lo que demuestra que la penetración no depende de la concentración de la solución a la cual fue expuesta la guadua. En promedio, los valores de penetración con intensidad alta oscilaron entre 65% y 80% (Cuadro 1), valores superiores a los reportados por Morales-Pinzón (2006) para probetas de guadua de 1 m, y por Berrocal et al. (2004) para especies madereras –entre ellas, melina, con valores inferiores al 35%.



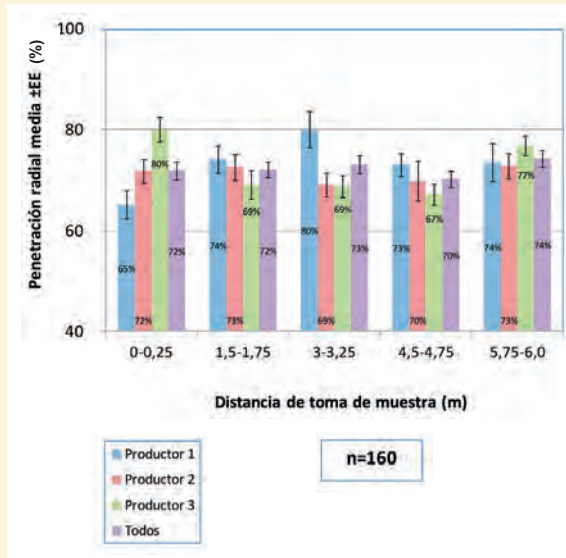


Figura 2. Penetración radial de la solución preservante en guadua rolliza procedente del Eje Cafetero de Colombia

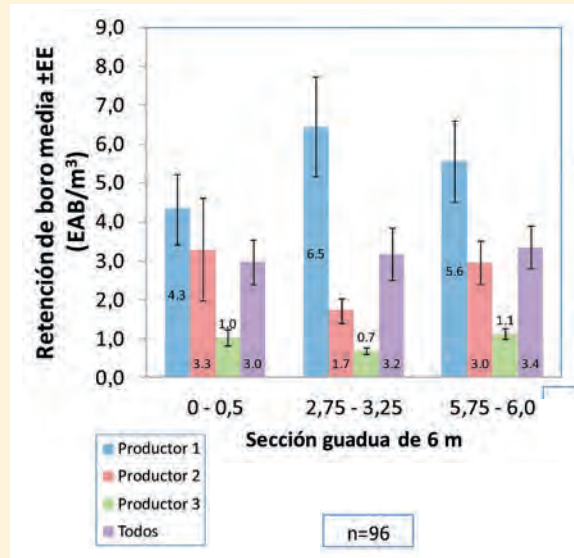


Figura 3. Comparación de la retención de boro en muestras de guadua procedente del Eje Cafetero de Colombia

Evaluación cuantitativa de la retención de boro en la guadua preservada

En las muestras evaluadas, la retención promedio de boro está cerca o por encima del límite tóxico establecido, lo que indica que los productores satisfacen los mínimos esperados para el mercado de guadua rolliza preservada. También se cumple con la norma de FAO (1986), para guadua usada en interiores: EAB mínimo de 0,96 kg/m³ (p/v). Por su alta solubilidad en agua, los compuestos de boro son fácilmente lixiviables en la madera tratada y, en consecuencia, tal madera no es adecuada para el uso al aire libre (Lloyd 1998, Peylo

y Willeitner 1997). El límite tóxico para la protección de madera en condiciones al aire libre es de 1 kg EAB/m³ (Drysdale 1994, Schoeman y Lloyd 1998), aunque Liese y Kumar (2003) hablan de un rango óptimo entre 1 y 4 kg EAB/m³.

La retención se presentó homogénea a lo largo de la pieza de guadua, sin diferencias estadísticamente significativas $p > 0,05$; se encontraron valores de retención de 2,97±3,25 kg/m³ (sección inferior), 3,17±3,76 kg/m³ (sección media) y 3,36±3,06 kg/m³ (sección superior) (Figura 3). Sin embargo, el análisis realizado a muestras de diferentes productores evidenció la heterogeneidad del

proceso de preservación, con valores medios de retención de boro y desviación estándar de 0,94±0,50 kg/m³ (productor 3), 2,66±2,67 kg/m³ (productor 2) y 5,44±3,79 kg/m³ (productor 1). Estos valores coinciden con los presentados por Morales-Pinzón (2006) en un experimento controlado para determinar el efecto de diferentes niveles de concentración de la solución preservante (bórax-ácido bórico); sin embargo, la alta variabilidad podría indicar que los valores de concentración de las piscinas de preservación son diferentes a los reportados por el productor. La concentración esperada en las piscinas de preservación evaluadas era del 5%, en relación 1:1 y un tiempo de inmersión de cinco días. Estos valores presentan un mayor margen de seguridad que el requerido de 2% y cinco días para garantizar un 90% de mortalidad de los coleópteros taladradores (*Dinoderus minutus*) en ensayos controlados (Peña et al. 2009).

Los resultados de penetración y retención revelan retenciones superiores a 1,8 kg EAB/m³. Al compararse estos resultados con los requerimientos de retención propuestos por FAO

Cuadro 1. Penetración radial de la solución de bórax-ácido bórico en guadua rolliza procedente del Eje Cafetero de Colombia (valores porcentuales)

Sección de toma de muestra (m)	Espesor de pared (mm) (X±EE)	Porcentaje de penetración radial del preservante (X±EE)				Promedio	n
		Productor 1	Productor 2	Productor 3	Promedio		
0,0 - 0,25	15,1±3,7	65±3	72±2	80±2	72±10	32	
1,5 - 1,75	12,1±2,1	74±3	73±3	69±3	72±9	32	
3,0 - 3,25	11,5±2	80±4	69±2	69±2	73±11	32	
4,5 - 4,75	10,5±2,1	73±2	70±4	67±2	70±9	32	
5,75 - 6,0	10,4±1,2	74±4	73±2	77±2	74±10	32	
Promedio	11,9±2,9	73±11	71±9	72±9	72±10	160	
n		60	50	50	160		

Cuadro 2. Retención de boro en muestras de guadua de productores del Eje Cafetero de Colombia

Productor	Sección	Retención media (kg EAB/m ³ ±EE)	Retención media (p/p) (% EAB±EE)	n
Productor 1	0 - 0,5	4,3±0,9	0,9±0,77	12
	2,75 - 3,25	6,5±1,3	1,32±0,97	12
	5,75 - 6,0	5,6±1,1	1,13±0,86	12
	Pieza de 6 m	5,4±0,6	1,12±0,86	36
Productor 2	Inferior	3,3±1,3	0,55±0,69	10
	Media	1,7±0,3	0,29±0,19	10
	Superior	3,0±0,6	0,49±0,33	10
	Pieza de 6 m	2,7±0,5	0,45±0,45	30
Productor 3	Inferior	1,0±0,2	0,16±0,1	10
	Media	0,7±0,1	0,1±0,04	10
	Superior	1,1±0,2	0,17±0,07	10
	Pieza de 6 m	0,9±0,1	0,14±0,08	30
Promedio	Inferior	3,0±0,6	0,56±0,67	32
	Media	3,2±0,7	0,62±0,81	32
	Superior	3,4±0,5	0,63±0,68	32
	Pieza de 6 m	3,2±0,3	0,6±0,72	96

(1986), en términos de porcentaje de EAB, se encontró que el material procedente del Productor 3 tuvo valores de retención inferiores al estándar para maderas (Cuadro 2). No obstante, según información recolectada en los sitios de venta, no han presentado reclamaciones por parte de los compradores del producto. En general, en los sitios de almacenamiento, el material preservado está expuesto al ataque de xilófagos, como dinoderus y termitas; la ausencia de reclamaciones hace pensar que la preservación ha sido efectiva. Sin embargo, es necesario hacer pruebas controladas con estándares internacionales para corroborar estos resultados.

Literatura citada

Berrocal, A. Muñoz, F.; González, G. 2004. Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica. Kurú 1(3): 1-12.

CIIBI (Centro de Investigación en Integración Bosque Industria, CR). 2002. Preservación de madera de melina proveniente de plantaciones forestales utilizando el método de inmersión difusión con sales de boro. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (Guía práctica No. 1).

Drysdale, J.A. 1994. Boron treatment for preservation of wood; a review of efficacy data for fungi and termites. Stockholm, Sweden, International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP 94-30037.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986. Wood preservation manual. Rome, Italy, FAO - Mechanical Wood Products Branch.

Giraldo, E., Sabogal, A. 1999. Una alternativa sostenible: la guadua. Armenia, CRQ. 192 p.

Gobernación del Quindío, Secretaría de Desarrollo Económico, Rural y Ambiental. 2004. Cadena productiva de la guadua; organización de la cadena de la guadua, caracterización de eslabones, actores y procesos. Armenia, CRQ.

Liese, W. 2004. Preservation of a bamboo culm in relation to its structure. En: Simposio Internacional Guadua 2004 [Memorias. Pereira, Colombia, 27 de set. Al 2 de oct.], p. 20-29.

Conclusiones y recomendaciones

- La penetración del boro en guadua preservada por método de inmersión, por parte de productores del Eje Cafetero colombiano es superior a lo reportado en estudios de maderas y se ajusta a las normas recomendadas.
- La escala colorimétrica empleada para determinar la penetración radial del boro demuestra ser una opción económica, accesible y de fácil manejo para los productores, ya que brinda un indicador confiable, aunque poco preciso de la retención de boro.
- Se recomienda continuar con estudios encaminados a generar herramientas de análisis e interpretación para los productores, tales como métodos de fácil acceso y uso, herramientas informáticas, mecanismos de corroboración y soporte de información. Esto ha de facilitar la toma de decisiones a nivel empresarial y seguramente permitirá obtener un mejor producto final y una cadena productiva de la guadua más eficiente.

Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos a la Universidad Tecnológica de Pereira, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y a la Corporación Red Especializada de Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Agropecuario de Colombia (Cenired), por el financiamiento del proyecto de investigación "Mejoramiento tecnológico del proceso de la cosecha, poscosecha, preservación con sales de boro y secado por invernadero de piezas de guadua rolliza. Desarrollo de estándares para la competitividad en la cadena productiva de la guadua".

Liese, W.; Kumar, S. 2003. Bamboo preservation compendium. New Delhi, India, Inbar-Cibart. ABS-Technical Report No. 22. 231 p.

Lloyd, J.D. 1998. Borates and their biological applications. Stockholm, Sweden, International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP 98-30178.

Montoya, J. 2002. Investigación tecnológica en métodos para la preservación de la guadua. Tesis Mag. Sc. Manizales, Universidad Nacional de Colombia. 180 p.

Morales-Pinzón, T. 2006. Evaluación y ajuste del proceso de preservación de guadua por inmersión con sales de boro. Scientia et Technica 32: 457-462.

Peña, L.; Burgos, A.; González, A.; Valero, S. 2009. Efecto de la preservación con mezclas de bórax-ácido bórico y urea formaldehído sobre las propiedades físico mecánicas y el ataque de insectos en guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). Revista Forestal Venezolana (año 43) 53(2): 135-144.

Peylo, A.; Willeitner, H. 1997. Leaching of boron more than 3 years after exposure. Stockholm, Sweden, International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP 97-30143.

Schoeman, M.W.; Lloyd, J.D. 1998. International standardisation: A hypothetical case study with stand-alone borate wood preservatives. Stockholm, Sweden, International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP 98-20147.

UTP (Universidad Tecnológica de Pereira). 2000. Manual de pruebas químicas del laboratorio de Análisis de Suelos (suelos, foliares, bromatológicos, fertilizantes y abonos orgánicos). Pereira, Colombia.

Determinación de la huella de carbono de una empresa forestal productora de guadua

El caso de la empresa Yarima Guadua, Eje Cafetero de Colombia

Ángela María Arango Arango¹, Juan Carlos Camargo García²

Resumen

Los guaduales naturales, característicos en las riberas de los ríos y en la zona cafetera de Colombia, poseen una buena capacidad de almacenar dióxido de carbono; sin embargo, es necesario conocer acerca del manejo y aprovechamiento que se les da y cómo estos procesos generan emisiones al ambiente. El objetivo del trabajo consistió en describir los procesos de pre cosecha, cosecha y poscosecha llevados a cabo en la empresa para definir la huella de carbono y determinar su impacto en el medio ambiente. Los resultados muestran que si bien la huella de carbono es menor que la de otros cultivos, es necesario reducir el consumo de combustibles para disminuir las emisiones al ambiente.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; huella de carbono; gases de efecto invernadero; biomasa; dióxido de carbono; impacto ambiental; producción forestal; Colombia.

Abstract

Determining the carbon footprint of a forestry company producing bamboo; case study from the Colombian coffee region / the case of Yarima Guadua Company. Natural bamboo stands are characteristic on riverbanks and in the coffee region of Colombia. They have a good capacity to store carbon dioxide; however, it is necessary to study both their management and use to determine the amount of carbon emissions released. This study was aimed to describe the pre-harvest, harvest and post-harvest processes to define the carbon footprint and corresponding impact on the environment. The results showed that although the carbon footprint was smaller than that of other crops, it is necessary to short down fuel consumption to reduce emissions to the environment.

Keywords: *Guadua angustifolia*; carbon footprint; greenhouse gases; biomass; carbon dioxide; environmental impact; forestry production; Colombia.

¹ Estudiante de Maestría en Ecotecnología. Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. amarango@utp.edu.co

² Profesor Titular. Director Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. Universidad Tecnológica de Pereira. jupipe@utp.edu.co

Introducción

Las actividades productivas de las empresas por lo general generan diversas formas de contaminación que afectan el medio ambiente. Para dar solución a dicha problemática se proponen varios enfoques que abordan la responsabilidad ética, social y medioambiental, como parte del compromiso fundamental de la empresa. En este sentido, las soluciones pueden ir desde la regulación ambiental por parte de la autoridad competente, hasta el valor agregado a los productos y servicios, el cual puede traducirse en un incentivo por el uso de prácticas responsables que mejoren la productividad y disminuyan los efectos negativos sobre el medio ambiente (Argandoña 2003).

Las empresas de explotación forestal, como es el caso de Yarima Guadua, generan gases de efecto invernadero (GEI) durante los procesos de producción, cosecha y transformación. Con el fin de determinar la huella de carbono de una empresa es necesario medir y reportar las cantidades de GEI emitidas en cada etapa del proceso productivo. En este estudio de caso se informa de la determinación de la huella de carbono producida por la empresa Yarima Guadua, ubicada en el Eje Cafetero de Colombia. La huella de carbono es un indicador ambiental de uso generalizado en el ámbito internacional. Este indicador permite conocer la presión que generan las actividades desarrolladas por el ser humano sobre los ecosistemas; además, permite estimar los requerimientos en términos de recursos, cuantificar las entradas y salidas en cada uno de los procesos y determinar la capacidad de asimilación de desechos por parte de la empresa, región o país, expresada en áreas productivas o unidades de referencia (Carballo et al. 2008, Moreno 2005).

La huella de carbono se determina según la cantidad de GEI producidos, medidos en unidades

de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq). Este análisis abarca todas las actividades del ciclo de vida de un producto, desde la adquisición de la materia prima hasta la gestión como residuo. Una de las ventajas de la determinación de la huella de carbono es que el consumidor consciente puede decidir qué productos adquirir, teniendo como base la contaminación generada durante los procesos o transformaciones del producto (AEC 2006).

El objetivo de la medición y cuantificación de la huella de carbono es contribuir con los esfuerzos que se están realizando para mitigar el cambio climático. El cambio climático no solo es consecuencia de las actividades productivas sino también de fenómenos naturales (IPCC 2001). Así, se han definido dos categorías básicas para explicar el cambio climático: a) procesos sistémicos (perturbaciones) que pueden ocurrir en un sitio específico pero que tienen efecto en todo el planeta y b) procesos acumulativos de sustancias en diversos lugares que provocan perturbaciones al medio (IPCC 2001, Guerra 2007). En este contexto, temas como los recursos naturales, los mercados, la energía y el rol de las instituciones son de relevancia en la modificación paulatina del entorno (Guerra 2007), pues el cambio climático comprende relaciones complejas entre procesos climáticos, ambientales, económicos, políticos, institucionales, sociales y tecnológicos. La respuesta ante el cambio climático pasa por la adopción de decisiones en condiciones de incertidumbre y riesgo, lo que abarca cambios no lineales y/o irreversibles (IPCC 2001). Esto significa, entonces, que se desconoce la capacidad de resistencia y resiliencia de los ecosistemas afectados.

La medición de la huella de carbono permite determinar con exactitud el aporte de contaminantes generados por las actividades productivas de una empresa en par-

ticular y, por ende, su impacto en la salud del medio ambiente.

El estudio se realizó en la finca Yarima Guadua, ubicada en la vereda El Tigre, sector Cerritos, municipio de Pereira (Colombia). La finca cuenta con una certificación voluntaria del GFA, avalada por FSC; esta certificación se ratifica con visitas de auditoría cada año (Mejía 2010). Desde hace seis años, la empresa ofrece para la venta dos tipos de productos de guadua rolliza: culmos crudos o culmos secos y preservados.

Con el fin de medir la huella de carbono de la empresa, se identificaron las etapas de los procesos de extracción, transporte y entrega de guadua rolliza en la puerta de la finca (de la cuna a la puerta). La información se obtuvo mediante entrevistas y conversaciones con los trabajadores de la finca. Paralelamente, se realizó un muestreo de biomasa para determinar el contenido de carbono en los guaduales. Se siguieron los pasos metodológicos que se describen a continuación:

Descripción de procesos: del Plan de gestión ambiental de la empresa se identificaron los procesos que generan mayor cantidad de impactos; además, se realizaron visitas de campo y entrevistas semiestructuradas con la propietaria de la finca y los operarios.

Mapa de procesos: según el Plan de gestión ambiental de la empresa, la actividad productiva consta de tres grandes procesos: precosecha –básicamente, actividades de mantenimiento del guadual que ayudan a mejorar las condiciones y, a su vez, permiten una mayor regeneración de los guaduales-; cosecha –actividades realizadas para la extracción del culmo dentro del guadual: corta, troceo, apilado y avinagrado-; poscosecha –actividades llevadas a cabo fuera del guadual, tales como el transporte, lavado, preservación y secado de la guadua rolliza-. La Figura 1 ilustra las actividades que

componen el proceso de producción de guadua para la venta en finca Yarima Guadua, Colombia.

Estimación de las emisiones: se indagó sobre las prácticas productivas empleadas, uso de fertilizantes nitrogenados u otro tipo de fertilizantes, uso de combustibles fósiles para la operación de maquinaria y empleo de agua en el proceso de preservación. A los valores obtenidos mediante información primaria y secundaria se les aplicó el factor de conversión recomendado por IPCC (2006) y FAO (2014). También se tomó información de los residuos generados en los procesos, los cuales se consideran como fugas de CO₂.

Para identificar las posibles causas de las emisiones, se determinaron las entradas y salidas de los procesos de precosecha, cosecha y poscosecha. Las metodologías empleadas para cada uno de los procesos que generan algún tipo de impacto fueron las siguientes:

- Estimación de emisiones derivadas de la quema de combustible fósil y quema de madera: se emplearon las directrices del IPCC (2006) para el inventario de GEI (vol. 4: Agricultura y otros usos de la tierra) y las de la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME 2003) y los factores de emisión de

los combustibles colombianos. Las fuentes principales de información fueron la propietaria de la finca y el operario encargado del manejo del guadua.

- Consumo de energía eléctrica: se utilizó la NTC 6000 del 2013, el Protocolo GEI y el estándar corporativo de contabilidad y reporte. Las fuentes principales de información fueron la propietaria de la finca y el operario encargado del manejo del guadua.
- Generación de residuos: se adoptaron los valores ofrecidos por Daza et al. (2013) en un estudio de factibilidad de generación de *pellets* torreficados a partir de bio-

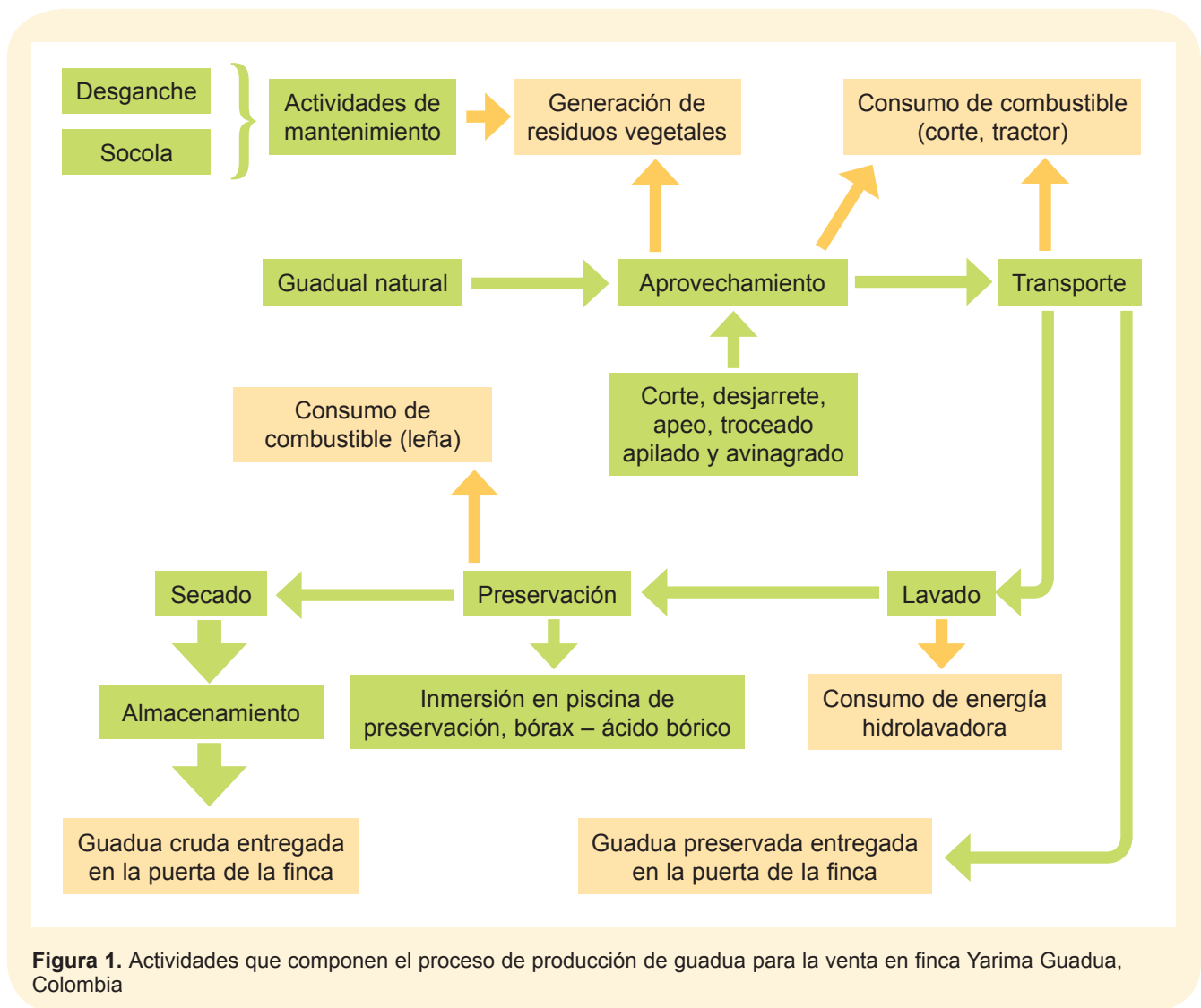


Figura 1. Actividades que componen el proceso de producción de guadua para la venta en finca Yarima Guadua, Colombia

masa residual de bambú; dicho estudio incluía a la finca Yarima.

- Captura de carbono: según IPCC (2006), para estimar el cambio anual en las existencias de carbono se debe determinar la cantidad de biomasa actual y restar la pérdida de biomasa debida a cualquier tipo de perturbación (Ecuación 2.27). La captura de carbono en los rodales de guadua se estimó con el valor dado por Arango (2011) y se le restó el valor dado por Daza et al. (2013), en términos de residuos expresados en toneladas por hectárea (t/ha).

Cálculo de la huella de carbono: como unidad de referencia para el cálculo se usó un metro cúbico de guadua preservada (1 m³); los límites del sistema se establecieron desde el mantenimiento del guadual hasta la puerta de salida de la finca Yarima.

Resultados y discusión

Emisión de CO₂ por actividad

Para la estimación del CO₂ emitido durante cada uno de los procesos evaluados se tuvieron en cuenta las actividades detalladas en la Figura 1. Las actividades de mayor impacto fueron aquellas que generan residuos de cosecha (residuos vegetales). Daza et al. (2013) encontraron en diversos guaduales del Eje Cafetero una cantidad promedio de residuos de 11.095 toneladas -9,28 toneladas en la finca Yarima-. Para averiguar la cantidad de biomasa neta (aérea y subterránea) en los rodales de guadua de Yarima, se usó el valor de biomasa presente determinado por Camargo (2014) y se le restó la cantidad de residuos estimados por Daza et al. (2013). Esta operación arrojó un valor de 23,51 ton/ha de biomasa neta. Con este resultado se procedió a determinar el contenido de carbono.

Según Arango (2011), en su trabajo sobre las posibilidades de la guadua para la mitigación del cam-



Foto: Grupo GATA

El aprovechamiento de la guadua permite mitigar las emisiones derivadas de su aprovechamiento si se le da un manejo adecuado

bio climático en el Eje Cafetero, un rodal natural de guadua con una densidad de 4050 culmos por hectárea contiene, en promedio, 126 t CO₂/ha en la biomasa neta aérea y subterránea. El número de culmos vivos por hectárea en Yarima es de 4400 (Camargo 2014); entonces, si se asume que tanto los rodales evaluados por Arango (2011) como los de Yarima poseen condiciones similares en cuanto a composición, manejo y estados de madurez, el carbono contenido en los rodales de Yarima sería de 177,08 t CO₂/ha.

En cuanto al uso de combustibles fósiles, se identificaron dos fuentes principales de emisiones: la operación del tractor que se emplea

para el transporte de los culmos hasta la planta de tratamiento, y la guadaña sierra que se utiliza para las labores de precosecha y cosecha. Según la información suministrada por los entrevistados, el tractor recorre una distancia media de 5,2 km para transportar un cargamento de 100 guaduas de 6 m con un diámetro aproximado de 11,1 cm; el volumen promedio neto se calculó en 0,023 m³ por culmo (Camargo 2014). El tractor funciona con gasolina corriente; de acuerdo con la UPME (2003), la gasolina genérica tiene un factor de emisión de 8,92 kg CO₂/galón; en consecuencia, para el transporte de 100 guaduas (2,3 m³ de guadua) se emiten 14,09 kg CO₂

eq –o sea que por cada metro cúbico de guadua transportada se emiten 6,13 kg de CO₂ eq.

En el caso de la guadaña sierra, un tanque de gasolina lleno rinde unos 400 cortes (aproximadamente 9,2 m³ de culmos aprovechables), que generan 8,92 kg CO₂ por cada metro cúbico de guadua que se corte.

El segundo combustible que provoca emisiones es la quema de madera en el proceso de preservación. Para la preservación de los culmos por lo general se usa ácido bórico y bórax, los cuales se disuelven mejor a temperaturas elevadas (Guzmán y Urbano 2014); es entonces necesario calentar el agua (lluvia cosechada) y adicionar las sales de boro paulatinamente hasta que se disuelvan. Este procedimiento requiere unos 150 kg de leña (madera que fue utilizada para embalaje y transporte de productos

agrícolas). Para el IPCC (2006), el factor de emisión de la combustión de leña es de 950 g/kg CO₂ (Cuadro 1); se debe aclarar, sin embargo, que este valor es aproximado ya que puede variar con el tipo de madera. El tanque de preservación de Yarima tiene capacidad para 130 culmos; entonces, la preservación de esta cantidad de culmos emitirá unos 142 kg CO₂, o sea que por cada metro cúbico de guadua preservada se liberan 47,6 kg de CO₂ a la atmósfera.

El consumo de energía hidroeléctrica se estimó a partir de la ficha técnica de la hidrolavadora y el número de culmos por lavada. Las emisiones aumentan con la potencia de la herramienta empleada; en este caso, se usó una hidrolavadora marca Karcher de 3,2 kW por hora, el factor de emisión establecido por el IPCC (2006) es de 0,102 kW/hora

y en promedio se utiliza durante ocho horas diarias en la temporada de producción. Entonces, el lavado de un metro cúbico de guadua libera 0,006 kg CO₂ eq. Todos los factores y procesos se resumen en el Cuadro 1.

Determinación de la huella de carbono

De acuerdo con Andrade et al. (2014), la huella de carbono en los sistemas forestales es positiva; para el estudio de caso aquí presentado, la huella de carbono se obtuvo de la suma de los valores encontrados y dividido por la producción en culmos de guadua rolliza. El valor obtenido fue de 123.947 toneladas CO₂ por hectárea; si se multiplica este valor por el potencial de calentamiento global del CO₂ (1, según IPCC 2006) se obtienen 123.947 tCO₂ equivalente. Según el plan de manejo de la finca Yarima, los rodales de guadua tienen una densidad de 4400 culmos por hectárea; esto significa que un metro cúbico de guadua preservada puesta en la puerta de la finca habría emitido +1,22 kg de CO₂ eq. En el Cuadro 2 se detallan los valores de la huella de carbono por fuente de emisión.

Van Der Lugt et al. (2012) determinaron que la mayor cantidad de emisiones en la producción de tableros laminados de bambú se originaba en la etapa de producción y alcanzaba valores de 58,93 kg CO₂/eq, teniendo en cuenta todas las etapas de producción. Si bien la generación del producto final generaría emisiones, estas se compensarían con el carbono almacenado en los compartimientos del bambú. Así, en 1 kg de producto terminado se tendría entre 0,5 y 0,55 kg de carbono almacenado. Para el caso de la guadua rolliza, el proceso que se lleva a cabo no está clasificado como industrial sino como pre-industrial pues el material puede trabajarse completo o pasar a un proceso industrial. No obstante, la huella de carbono sigue siendo positiva.

Cuadro 1. Procesos y factores de emisión de CO₂ evaluados en la producción de guadua para la venta en el Eje Cafetero de Colombia

	Proceso	Causa de la emisión	Factor de emisión*
Precosecha	Mantenimiento de guaduales	Generación de residuos de cosecha	-o-
	Aprovechamiento	Consumo gasolina (guadaña sierra)	8,92 kg/galón
Poscosecha	Transporte	Consumo de gasolina (tractor)	8,92 kg/galón
	Lavado	Consumo de energía (hidrolavadora)	0,102 kW/hora
	Preservación	Consumo de combustible (leña)	950 g/kg

* Factores de emisión definidos por IPCC (2006)

Cuadro 2. Huella de carbono de la producción de guadua para la venta en el Eje Cafetero de Colombia

Fuente de emisión	T CO ₂ /ha*		
Carbono almacenado en la biomasa	- 177,08		
Consumo de combustible	+ 53,072		
Uso de electricidad	+ 0,060		
Balance de huella de carbono	- 123.947 CO ₂ /ha	- 123.947 CO ₂ eq/ha	- 1,22 kg CO ₂ eq/m ³ de guadua rolliza

* El signo negativo indica que no se generan emisiones y que el valor representa el carbono adicional en la producción.

En Colombia, Hernández (2014) realizó un estudio similar con tableros laminados de guadua de la cuna a la puerta. Mediante la herramienta SimaPro con licencia Faculty, se determinó que el consumo de combustible en todos los procesos productivos es el mayor generador de emisiones. El indicador CML 2000, que permite definir las categorías de mayor impacto en el proceso productivo, determinó que los equipos y maquinarias para realizar los cortes en la empresa transformadora generan el mayor impacto a los ecosistemas por agotamiento de la capa de ozono y eco-toxicidad terrestre (Hernández 2014).

Conclusiones

- La empresa Yarima Guadua tiene un indicador ambiental positivo, en comparación con otras empresas de su tipo, puesto que sus procesos productivos generan menores impactos que los cultivos comerciales o plantaciones forestales.
- La huella de carbono representa una medida estándar que indica la eficiencia de los procesos llevados a cabo

por la empresa y, además, representa un ecoindicador de sostenibilidad ambiental a largo plazo.

- Si bien los procesos productivos de las empresas forestales que trabajan con guadua no muestran emisiones muy altas, siempre es necesario hacer una adecuada gestión de la huella de carbono como meta de la política ambiental de la empresa.
- Por ser un recurso sostenible, la guadua puede mitigar en poco tiempo las emisiones derivadas de su aprovechamiento si se le da un manejo adecuado. 🌱

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Proyecto “Innovación tecnológica para la optimización de procesos y estandarización de productos en empresas rurales con base en la guadua” (Código 1110-502-27241 Contrato N° 709-2011). Agradecemos también a la Universidad Tecnológica de Pereira por el financiamiento de la presente investigación y a la propietaria de Yarima Guadua, Sra. Lucia Mejía. Mil Gracias.

Bibliografía

- AEC (Asociación Española para la Calidad). 2006. La huella de carbono. Centro Nacional de Información de la Calidad. Consultado el 19 feb. 2013. http://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=bf01ec8e-7513-46e1-8d1a-46a4c6f7784b&groupId=10128
- Andrade, H.; Segura, M.; Canal, D.S.; Feria, M.; Alvarado, J.; Marín, L.; Pachón, D.; Gómez, M. 2014. The carbon footprint of coffee production chains in Tolima, Colombia. In: Oelbermann, M. (Ed). Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation. Wageningen Academic Publisher. p. 53-65. Consultado el 21 ago. 2014. <http://www.wageningenacademic.com/agroecosystems>
- Arango, A.M. 2011. Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático; caso Eje Cafetero Colombiano. Trabajo de Pregrado. Pereira, Colombia, UTP/Facultad de Ciencias Ambientales. 113 p.
- Argandoña, A. 2003. Sobre los sistemas de gestión ética, social y medioambiental en las empresas. Navarra, España, IESE Business School, Universidad de Navarra. Papeles de Ética, Economía y Dirección n° 8. Consultado el 19 feb. 2013. http://www.eben-spain.org/docs/Papeles/XI/3_Argandona.pdf
- Camargo García, J.C. 2014. Proyecto de investigación “Innovación tecnológica para la optimización de procesos y la estandarización de productos en empresas rurales con base en la guadua”; Informe Final. Pereira, Colombia, Colciencias.
- Carballo, A.; García, M.; Dómenech, J.L.; Villasante, C.; Rodríguez, G.; González, M. 2008. La huella ecológica corporativa: concepto y aplicación a dos empresas pesqueras de Galicia. Resumen. Revista Galeana de Economía 17(2): 18 p. Consultado el 20 feb. 2013. Disponible en http://www.usc.es/econo/RGE/Vol17_2/castelan/resu7c.htm
- Daza, C.; Zwart, R.; Camargo García, J.C.; Chavez-Díaz, R.; Londoño, X.; Fryda, L.; Janssen, A.; Pels, J.; Kalivodova, J.; Amezcua Berjan, 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.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2014. Software FAOSTAT. Roma, Italia. Dirección Estadística. Consultado el 4 oct. 2014. <http://faostat3.fao.org/home/S>
- Guerra, A. 2007. Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Guzmán, L.J.; Urbano, R. 2014. Evaluación de una técnica potenciométrica para evaluar la concentración de una solución preservante de bambú. Tesis de Pregrado. Pereira, Colombia, UTP– Escuela de Tecnología Química. 94 p.
- Hernández Londoño, A. 2014. Análisis de ciclo de vida (ACV) aplicado a la producción de tableros de esterilla de guadua en el Eje Cafetero. Tesis de Maestría en Ecotecnología. Pereira, Colombia, UTP. 188 p.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2001. Evaluación de impactos, adaptación y vulnerabilidad; contribución del Grupo de trabajo II al Tercer Informe de Evaluación. <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2006. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volúmenes 1 al 5. Consultado el 25 set. 2014. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- Mejía Marulanda, L. 2010. Pasado y futuro de los bosques de guadua en el Eje Cafetero Colombiano: el caso de Yarima Guadua. Revista Recursos Naturales y Ambiente N° 61:6-10.
- Moreno, R. 2005. La huella ecológica; rehabilitación urbana de la ciudad. Madrid, España. Consultado el 20 feb. 2012. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n32/>.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). 2003. Factores de emisión de los combustibles colombianos. Consultado el 23 nov. 2014. http://www.siame.gov.co/siame/documentos/documentacion/mdl/HTML/18_FECOC.htm.
- Van der Lugt, P.; Vogtlander, J.G.; van der Vegte, J.H.; Brezet, J.C. 2012. Life cycle assessment and carbon sequestration; the environmental impact of industrial bamboo products. World Bamboo Congress Proceedings [9, 10-15 April, University of Antwerp, Belgium].

Consideraciones sobre inventario y medición del bambú en bosques y plantaciones, con especial referencia a *Guadua angustifolia* en el Eje Cafetero de Colombia

Juan Carlos Camargo García¹, Ángela María Arango A.²

Resumen

A partir de información bibliográfica y de datos recolectados en inventarios y experimentos con bambú, principalmente de guadua (*Guadua angustifolia*), hemos tratado de establecer consideraciones básicas para la generación de información adecuada para el manejo y cuantificación de variables asociadas con las características del bambú, tanto en plantaciones como en bosques naturales. Se analiza la posibilidad de realizar inventarios y se establecen los aspectos más relevantes del crecimiento, la dinámica y la calidad de los productos obtenidos de bosques y plantaciones de guadua. De esta manera se generan insumos que pueden ser utilizados para la toma de decisiones de manejo de esta y otras especies de bambú.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; crecimiento; calidad; productos forestales; inventarios forestales; ordenación forestal; bosques; plantaciones forestales.

Abstract

Considerations about bamboo inventory and mensuration in natural forest and plantations, with special reference to *Guadua angustifolia* from the Colombian coffee region. Using published papers and data collected in inventories and experiments with bamboo, mainly guadua (*Guadua angustifolia*), we have tried to establish basic considerations for the generation of adequate information for the management and quantification of variables associated with the characteristics of bamboo. Inventory execution in both plantations and natural forests is discussed, as well as the most relevant aspects of growth, dynamics and quality of products from forests and bamboo plantations. These inputs can be used for decision making and management of guadua and other bamboo species.

Keywords: *Guadua angustifolia*; growth; quality; forest products; forest inventories; forest management; forests; forests plantation.

¹ Profesor Titular. Director Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. Universidad Tecnológica de Pereira. jupipe@utp.edu.co

² Estudiante de Maestría en Ecotecnología. Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. amarango@utp.edu.co

Introducción

A pesar de los esfuerzos que se realizan alrededor del mundo para reducir la deforestación, la extensión de áreas boscosas disminuye cada año. Esto tiene implicaciones tanto ecológicas como económicas, al reducirse la oferta natural de madera para diferentes fines (FAO 2006). En este contexto, cobran valor las posibilidades de utilización del bambú como sustituto de la madera. En el mundo se han registrado cerca de 1450 especies de bambú, que se distribuyen desde el trópico hasta las zonas templadas. De estas, alrededor de 50 han sido cultivadas (Hunter 2003). Aunque la comercialización de productos de bambú crece lentamente, su potencial para contribuir al alivio de la pobreza, proveer alternativas económicas y beneficios ambientales es muy importante (FAO 2005).

Según Lobovikov et al. (2007), en el mundo hay cerca de 36.777.000 ha cubiertas por bambú: 64% en Asia, 28% en Latinoamérica y 7,5% en África. Estas cifras, sin embargo, provienen de reportes de los países y no se sustentan en inventarios. Para Colombia, Kleinn y Morales (2006), mediante un inventario de la zona cafetera de Colombia (norte del Valle, Caldas, Quindío y Risaralda), determinaron un total de 28.000 ha de bosques dominados por la especie *Guadua angustifolia* (guadua). Fuentes del gobierno colombiano y, específicamente, de las Corporaciones Autónomas Regionales han registrado un gran total de 51.000 ha para todo el país; de nuevo, estos datos se basan en reportes y no en inventarios. Vale destacar que, aunque en el país existen aproximadamente 95 especies de bambúes (Londoño 1990), la información sobre cobertura es para guadua solamente debido a su valor comercial. Son evidentes, entonces, los vacíos de información acerca de este importante recurso.

Por otra parte, para garantizar el buen manejo del recurso es necesario conocer las características específicas de cada especie de bambú. Judziewicz et al. (1999) definieron los patrones generales de crecimiento (monopodial, simpodial) de las especies de bambú y esbozaron detalles que se deberían tomar en cuenta al recolectar información sobre ellas. En este sentido, las variables que se miden en un inventario forestal pueden ser empleadas, con los ajustes necesarios, para generar información sobre el bambú (Camargo 2006) y, de esta manera, consolidar las bases de datos para la toma de decisiones de manejo.

De acuerdo con Camargo et al. (2010), las decisiones sobre el manejo silvicultural dependen no solo de la especie, sino también del entorno en el que crece (plantación o bosque natural con bambú). En consecuencia, habrá diferencias tanto en las variables que se evalúen como en las prácticas que se apliquen (Camargo y Arango 2014). Lo mismo sucede cuando se realizan evaluaciones para generar información acerca de los beneficios ambientales del bambú; por ejemplo, para determinar el potencial de fijación de carbono, las variables y los modelos utilizados deben ser ajustados para bosques maduros o plantaciones.

En este trabajo hemos utilizado información recolectada en inventarios y experimentos con bambú, principalmente de guadua, con el propósito de establecer algunas consideraciones relevantes que conduzcan a la generación de información adecuada para fines de manejo y cuantificación de variables asociadas a las características del bambú. Para analizar los aspectos relacionados con los inventarios se tomó como referencia principal el trabajo de Klein y Morales (2006) en el Eje Cafetero; del estudio de Camargo y Cardona (2005) en esa

misma región, se tomó información sobre los tipos de fragmentos de bosque encontrados, y de Camargo (2006), las características específicas de la guadua y aspectos relacionados con el manejo.

Asimismo, para puntualizar en aspectos relacionados con el crecimiento del bambú en plantaciones, se tomó información de experimentos realizados en la zona cafetera, los cuales han sido monitoreados durante diez años. Un inventario realizado en la finca Yarima, localizada en el municipio de Pereira, Colombia, permitió recolectar información sobre la estructura de los guaduales. Mediante simulaciones para dos escenarios de cosecha (intensidad de corta anual del 12% y 25% del total de tallos comerciales) se establecieron los posibles cambios en la estructura para un periodo de 20 años; para la simulación se utilizó el paquete informático *Silvcamark 1.1* (Morales 2005).

Los inventarios de bambú

La mayor cantidad de información publicada sobre existencias de bambú a nivel mundial no proviene de inventarios y se centra en aquellas especies de mayor importancia comercial para el país. Por esta razón, no existe certeza en cuanto a la extensión real de la cobertura de bambú en el mundo. En el Cuadro 1 se detallan las existencias mundiales de bambú, según la evaluación de recursos realizada para la FAO por Lobovikov et al. (2007).

Asia es el continente con mayor cobertura de bambú, aunque la representatividad respecto a la cobertura de bosques no llega el 5%, razón por la cual en algunos escenarios donde se buscan beneficios o estímulos para los bosques, el bambú termina siendo desconocido. Por otra parte, el patrón de crecimiento de las especies de bambú y la cobertura altamente fragmentada, en la mayoría de los casos, constituyen obstáculos difíciles de salvar

Cuadro 1. Existencias de bambú a nivel mundial y su proporción respecto a la cobertura forestal

Continente	Área (1000 ha)			%	Área de bosque (1000 ha)	Proporción de bambú respecto al bosque (%)
	1990	2000	2005			
Asia	21.230	22.499	23.620	64	533.076	4,4
África	2.758	2.758	2.758	7,5	66.495	4,1
Latinoamérica	-	10.399	10.399	28	543.414	1,9
Total	23.988	35.656	36.777	100	1.142.985	3,2

Fuente: Adaptado de Lobovikov et al. (2007).

para la ejecución de inventarios y para el uso de sensores remotos. Adicionalmente, factores como la alta nubosidad que impera en algunas regiones tropicales pueden realmente generar limitaciones para realizar el monitoreo. El hecho de ser bosques fragmentados, implica parches de tamaños pequeños y en

ocasiones dispersos, y si la resolución de imágenes de sensores remotos de bajo costo no está acorde con el tamaño de los fragmentos, la identificación de coberturas con bambú se hace compleja e imprecisa. Las imágenes Landsat con 30 m de resolución, por ejemplo, son de uso muy limitado con fragmentos no mayo-

Cuadro 2. Unidades de mapeo según dominancia de *Guadua angustifolia* en diferentes fragmentos de bosque de la zona cafetera de Colombia

Consociación guadua - bosque
Parches o fragmentos de bosque dominados por *G. angustifolia* en más del 75% de la cobertura.



Consociación bosque - guadua
Parches o fragmentos de bosque dominados por especies del bosque natural, diferentes de *G. angustifolia*, en más de un 75%.



Asociación guadua - bosque
Parches o fragmentos de bosque que no muestran dominancia de *G. angustifolia* ni de especies del bosque natural.



Fuente: Adaptado de Camargo y Cardona (2005).

res de una hectárea y, entonces, es necesario acudir a técnicas de mejoramiento de la resolución espacial, como la fusión de imágenes (Lillo-Saavedra y Gonzalo 2008). Aunque este proceso es una alternativa adecuada, hace más complejo el proceso de identificación de coberturas.

Por medio de imágenes Quick Bird (52 cm de resolución y alto costo), Camargo y Cardona (2005) encontraron, en la zona cafetera de Colombia, que cerca del 75% de los fragmentos eran menores de 5 ha y de forma alargada, con un ancho promedio no mayor de 20 m, en algunos casos. Este ejercicio no habría sido posible si se hubieran usado imágenes con menor resolución. En este caso, además del alto grado de fragmentación, hay otra particularidad que dificulta el inventariado: la forma en que la guadua se asocia con otras coberturas hace casi imposible separar fragmentos puros de cobertura de bambú. Aun si se usaran índices de vegetación sería complejo y poco práctico, en términos cartográficos, hacer una separación entre las coberturas presentes en un mismo fragmento.

En el Cuadro 2 se ofrecen algunos ejemplos de diferentes unidades de mapeo a partir de la clasificación de los fragmentos según la dominancia del bambú con respecto al bosque. Con especies de bambú cuyo patrón de crecimiento es en macollas o matas, con rizomas cortos y paquimorfos (p.e. *Guadua amplexiolia*), es alta la posibilidad de que la especie aparezca dentro de otra cobertura donde difícilmente se puede diferenciar. Por tal razón, la conformación de unidades de mapeo que identifiquen no solo el bambú, sino la cobertura asociada es una opción válida.

El crecimiento de la industria de bambú exige un mejor conocimiento de las especies y mayor precisión en las estimaciones de cobertura y mediciones que se realicen. Las variables que se miden usualmente

durante un inventario son aquellas requeridas para describir las condiciones del bosque o plantación de guadua en términos de crecimiento, productividad y calidad. Las ciencias forestales proveen las herramientas necesarias para generar información adecuada por medio de la medición e inventarios (Akça 2000). Sin embargo, los métodos de medición e inventario empleados deben considerar las características particulares de las especies de bambú que se evalúen (Camargo 2006).

Por tal razón, para obtener datos precisos ha sido necesario generar información desde la base (Rijal 2006, Schumacher 2006) y hacer todos los ajustes requeridos, desde el diseño muestral hasta la cosecha, pasando por las variables que se deben medir. Asimismo, se requiere el desarrollo de modelos específicos que describan el crecimiento y la calidad de los productos provenientes de bosques y plantaciones de bambú (Camargo y Kleinn 2010, Camargo 2014) y que consideren las ventajas y limitaciones asociadas a su dinámica y crecimiento (Camargo et al. 2011).

Consideraciones sobre el manejo del bambú

El manejo de plantaciones de bambú difiere, en esencia, del que se da a la especie en bosque natural. El proceso se inicia con las prácticas de propagación y se debe invertir un tiempo considerable para que las plantas alcancen su estado adulto, con dimensiones similares a las alcanzadas en bosques adultos y, por lo tanto, con la misma posibilidad de usarlos comercialmente. Por lo anterior, las decisiones relacionadas con espaciamientos, podas y fertilización requieren la mayor atención.

De otro lado, la dinámica en una plantación es distinta, ya que todas las plantas que la conforman están creciendo y produciendo culmos simultáneamente. Al inicio, una plantación tiene un crecimiento



Foto: Jochen Statz

El manejo de plantaciones de bambú difiere del que se da a la especie en bosque natural

exponencial en la cantidad total de culmos (entre 5.000 y 20.000/ha). Luego de los primeros cuatro años tiende a estabilizarse y el número total empieza a ser similar al que realmente tendrá cuando llegue a su estado adulto (Figura 1). Esta

condición tiene relación también con las dimensiones de los culmos, que no solo debido a la edad de la planta son más pequeños, sino a la congestión que se presenta en un inicio (Camargo et al. 2010). Por eso, las decisiones sobre espacia-

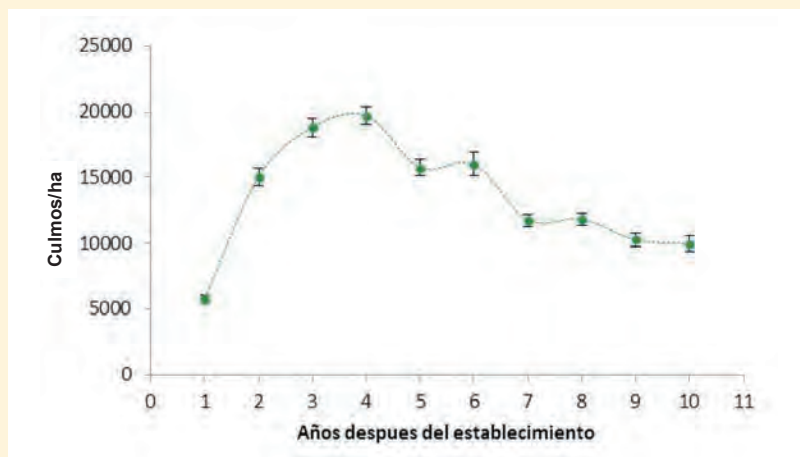


Figura 1. Promedio de culmos en una plantación de *Guadua angustifolia* durante los primeros diez años. Líneas arriba y debajo de la media representan la desviación estándar

miento, podas y fertilización deben considerar esta dinámica, con el propósito de retrasar la congestión que se presenta más pronto cuando el espaciamiento es menor. Ya sea por medio de mayores distancias de siembra o de podas, hay que garantizar un espacio apropiado para obtener productos de mayores dimensiones (Camargo 2006), que sean bien aceptadas por el mercado.

En bosques naturales de bambú, las condiciones son algo distintas. Las

plantas ya han alcanzado su madurez y, por lo tanto, su crecimiento máximo dadas las condiciones de sitio. El manejo, entonces, debe garantizar la posibilidad de obtener culmos comerciales (cerca de cinco años en guadua para aplicaciones estructurales), sin poner en riesgo la sostenibilidad del guadual. En ese sentido, la densidad total remanente de culmos vivos luego de la cosecha es uno de los criterios más importantes a considerar.

Un bosque natural de guadua con menos de 3000 culmos por hectárea se vuelve susceptible a volcamientos (Camargo et al. 2008). Asimismo, la productividad podría disminuir si los regímenes de cosecha hacen que la población total se reduzca por debajo del límite mencionado, lo que pondría en riesgo la sostenibilidad del manejo.

Los bosques de la finca Yarima analizados tienen una densidad promedio de 5211 culmos/ha. Los dos escenarios evaluados (intensidad de corta anual del 12% y 25% del total de tallos comerciales) muestran que, bajo un régimen de cosecha anual, una intensidad de cosecha del 12% es apropiada, pero si esta intensidad se duplica, después de los cuatro años la densidad del bosque pudiera reducirse por debajo del límite establecido (Figuras 2 y 3). El escenario 12% de intensidad representa un promedio anual de 220 culmos/ha, en el periodo analizado, y de 370 culmos/ha para el escenario 25%. Si hubiera una demanda que justifique la cosecha anual de un número determinado de culmos, habría que encontrar un punto medio en la intensidad y frecuencia de corta, de manera que la densidad total de culmos se mantenga a través del tiempo por encima del límite crítico (3000 culmos/ha).

Sumado a lo anterior, la definición de la madurez es, tal vez, la clave para obtener materia prima de calidad. Los culmos de mejor calidad para aplicaciones estructurales se obtienen, en promedio, luego de cuatro años de haber emergido (Rodríguez y Camargo 2010). Es necesario tomar las medidas necesarias para hacer una selección adecuada de culmos con madurez óptima, obviamente dependiendo del propósito o producto final.

La información del manejo y productividad, así como la de inventarios no es importante únicamente para valorar su aporte en términos de comercialización de productos,

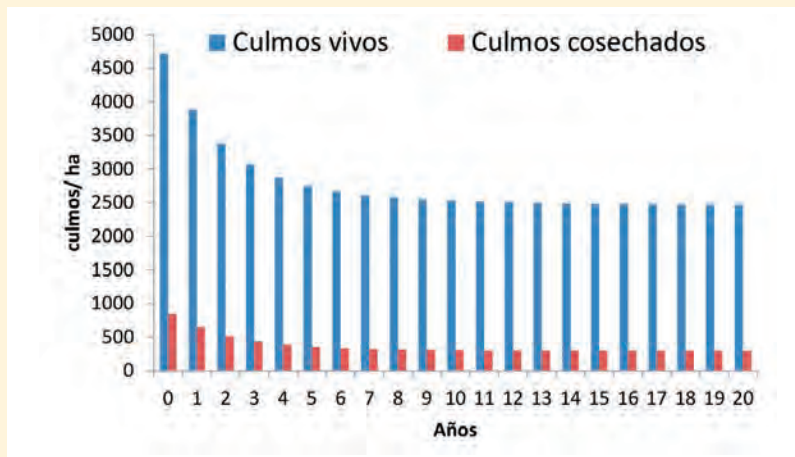


Figura 2. Culmos vivos y cosechados con un régimen de cosecha anual del 25% del total de culmos comerciales en Finca Yarima, Pereira, Colombia (densidad inicial: 5211 culmos/ha)

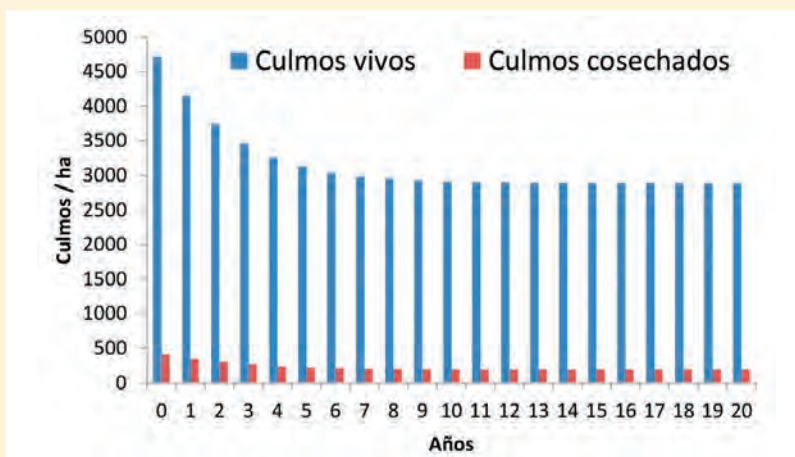


Figura 3. Culmos vivos y cosechados con un régimen de cosecha anual del 12% del total de culmos comerciales en Finca Yarima, Pereira, Colombia (densidad inicial: 5211 culmos/ha)

sino también para la cuantificación del potencial que tiene el bambú para la captura de carbono (Yiping et al. 2010). El hecho de realizar un inventario adecuado implica evitar la subestimación o sobrestimación del contenido de carbono. En este sentido, aspectos como la madurez de los culmos, las diferentes dimensiones, el patrón de crecimiento y el hecho de que los culmos tienen ciclos de vida relativamente cortos (alrededor de diez años en bosque maduros) son también fundamentales para generar estimaciones precisas (Camargo et al. 2010). En plantaciones de bambú, la dinámica descrita implica consideraciones distintas y valores del contenido de carbono que difieren considerablemente de los encontrados en bosques maduros.

Conclusiones

Para garantizar la disponibilidad de información adecuada para la toma de decisiones de manejo y para la cuantificación de variables y factores asociados a los bosques y plantaciones de bambú es necesario hacer inventarios que consideren sus características específicas y las limitaciones asociadas. El manejo del bambú en plantaciones difiere del manejo en bosques naturales. En plantaciones, los esfuerzos de manejo silvicultural se deben centrar en los cambios en la cantidad y dimensiones de los culmos, antes de alcanzar la madurez como plantación. En bosques adultos, el enfoque bajo régimen de cosecha implica mantener el equilibrio para garantizar una producción sostenida y evitar la degradación o el aumento de

la susceptibilidad a eventos externos. La madurez de los culmos cosechados se resalta como un factor relevante para garantizar la calidad de la materia prima obtenida de estos bosques.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias a los aportes del proyecto "Innovación tecnológica para la optimización de procesos y la 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.

Literatura citada

- Akça, A. 2000. Forest inventory. Institute of Forest Management and Yield Science. University of Göttingen, Germany, University of Göttingen. 191 p.
- Camargo, J.C. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the Coffee Region of Colombia. Ph.D. Thesis. Göttingen, Deutschland, Göttingen Universität. 205 p.
- Camargo, J.C. 2014. Defining growth and quality of guadua bamboo culms: a case study of guadua bamboo forests, Colombia. *Journal of Tropical Forest Science* 26(2): 218-224.
- Camargo, J.C.; Arango, A.M. 2014. Silvicultura e inventarios de plantaciones y bosques naturales de bambú. *In: Simposio internacional Guadua-Bambú: consolidando el sector con innovación y sostenibilidad* [2. Memorias. Bogotá, Col. 4 al 6 de agosto 2014]. Universidad Nacional de Colombia, Pontificia Universidad Javeriana y Corpoica. p. 161-167.
- Camargo, J.C.; Arango, A.M.; Rodríguez, J.A. 2010. Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* 61: 80-88.
- Camargo, J.C.; Cardona, G. 2005. Análisis de fragmentos de bosque y guaduales; enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. Pereira, Colombia, CIPAV-CATIE-BANCO MUNDIAL-GEF-LEAD. Informe de proyecto no publicado. 38 p.
- Camargo, J.C.; García, J.H.; Morales, T. 2008. Bases para la planificación y manejo silvicultural de bosques de guadua: una aplicación nivel de finca en la zona cafetera de Colombia. Pereira, Colombia, UTP. 86 p.
- Camargo, J.C.; Kleinn, C. 2010. Length curves and volume functions for Guadua bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) for the coffee region of Colombia. *European Journal of Forest Research* 129(6): 1231-1222.
- Camargo, J.C.; Rodríguez, J.A.; Niño, J.; Mosquera, O.M.; Ríos, A.M.; Cortes, Y.J.; Quintero, H.; Henao, E.; Monroy, M.; Arango, A.M.; Suarez, J.D. 2011. Desarrollo tecnológico para optimizar la calidad de los productos obtenidos de bosques de guadua: definiendo la madurez de los culmos y mejorando los procesos de organización. Pereira, Risaralda, Publprint. 137 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. World Bamboo Resources – a thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. Rome, Italy.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/009/a0470s/a0470s00.htm#TopOfPage>
- Hunter, I.R. 2003. Bamboo resources, uses and trade: the future? *Journal of Bamboo and Rattan* 2(4): 319.
- Judziwicz, E.J.; Clark, L.G.; Londoño, X.; Stern, M. 1999. American bamboos. Washington, D.C. Smithsonian Institute. 392 p.
- 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.
- Lillo-Saavedra, M.; Gonzalo, C. 2008. Aplicación de la metodología de fusión de imágenes multidirección-multiresolución (MDMR) a la estimación de la turbidez en lagos. *Información Tecnológica* 19(5): 137-146.
- 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 Assessment 2005. Rpa, Italia, FAO. 73 p. (Non-wood forest products 18).
- Londoño, X. 1990. Aspectos sobre la distribución y ecología de los bambúes de Colombia (Poaceae: Bambusoideae). *Caldasia* 16(77): 139-153.
- Morales, T. 2005. Modelo SILVCAMARK 1.1. M.Sc. Thesis. Göttingen, Germany, University of Göttingen. 79 p.
- Rijal, B. 2006. Methodological assessment of sample based bamboo management inventory in Colombia. M.Sc. Thesis. Göttingen, Germany, University of Göttingen. 79 p.
- Rodríguez, J.A.; Camargo, J.C. 2010. Determinación en campo de la madurez de los culmos de *Guadua angustifolia* en el Eje Cafetero de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* 61: 95-103.
- Schumacher, N. 2006. Spatial distribution of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia. Thesis M. Sc. Göttingen, Germany, University of Göttingen. 93 p.
- Yiping, L.; Yanxia, L.; Buckingham, K.; Henley, G.; Guomo, Z. 2010. Bamboo and climate change mitigation. Red Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR). Technical Report No. 32.

Análisis del ciclo de vida aplicado a la fase de extracción de guadua, en el Eje Cafetero colombiano

Andrea Hernández Londoño¹, Jorge Augusto Montoya Arango², Juan Carlos Camargo García³

Resumen

Se utilizó la metodología de análisis del ciclo de vida como herramienta para identificar, calificar y categorizar los impactos ambientales causados por la extracción de materia prima de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). Mediante un inventario del ciclo de vida del material proveniente de un guadua natural manejado se demostró cuantitativamente el impacto ambiental de las actividades de pre cosecha y cosecha de culmos de guadua. Los datos del inventario se obtuvieron en guaduales de la empresa Yarima Guadua E.U, municipio de Pereira (Colombia); además, se evaluaron fuentes de información primarias y secundarias y bases genéricas de datos de inventarios de ciclos de vida. El análisis de la información se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica de Pereira, mediante la versión *Faculty* del paquete estadístico SimaPro 7.3.3. Los resultados obtenidos muestran que los impactos más relevantes se relacionan con el consumo de combustible utilizado por el equipo de aserrío y transporte en los procesos de pre cosecha y cosecha en el guadua. El proceso de cosecha de guadua húmeda y puesta en planta arrojó valores altos en la categoría de impacto 'toxicidad humana' a causa del consumo de gasolina (44% del total de impactos). La máquina utilizada para realizar los cortes afectó principalmente a la categoría de impacto 'deterioro de la capa de ozono' (99%), debido a las emisiones de halon 1301, halon 1211 y CFC-10.

Palabras claves: *Guadua angustifolia*; ciclo vital; cosecha; operaciones forestales; combustibles; consumo; impacto ambiental; Colombia.

Abstract

Life cycle assessment during the extraction phase of guadua culms in the Colombian coffee region. The life cycle assessment methodology was used as a tool to identify, qualify and categorize the environmental impacts caused by the extraction of guadua culms (*Guadua angustifolia* Kunth). A life cycle inventory of raw material from a managed natural guadua forest permitted to quantify the environmental impact of pre-harvest and harvest activities. Inventory data were obtained from Yarima Guadua E.U. company (Pereira, Colombia); moreover, primary and secondary information sources were assessed, as well as life cycle inventory generic databases. Data analysis was made at the Technological University of Pereira, using the Faculty version of SimaPro 7.3.3. The results showed that the strongest impacts are related to gasoline combusted by both sawing equipment and transportation in pre-harvest and harvest processes. Harvesting and transporting to plant showed high values in the category 'human toxicity' due to consumption of gasoline (44% of total impact). The sawing equipment mainly affected the category 'ozone layer depletion' (99%) because of emissions of halon 1301, halon 1211, and CFC-10.

Keywords: *Guadua angustifolia*; life cycle; harvest; Forest operations; fuels; consumption; environmental impacts; Colombia.

¹ Grupo de Investigación Producción más Limpia, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. andreafernandez@utp.edu.co
² Grupo de Investigación Producción más Limpia, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. jorgemontoya@utp.edu.co
³ Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. jupipe@utp.edu.co

Introducción

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta metodológica que sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida). Se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales, con el objetivo de definir estrategias que ayuden a reducir tales impactos (IHOBE 2009). La medición de los impactos ambientales de un producto por medio de la metodología ACV es una manera de valorar la sostenibilidad ambiental de dicho producto, de manera que el consumidor cuente con elementos de juicio para valorarlo con respecto a otros de forma más objetiva.

La guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) es una especie de rápido crecimiento, con características físico-mecánicas y resistencia comparables con el acero y el concreto. Esta especie es cada vez más empleada como material de construcción; sin embargo, a diferencia de los materiales de construcción más utilizados en el mundo occidental (Lugt et al. 2003), pocas veces se ha medido su sostenibilidad en términos cuantitativos en todas las etapas de su ciclo de vida. Uno de los estudios más significativos hechos con guadua comparó, por medio del ACV, los impactos ambientales de materiales de bambú con materiales usados comúnmente en construcción en Europa occidental (Lugt et al. 2009). El estudio identificó y cuantificó los impactos ambientales potenciales ocasionados en la primera etapa del ciclo de vida del producto -la extracción de la materia prima- en un guadual natural manejado, certificado por FSC (Forest Stewardship Council); dicho esquema de certificación se basa en criterios de tipo legal, normativo, social,

ambiental y económico aplicados a la valoración del manejo de los bosques naturales. Una vez reconocidos los impactos, los datos se analizaron con el paquete informático SimaPro 7.3.3, para asociarlos a las categorías de impacto, que se describen en el método CML 2000 (línea de base).

El material evaluado corresponde a culmos de guadua recolectados en guaduales de la empresa colombiana Yarima Guadua E.U. La finca se ubica en la vereda Los Planes, sector El Tigre, en la vía Pereira – Cerritos, entre las coordenadas 75°45'50" W, 75°46'40" y 4°47'30"N, 4°8'20" N. La empresa cuenta con un área de guaduales de 26 hectáreas (Figura 1). La evaluación se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica de Pereira, por medio de la versión *Faculty* del SimaPro 7.3.3. Este paquete informático permite hacer adecuaciones a las bases de datos existentes para modelar procesos específicos y se ajusta a los requisitos exigidos por la NTC ISO 14.044:2007 (Icontec 2007 a y b).

Análisis del ciclo de vida

Para la aplicación de la metodología ACV se tomaron como base los

requisitos y principios definidos por la norma NTC ISO 14.044:2007, la cual describe cuatro fases de estudio (Figura 2).

Objetivo y alcance

El **objetivo** de este estudio fue aplicar el análisis del ciclo de vida durante la fase de extracción de culmos de guadua como materia prima para la producción de tableros de esterilla; el **alcance** fue desde la cuna (labores de precosecha y cosecha) a la puerta (preparación de la materia prima para ser enviada a la fase de producción).

En esta fase, la selección de la **unidad funcional** (UF) es muy importante pues todos los impactos se asignan y califican a partir de dicha unidad. Como unidad funcional para esta etapa del ACV se definió “*el culmo de guadua húmeda de 3 m de longitud, obtenido de la corta de una guadua en el bosque*”. Actualmente, la Hacienda Yarima cuantifica casi todos sus procesos y comercializa sus productos en metros lineales de guadua húmeda; por esto se decidió definir la UF en estos términos.

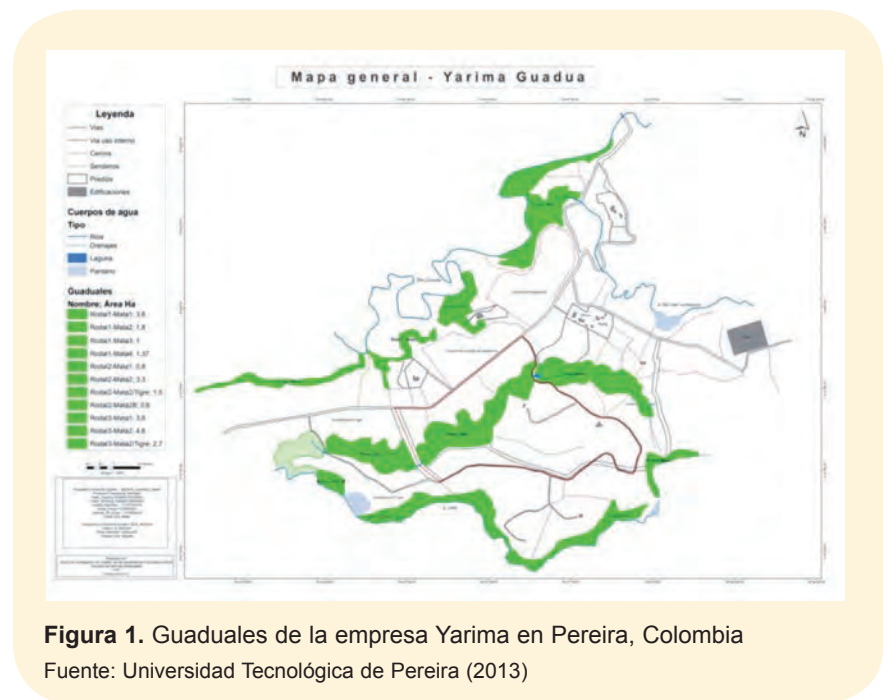


Figura 1. Guaduales de la empresa Yarima en Pereira, Colombia
Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira (2013)

Estructura ACV

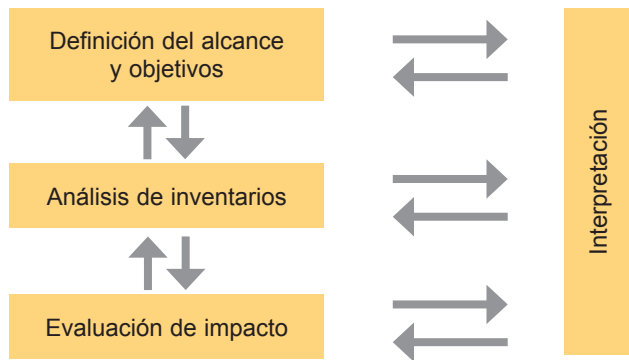


Figura 2. Etapas de un análisis del ciclo de vida
Fuente: Icontec (2007 a y b)

Los **límites del sistema** se definieron a partir de datos de entrada y salida de cada proceso unitario que forma parte de las labores de precosecha y cosecha. Hay que tener en cuenta que varias de las actividades que se realizan en el guadual son manuales y no demandan insumos diferentes de las herramientas básicas de trabajo, como guantes y

machetes, entre otras de uso común (Figura 3).

Análisis del inventario del ciclo de vida

Para esta fase, se trabajó con datos de primer plano y de fondo. Los **datos de primer plano** se relacionan específicamente con el sistema del producto; se trata de datos reales

y verificados, recolectados directamente en campo mediante observaciones, entrevistas con expertos, trabajadores y personal de las unidades productivas estudiadas, así como medición de variables y/o de publicaciones relevantes.

Los **datos de fondo** no se relacionan específicamente con el sistema del producto sino que se derivan de bases de datos genéricas de inventarios de ciclos de vida (ICV). Estos datos pueden ser, por ejemplo, de consumo energético o de transporte, que no son específicos para el producto. La mayoría de datos se tomaron de la base de datos *Ecoinvent v2⁴*, la cual integra las bases de datos ETH-ESU 96 y BUWAL250, entre otras. El paquete informático SimaPro integra, además, otras bases de datos dentro de su biblioteca⁵, que también se usaron como insumos de datos. Cuando fue posible se realizaron cálculos para sumar entradas y salidas dentro de un mismo proceso unitario; asimismo, los flujos de todos los procesos unitarios se relacionaron con la unidad funcional final.

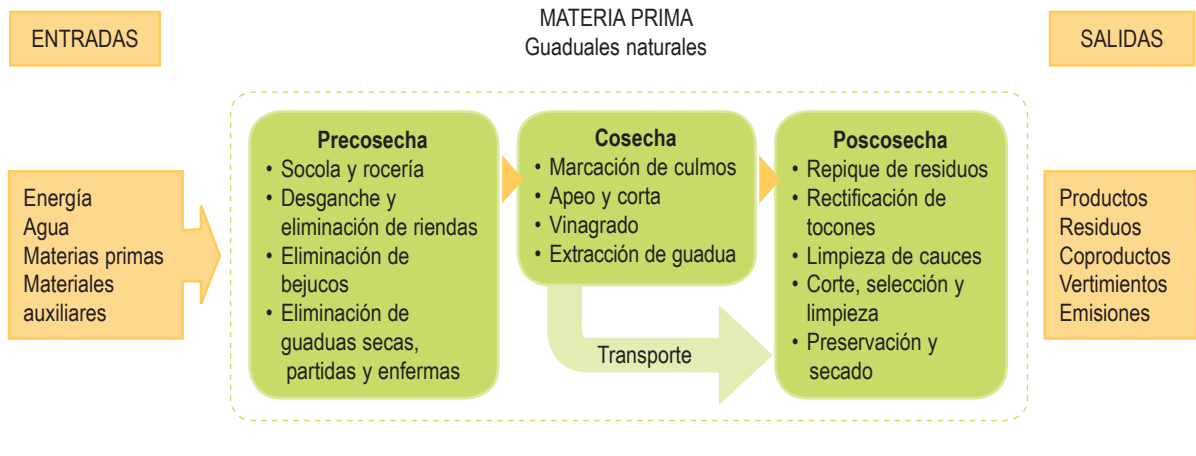


Figura 3. Límites del sistema con procesos unitarios

4 Esta es la base de datos internacional de ICV más completa y transparente; todos los datos de inventario son establecidos con altos estándares de calidad.
5 European Life Cycle Database (ELCD), EU & DK, LCA Food DK, Industry data 2.0, Swiss Input Output, USA Input Output y U.S. LCI

Buena parte de las labores de cosecha y precosecha son manuales, con herramientas básicas, por lo cual los impactos ambientales se consideran de mínimo efecto; entre esas labores están la socola, rocería, eliminación de bejucos, apeo, avinagrado, extracción de culmos y limpieza de cauces. Por otra parte, en las labores de desganche, eliminación de riendas y de guaduas secas, partidas y enfermas, la corta, repique de residuos y rectificación de tocones se necesita una motosierra y un disco pulidor, los cuales se acoplan con una guadaña. Estos equipos requieren insumos como combustible y aceite y, por ende, generan algunos impactos ambientales como consumo de combustible, ruido y emisión de gases de combustión.

Las labores de precosecha, cosecha y poscosecha no se realizan de manera independiente, sino en forma simultánea y dependen, a veces, de las condiciones del bosque y del terreno. La recolección de datos del inventario se agrupó en los procesos descritos en el Cuadro 1.

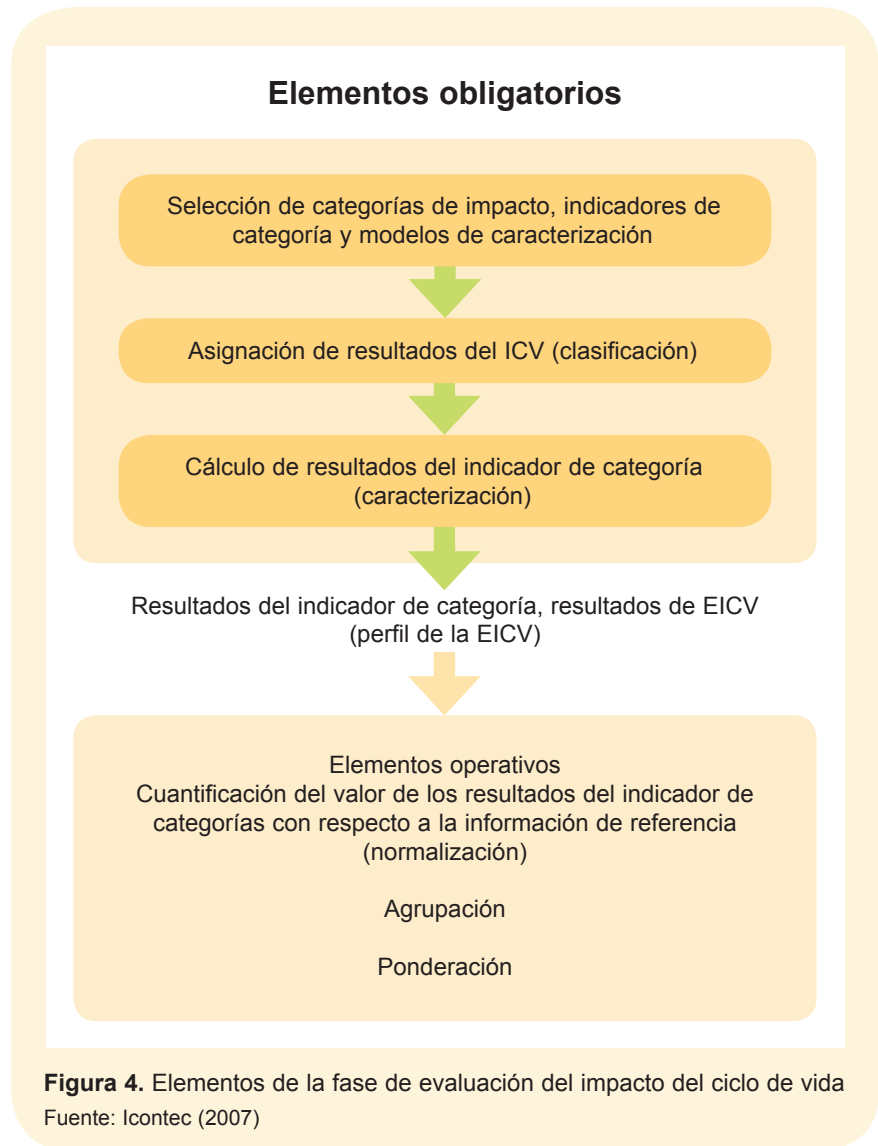
Evaluación del impacto del ciclo de vida

Según Icontec (2007 a y b), existen tres pasos obligatorios y tres opcionales para evaluar la magnitud de los impactos ambientales potenciales a partir de los resultados del ICV (Figura 4). En este estudio, para la evaluación de los impactos se siguieron los pasos de clasificación y caracterización.

Los datos del ICV y los cálculos de la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) se analizaron con el método CML 2000 V 2,05 (línea de base), desarrollado por un grupo de científicos del Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden, Holanda. Este método propone un grupo de categorías de impacto y formas de caracterización de impactos de punto medio para la fase de EICV, medidas con los indicadores que se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Información del conjunto de datos para el ICV de la extracción de la materia prima

Procesos	<i>Guadua angustifolia</i> en pie en el bosque	Guadua cortada y puesta en el camino del bosque	Transporte interno
Ubicación	Guaduales Yarima	Caminos de guaduales Yarima	Planta Yarima
Unidad	Culmo maduro, entre 4 y 5 años de edad con 10,96 cm de diámetro, 20,38 m de altura, área basal de 54,07 m ² /ha, densidad promedio de madera de 670 kg/m ³ y volumen aparente de 0,11 m ³	Segmento de guadua húmeda de 3 m de longitud	
Actividades o procesos incluidos	<ul style="list-style-type: none"> Captura de CO₂ del aire y el suelo Poder calorífico de la biomasa Ocupación intensiva del bosque 	Consumo de combustible por corta con motosierra y disco pulidor acoplado a la guadaña	Transporte de guadua en un tractor ocupado a capacidad máxima (80 a 100 culmos por viaje)



Cuadro 2. Características de las categorías de impacto para el método CML 2000 V 2,05 (línea de base)

Nombre de la categoría de impacto	Factor	Indicador
Agotamiento de recursos abióticos	Factor de agotamiento abiótico	kg Sb eq/kg de extracción
Cambio climático	Potencial de calentamiento global	kg CO ₂ eq/kg de emisión
Agotamiento del ozono estratosférico	Potencial de agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq/kg de emisión
Toxicidad humana	Potencial de toxicidad humana	kg 1,4-DB eq/kg de emisión
Ecotoxicidad de agua dulce	Potencial de ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq/kg de emisión
Ecotoxicidad marina	Potencial de ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq/kg de emisión
Ecotoxicidad terrestre	Potencial de ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq/kg de emisión
Formación foto-oxidante	Formación potencial de ozono fotoquímico	kg C ₂ H ₄ eq/kg de emisión
Acidificación	Potencial de acidificación	kg SO ₂ eq/kg de emisión
Eutrofización	Potencial de eutrofización	kg PO ₄ eq/kg de emisión

Fuente: Goedkoop et al. (2010).

kg Sb eq = kg equivalentes de antimonio; kg CO₂ eq = kg de dióxido de carbono; kg CFC-11 eq = kg de CFC - 11 equivalente; kg 1,4-DB eq = kg equivalente de 1,4 -diclorobenceno; kg C₂H₄ eq = kg equivalentes de etileno; kg SO₂ eq = kg equivalentes de dióxido de azufre; kg PO₄ eq/kg de emisión = kg equivalentes de fosfatos

Fase de interpretación

En esta fase se analizaron los impactos seleccionados en las fases anteriores; se determinaron los valores específicos de las cargas ambientales de cada entrada e insumo para cada categoría de impacto.

Resultados y discusión

Yarima Guadua E.U. se dedica al aprovechamiento, preservación, secado y comercialización de productos de los guaduales. La empresa cuenta con un plan de manejo aprobado por la Corporación Autónoma

Regional de Risaralda (CARDER), en el cual se detallan las actividades de manejo para las 26 hectáreas de guaduales en ciclos de 24 meses; además, se describen las actividades de preservación, secado y despacho de pedidos.



Foto: Grupo GATA

El estudio contempló la extracción de materia prima para los 2012 y 2013 en un sitio específico del Eje Cafetalero de Colombia

Cuadro 3. Información y características de las entradas tomadas de bases de datos internacionales

Nombre de la entrada	Nombre de la entrada en la base de datos	Procesos incluidos	Geografía	Tecnología	Observaciones
Gasolina	Gasolina quemada en equipo	Sin especificar	Estados Unidos	Combustión de gasolina en equipos tales como unidades móviles de refrigeración, generadores, bombas y equipos portátiles de perforación de pozos.	La mayoría de entradas de la base de datos US LCI han sido revisadas; sin embargo, la base en su conjunto aún no ha sido sometida a un proceso de validación formal.
Motosierra	Motosierra con catalizador	Potencia (infraestructura), el uso de combustibles, lubricantes, aceite, y algunas medidas de emisiones de aire (incluidas las emisiones procedentes de la combustión del combustible). La sierra está equipada con un convertidor catalítico.	Desconocida	Tecnología media utilizada en Europa a finales de la década de 1990.	
Transporte en tractor	Transporte, tractor	El inventario toma en cuenta el consumo de combustible y la maquinaria agrícola para el transporte de mercancías por carretera: un tractor y dos remolques de neumáticos. También se consideran las emisiones y residuos de calor al aire de la combustión y la emisión al suelo por abrasión de los neumáticos durante el transporte. Se incluyen las siguientes actividades: trabajos preliminares en la planta (p.e., enganche del remolque al tractor), transporte en carretera por 1 km, trabajo final y desacoplamiento de la máquina. No se incluyen emisiones de polvo ni ruido.	Los inventarios se basan en mediciones realizadas por la FAT, en Suiza.	Las medidas de emisiones y consumo de combustible corresponden a tractores en funcionamiento durante el período 1999 a 2001.	Incluye dos remolques de neumáticos con capacidad máx. de 8t, velocidad media con carga = 15 km/h, velocidad media sin carga = 25 km/h (a igual distancia). UF es 1 t transportada en 1 km.

En el 2004, la empresa inició el proceso de certificación forestal voluntaria con el FSC; en mayo del 2006 obtuvo la certificación GFA-FM/COC-1333 por medio de la Corporación Guadua. Desde entonces, los guaduales se mantienen en muy buen estado y la unidad forestal ha venido cumpliendo con sus actividades de una excelente manera, lo que da cuenta del compromiso de la empresa con el componente ambiental (Suárez y Hernández 2013).

Análisis del ciclo de vida

En el Cuadro 3 se detallan las variables evaluadas. La información se tomó de bases de inventarios europeas y estadounidenses, puesto que no se cuenta con bases de datos nacionales. En el Cuadro 4 se muestran los datos de las entradas y salidas asociadas a la UF del producto final, calculados a partir de la información de todos los flujos en cada proceso.

Para el análisis con el SimaPro se evaluaron el consumo de gasolina,

la utilización del equipo de corta y el transporte interno. La Figura 5 muestra la caracterización de los impactos, para cada entrada, provocados durante la fase de extracción de 278,4 kg de guadua húmeda como principal materia prima para la fabricación de tableros de esterilla. La categoría de impacto con mayor cantidad de emisiones fue la ecotoxicidad marina, en la que el consumo de gasolina aportó la mayor cantidad de emisiones. Sin embargo, para esta investigación este resultado no es válido por la ubicación geográfica del sitio en estudio. En segundo lugar se ubicó la categoría de cambio climático, en la que el uso del equipo de corta fue el principal contribuyente de emisiones; en tercer lugar se ubicó la toxicidad humana (Cuadro 5).

Las categorías en las que el consumo de gasolina causa mayor impacto son la toxicidad: 44% para la toxicidad humana y 20% para la ecotoxicidad de agua dulce (Figura 5), ya que los combustibles fósiles afectan de manera importante

la salud humana y los ecosistemas hídricos durante todo su ciclo de vida. El transporte en tractor tuvo una representatividad baja en la contribución total de todas las categorías; el aporte más alto se dio en la categoría de toxicidad humana con un valor del 1,2%. Finalmente, el uso del equipo para realizar los cortes representó el 99% de la carga del impacto total en dos categorías: agotamiento de la capa de ozono y ecotoxicidad terrestre, por las emisiones al aire de trifluor-bromometano o halon 1301 (3,05 E-7 kg CFC-11 eq), difluor-cloro-bromometano o halon 1211 (7,33E-9 kg CFC-11 eq) y tetracloro metano o CFC-10 (2,09 E-9 kg CFC-11 eq) durante todo su ciclo de vida. Las emisiones de estos gases –los cuales poseen un alto potencial de agotamiento de la capa de ozono– se atribuyen al proceso de producción del equipo de corte.

Limitaciones del estudio

Un estudio de ACV de un producto que se fabrica bajo condiciones

Cuadro 4. Información de flujos para cada proceso del ICV de la extracción de materia prima para la producción de tablero de esterilla de guadua

Información de los flujos								
Entradas	Nombre del proceso	Salida	Nombre del proceso en SimaPro 7.3.3 (base de datos)	Categoría / Subcategoría	Valor	Unidad	Fuente del dato	Comentarios
<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Guadua en pie en el bosque		Madera, no especificado, en pie/kg (Ecoinvent)	Recurso / Biótico	442,2	kg	(Camargo García 2006)	Se toma como referencia un culmo promedio, maduro de 4 a 5 años de edad, con 10,96 cm de diámetro, 20,38 m de altura, área basal de 54,07 m ² /ha, densidad promedio de madera de 670 kg/m ³ y volumen aparente de 0,11 m ³ .
Energía solar almacenada			Energía, valor calorífico bruto, en biomasa (Ecoinvent)	Recurso / Biótico	8291,25	MJ	(Daza 2013)	Se calculó a partir de los siguientes valores de la guadua: valor calorífico superior de 18,75 MJ/kg, densidad de 670 kg/m ³ y volumen neto de 0,03 m ³ .
Captura de CO ₂			Dióxido de carbono, en aire (Ecoinvent)	Recurso / Aire	187,26	kg	(Arango 2011)	Se supone que en una hectárea con 4050 culmos de guadua se almacenan 126,41 t/ha de CO ₂ ; en promedio, 31,21 kg por cada guadua completa (hojas, ramas, raíz, culmo).
Ocupación del bosque			Ocupación del bosque, intensiva (Ecoinvent)	Recurso / Suelo	0,0516	m ²	(Camargo García 2006)	Este dato se obtiene con el área basal de la guadua (54,07 m ² /ha) calculada con el diámetro (medido en el entrenudo a la altura del pecho) y una cantidad de 6284 culmos/ha.
			Guadua en pie en el bosque	Guadua en pie en el bosque (Autor)	Material / Madera, Extracción	442,2	kg	(Camargo García 2006)
Guadua en pie en el bosque	Guadua cortada y puesta en el camino del bosque		Guadua en pie en el bosque (Autor)	Material / Madera, Extracción	442,2	kg		
Gasolina			Gasolina, quemada por el equipo (US LCI)	Energía / Combustible	0,192	L	(Lugt et al. 2009)	El dato corresponde al combustible utilizado en labores de precosecha, cosecha y poscosecha; es decir, todos los cortes realizados con motosierra y disco pulidor acoplados a la guadaña. Se incluyen aceite del motor y aceite lubricante. Consumo de 0,016 L y 12 cortes por culmo.
Corta con máquina			Poder de aserrado, sin convertidor catalítico (Ecoinvent)	Transformaciones / Madera	0,5	H	(Althaus 2007)	Motosierra y disco pulidor acoplados a la guadaña; 0,4h/m ³ para la corta de pino paraná con una densidad de 500 kg/m ³ . Se calculó el tiempo de uso para realizar un total de 12 cortes a guaduas con densidad de 670 kg/m ³ .
			Guadua cortada y puesta en el camino del bosque	Guadua cortada y puesta en el camino del bosque (Autor)	Material / Madera, Extracción	278,4	kg	
Guadua cortada y puesta en el camino del bosque	Transporte interno		Guadua cortada y puesta en el camino del bosque (Autor)	Material / Madera, Extracción	278,4	kg		
Transporte en tractor			Transporte, tractor y remolque (Ecoinvent)	Transporte / Carretera	0,032	Tkm		El tractor utilizado tiene una capacidad máx. de 100 guaduas (1,8 t); recorre un promedio de 5,2 km (2,6 km de ida y 2,6 km de regreso vacío); la cantidad de guadua a transportar por cada UF es de 292,32 kg.
			Guadua húmeda cortada en planta	Guadua húmeda cortada en planta (Autor)	Material / Madera, Extracción	278,4	kg	(Liese 2003, Montoya Arango 2006)

Cuadro 5. Análisis de impacto para la extracción de materia prima con el método CML 2000

Categoría de impacto	Unidad	Total	Gasolina	Equipo de corta	Transporte en tractor
Agotamiento de recursos abióticos	kg Sb eq	0,020604	0,003532	0,016978	9,45E-05
Acidificación	kg SO ₂ eq	0,016699	0,0044	0,012224	7,56E-05
Eutrofización	kg PO ₄ eq	0,006701	0,000906	0,005771	2,34E-05
Cambio climático	kg CO ₂ eq	3,316932	0,527905	2,775198	0,013829
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC 11 eq	3,18E-07	1,94E-11	3,16E-07	1,61E-09
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1,694131	0,747963	0,926429	0,01974
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	0,808297	0,164304	0,640351	0,003642
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	1020,341	600,5547	413,2586	6,528142
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,007651	3,05E-05	0,007548	7,25E-05
Formación foto-oxidante	kg C ₂ H ₄ eq	0,00344	0,000826	0,00261	3,39E-06

Fuente: Elaborado a partir de información de SimaPro 7.3.3 2014

específicas de extracción de la materia prima y del proceso productivo, como el tablero de esterilla de guadua, presenta varias limitaciones e implica asumir situaciones y datos que no necesariamente coinciden con lo que sucede en la realidad. La selección de un método de análisis implica, asimismo, la omisión de aspectos ambientales que podrían ser relevantes en la evaluación del impacto. Por lo tanto, es importante aclarar las limitaciones y supuestos que se tomaron en cuenta en esta investigación.

Conjuntos de datos

La evaluación de los impactos ambientales en un análisis del ciclo de vida por lo general requiere un gran conjunto de datos, así como supuestos del modelo. A pesar de que algunos datos fueron recolectados en campo, otros se tomaron de fuentes secundarias o de bases de datos disponibles en el paquete informático mismo. Todas las fuentes de datos procedentes de información bibliográfica y las características de los datos tomados de bases de datos se especifican en los Cuadros 1 y 3.

Temporalidad y geografía del conjunto de datos

El ACV del producto en estudio refleja la extracción de materia prima para el año 2012 y 2013, en un sitio específico ubicado en el Eje Cafetero de Colombia; o sea que los resultados no son válidos para otra forma de cosecha de la guadua.

Modelos e indicadores

Actualmente no existen modelos de evaluación de impactos que hayan sido validados para Colombia ni para América Latina; por eso, es necesari-

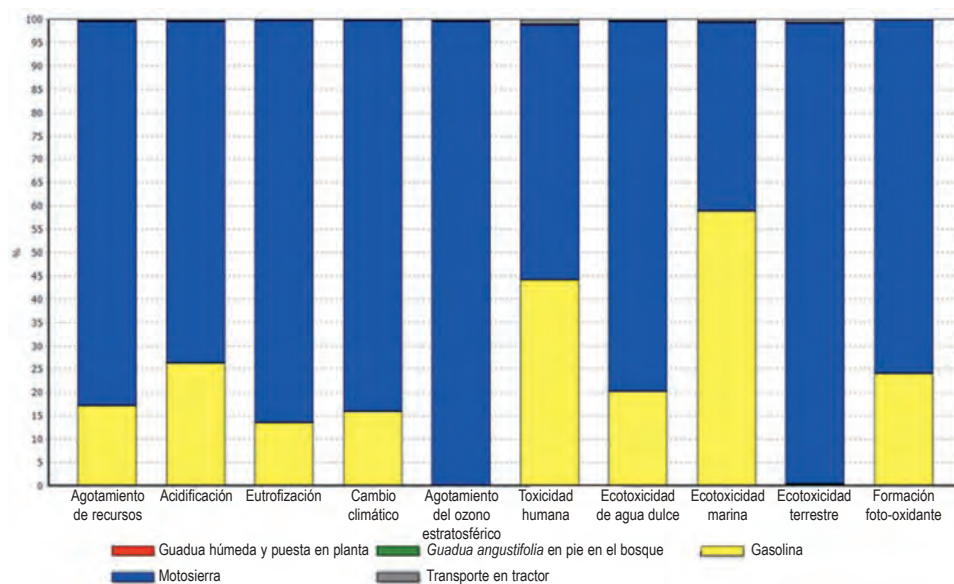


Figura 5. Caracterización de impactos para la etapa de extracción de materia prima con el método CML 2000

Fuente: Elaborado a partir de información de SimaPro 7.3.3 2014

rio utilizar métodos con indicadores europeos que pueden ocasionar errores en la interpretación, puesto que no reflejan la realidad de los impactos para nuestro país. Las principales diferencias radican en las condiciones ambientales, la vulnerabilidad de los ecosistemas y las tecnologías e insumos empleados para obtener las diferentes materias primas.

Otro aspecto a tener en cuenta es que gran variedad de modelos de análisis omiten algunos impactos y aspectos importantes; por eso, la selección de un método debe ser un proceso cuidadoso que refleje el alcance e interés de cada estudio.

Conclusiones

- Para el estudio de ACV desarrollado en este trabajo se analizaron las diez categorías de impacto ambiental descritas por el modelo de evaluación CML 2000 (línea de base), el cual arrojó resultados importantes para las categorías relacionadas con la toxicidad humana y el deterioro de la capa de ozono.
- Específicamente para la fase de extracción de materia prima, en

el proceso de la guadua húmeda cortada y puesta en planta se obtuvieron valores altos en la categoría de impacto toxicidad humana, a causa del consumo de gasolina, que tuvo un aporte de 44%. La máquina utilizada para realizar los cortes afectó en mayor proporción la categoría de impacto de deterioro de la capa de ozono (99%) atribuido a las emisiones halon 1301, halon 1211 y CFC-10.

- La selección de un método para la evaluación del impacto del ciclo de vida depende del alcance, la delimitación del sistema, la selección de la unidad funcional y del interés de cada estudio en particular. Esta selección debe hacerse de manera cuidadosa pues algunos métodos omiten aspectos ambientales que podrían ser relevantes para el sistema que se está evaluando.
- Es fundamental que las iniciativas de certificación forestal voluntaria no solo se mantengan sino que se mejoren de manera continua. Los trabajadores deben tener acceso a capacitación y sensibilización per-

manente sobre el correcto manejo de los equipos y maquinaria para las labores de cosecha, así como su incidencia en los impactos ambientales generados.

- Se recomienda evaluar los impactos ambientales relacionados con la guadua en diferentes escenarios; por ejemplo, la cosecha en bosques naturales manejados y en plantaciones comerciales. Igualmente, pueden generarse datos de ICV de diferentes procesos y productos de guadua con variación en las unidades funcionales de manera que puedan hacerse comparaciones entre ellos.
- La metodología de ACV es estática en el tiempo y en el espacio; es decir que refleja los impactos ambientales de un producto bajo condiciones específicas que cambian en el tiempo. En consecuencia, se requiere una constante actualización de los ICV de materiales e insumos que alimentan las bases de datos con que se construyen estos estudios. Esta es la principal limitación de esta metodología.

Literatura citada

- Althaus, H.J. 2007. Life cycle inventories of renewable materials; Data v 2.0. Dübendorf, Switzerland, EMPA.
- Arango, A.M. 2011. Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático. Caso: Eje Cafetero Colombiano. Tesis de Pregrado. Pereira, Colombia, UTP - Facultad de Ciencias Ambientales.
- Camargo García, J.C. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia. Thesis Ph.D. Göttingen, Germany, Georg-August Universität.
- Daza M., C.Z. 2013. Torrefied bamboo for the import of sustainable biomass from Colombia. Petten, Netherlands, Energy Research Centre of the Netherlands.
- Goedkoop, M.; Oele, M.; Schryver, A.; Viera, M.; Hegger, S. 2010. SimaPro Database Manual. Amersfoort, Netherlands, Pré Consultants. Methods library.
- Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2007a. NTC ISO 14040:2007. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Bogotá, Colombia.
- Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2007b. NTC ISO 14044:2007. Gestión ambiental. Directrices. Requisitos del ciclo de vida. Bogotá, Colombia.
- IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental). 2009. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. Bilbao, España.
- Liese, W. 2003. Bamboo preservation compendium. New Delhi, India, Center for Indian Bamboo Resource Technology. (INBAR Technical Report no. 22).
- Lugt, P.; Dobbelsteen, A.; Abrahams, A. 2003. Bamboo as a building material alternative for Western Europe. A study of the environmental performance, costs and bottlenecks of the use of bamboo (products) in Western Europe. *Bamboo and Rattan* 2(3): 205-223.
- Lugt, P.; Vogtländer, J.; Brezet, H. 2009. Bamboo: a sustainable solution for Western Europe design cases, LCAs and land-use, New Delhi, India, Center for Indian Bamboo Resource Technology. (INBAR Technical Report no. 30).
- Montoya Arango, J.A. 2006. Trocknungsverfahren für die Bambusart *Guadua angustifolia* unter tropischen Bedingungen. Tesis de doctorado. Hamburgo, Alemania, Universidad de Hamburgo.
- Suárez, J.D.; Hernández, A. 2013. Propuesta: Sistema de gestión ambiental Yarima Guadua E.U. Pereira, Colombia, ColcienciaS, Yarima Guadua EU, UTP.
- Universidad Tecnológica de Pereira. 2013. Innovación tecnológica para la optimización de procesos y la 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. Pereira, Colombia, Colciencias.

Identificación visual de guaduales en el Eje Cafetero de Colombia a partir de una imagen Landsat 8 sometida a mejoramiento espacial por método ISH

Dein Muñoz¹, Juan Carlos Camargo²

Resumen

En el ámbito nacional, regional y local no se registran procedimientos para el mejoramiento de la resolución espacial de imágenes satelitales que ayuden a identificar visualmente las coberturas del suelo y, especialmente, los bosques de guadua. Estos procedimientos son necesarios debido al estado de fragmentación de los guaduales en el Eje Cafetero de Colombia, lo cual limita el uso de sensores remotos de baja resolución; se requiere, entonces, una mayor resolución espacial para mejorar la identificación de estos bosques. Este trabajo informa del mejoramiento espacial, mediante el método ISH, de una imagen del año 2013 obtenida por el sensor OLI a bordo del satélite Landsat 8. Este método ofrece una de las técnicas más frecuentemente empleadas para el mejoramiento espacial. Los resultados obtenidos comprobaron su efectividad para la optimización de la identificación visual de los bosques de guadua.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; bosques; bosque fragmentado; cobertura del suelo; imágenes por satélites; análisis de imágenes; Colombia.

Abstract

Visual identification of guadua forests in the Colombian coffee region using a Landsat 8 image spatially enhanced with the ISH method. At the national, regional and local level, no procedures for improving the spatial resolution of satellite images have been used. These procedures would help to visually identify land cover, and especially bamboo forests. Because of the state of fragmentation of bamboo stands in the Colombian coffee region, it is not possible to use low-resolution remote sensing; a higher spatial resolution is thus necessary to improve land cover identification. This paper reports the spatial enhancement of a Landsat 8 image (2013, OLI sensor) using the ISH method. This method offers one of the most frequently used techniques for spatial enhancement. The results proved its effectiveness for optimizing the visual identification of bamboo forests.

Keywords: *Guadua angustifolia*; forests; fragmented forest; ground cover; satellite images; image analysis; Colombia.

1 Investigador. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. dein89@gmail.com

2 Profesor Asociado. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. jupipe@utp.edu.co

Introducción

Desde su primer lanzamiento en 1972, los satélites Landsat han sido una de las plataformas más utilizadas para la teledetección terrestre debido al apoyo de sus archivos retrospectivos y la cobertura global en modo multiespectral. El sensor ETM+ (*enhanced thematic mapper plus*), a bordo del satélite Landsat 7 ofrece imágenes desde 1999 y el sensor OLI (*operational land imager*), a bordo de Landsat 8, ofrece imágenes desde 2013. Ambos sensores cuentan con bandas multiespectrales (multi) de 30 m de tamaño de píxel y pancromáticas (pan) con resolución espacial de 15 m.

Los bosques de *Guadua angustifolia* Kunth que predominan entre los 900 y 1900 msnm en el Eje Cafetero colombiano se encuentran altamente fragmentados como consecuencia de las actividades humanas relacionadas con la agricultura y, más recientemente, con la expansión urbana (Arango et al. 2010). Sin embargo, pese a la fragmentación, los guaduales cumplen con funciones importantes para la generación de bienes y servicios ecosistémicos (Arango y Camargo 2010, Camargo et al. 2010, Camargo y Cardona 2005, Chara et al. 2011).

La guadua ha sido estudiada mediante sensores remotos por diversos autores. Carvalho et al. (2013) estimaron la reflectancia asociada al ciclo de vida de *Guadua sarmentose*, así como su relación con el suelo en el suroeste de la Amazonia de Brasil. Dicho estudio se basó en la composición a color de imágenes Landsat entre los años 1975 a 2008 (MMS, TM5, ETM+) e imágenes modis (*moderate resolution imaging spectroradiometer*), a escala 1:250.000, sin reporte de mejoramiento de la resolución espacial en las imágenes.

A nivel nacional y regional, Echeverry y Harper (2009) evaluaron la fragmentación y deforestación

como indicadores del estado de ecosistemas en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí (Colombia-Ecuador); específicamente, en una parte del valle del Cauca y la vertiente Occidental de la cordillera central de Risaralda. Para este estudio se utilizaron dos imágenes Landsat TM del año 1989 y ETM+ de año 2002, con bandas combinadas en composiciones rojo-verde-azul (*red-green-blue*, RGB), sin reporte de mejoramiento espacial; la clasificación supervisada constó de seis clases (bosque, no bosque, agua, nubes/sombras, hielo/nieve y manglares) para generar métricas del paisaje y análisis de tasas de cambio.

A nivel local Koim (2009) realizó una clasificación supervisada de uso del suelo mediante imágenes Landsat de 1989 y 2002, para la cuenca baja del río La Vieja, sin reporte de mejoramiento de la resolución espacial. Se generaron mapas de cambio para el análisis de métricas del paisaje y la delimitación de los fragmentos para conservación. Además, se realizó un estudio detallado de la composición vegetal de los fragmentos. Las clases determinadas para la clasificación fueron: bosque, bosque de guadua, agricultura, agua y áreas urbanas, a escala 1:100.000.

Ninguno de los estudios mencionados reportó mejoramiento de la resolución espacial en las imágenes; por lo tanto, se considera importante evaluar los resultados de este procedimiento para validar su utilidad en la interpretación visual de bosques de guadua. Una forma de obtener imágenes de alta resolución espectral y espacial son las técnicas de fusión de imágenes.

El concepto de fusión de imágenes se entiende como la combinación sinérgica de información proporcionada por varios sensores o por un mismo sensor en diferentes escenarios (espaciales, espectrales y temporales). Así,

la fusión de imágenes multi y pan combina la información espectral de la imagen multi con la espacial de la imagen pan, para obtener una imagen fusionada de mayor calidad global (espacial-espectral) (Lillo Saavedra y Gonzalo 2006).

Área de estudio

El área de estudio seleccionada corresponde a una ventana localizada en la vertiente occidental de los Andes centrales de Colombia, la cual incluye las cuencas bajas de los ríos Otún y Consota, en el municipio de Pereira. El sitio abarca un área total de 14.118 ha, entre 900 y 1300 m de elevación y es representativa de las condiciones naturales en donde se distribuyen los bosques de guadua (Figura 1). Los bosques de guadua en Colombia se encuentran desde el nivel del mar hasta los 2000 msnm, con mayor abundancia entre los 1200-1800 msnm, gradiente altitudinal al que corresponde la zona cafetera.

Imagen y procesamiento

Para el estudio se utilizó una imagen Landsat del año 2013, obtenida gratuitamente del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Las características de la imagen utilizada fueron las siguientes:

Ruta/Fila	9/57
Fecha	16-07-2013
Identificación	"LC80090572013197LGN00"
Sensor	OLI
Bandas	
RGB	PAN
Tamaño píxel (m)	
30	15

Una vez realizada la descarga de las bandas de interés (aquellas que abarcan el rango visible del espectro electromagnético RGB), se procedió a unir las con la herramienta *layer stack* de la versión de prueba de Focus PCI Geomatics 2013. Esto permitió la visualización de una composición en color verdadero (RGB: 321), ya que los

demás colores se construyen por combinación de estos tres colores básicos (Fernández y Herrero 2001). La Figura 2 ilustra en detalle la unión de bandas y la composición multispectral a color.

Luego de realizar la composición RGB, se re proyectó la imagen con la versión de evaluación de la herramienta *re-project* de PCI Geomatics 2013, a un tamaño de píxel de 15 m. Se buscaba generar una división de los píxeles de 30 a 15 m para que, al realizar el procedimiento de fusión de las bandas multi y pan, la información espacial de la banda pancromática pudiera ser transferida al componente I de cada banda de la imagen multispectral (Figura 3).

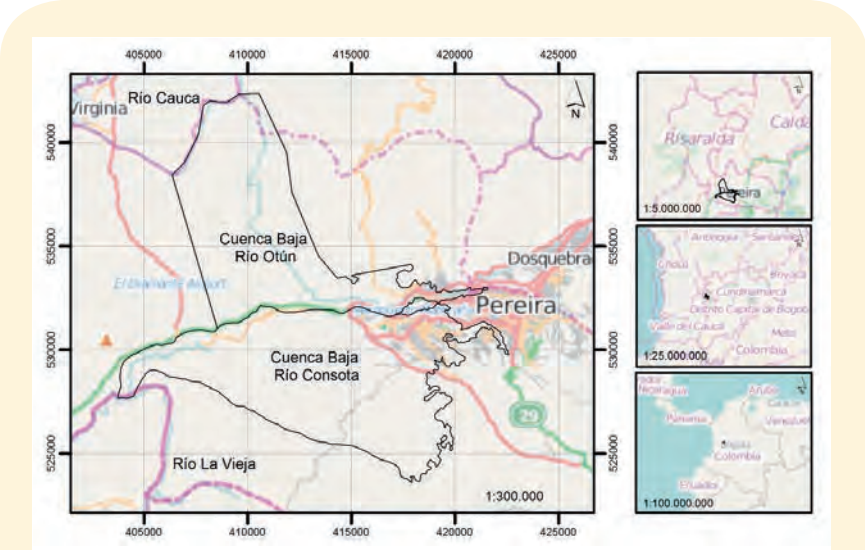


Figura 1. Localización general del área de estudio

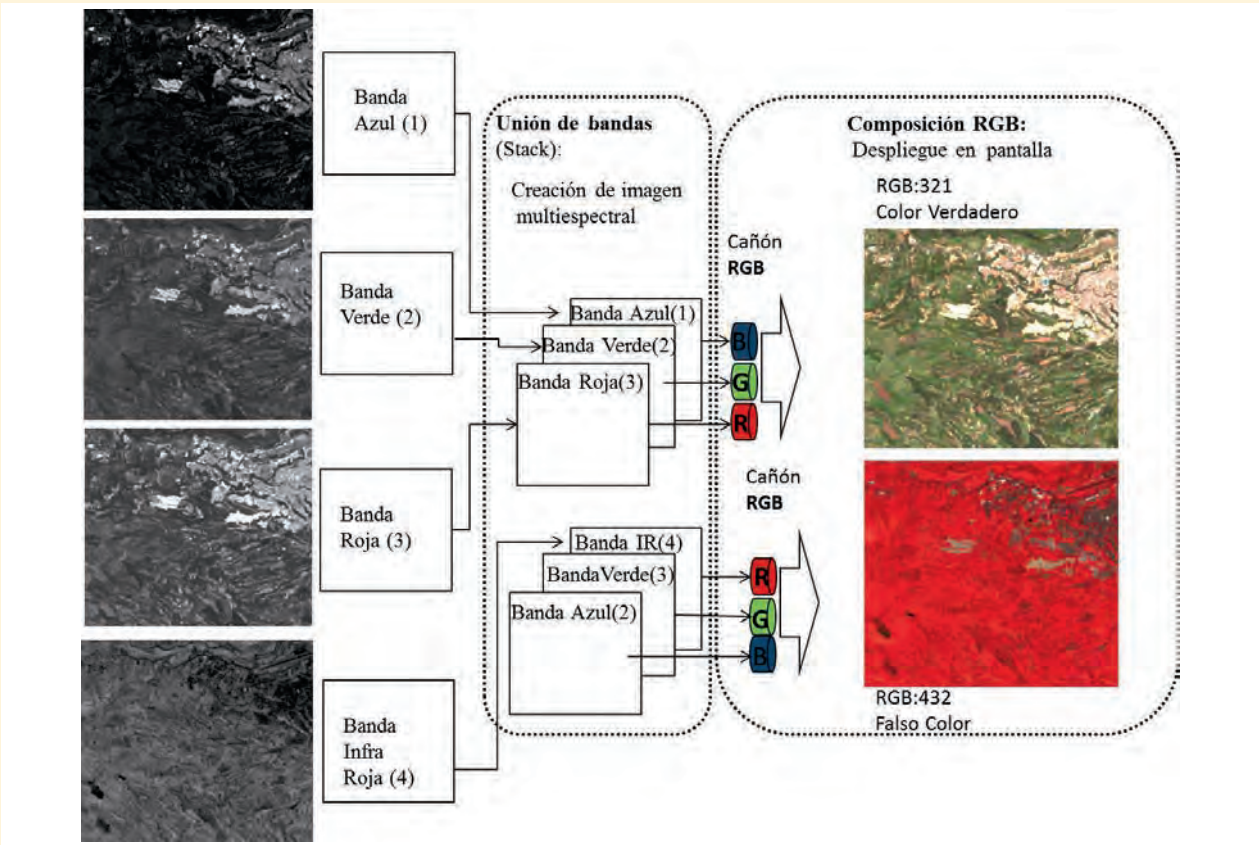


Figura 2. Unión de bandas y composición a color. Mediante la unión de tres bandas como mínimo es posible crear una imagen multispectral. Los cañones RGB permiten desplegar, en cada uno de ellos, una de las bandas de la composición multispectral para generar diferentes colores y tonalidades que permiten hacer el análisis visual y la discriminación de coberturas en la imagen. Cuando la combinación RGB no responde a la asignación de cada banda con su correspondiente canal, el resultado es una imagen en falso color, pero si la combinación RGB responde a la asignación de bandas con su canal correspondiente, el resultado será una imagen de color verdadero.

Esquema general del mejoramiento de la resolución espacial

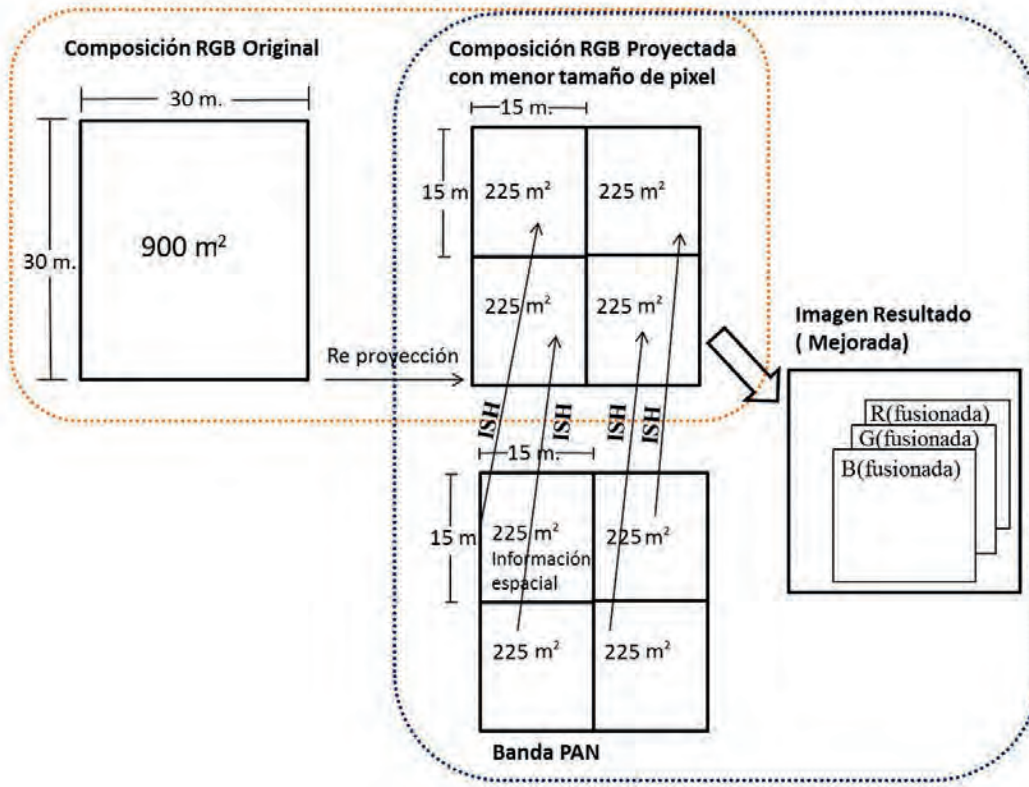


Figura 3. Esquema general de mejoramiento de la resolución espacial mediante la fusión de información multi y pan

Foto: Grupo GATA



El mejoramiento espacial de la imagen Landsat 8 permite discriminar elementos más pequeños del territorio y precisar la interpretación visual de los bosques de guadua

El procedimiento de mejoramiento de la resolución espacial con fusión de bandas multi y pan se basó en el método ISH (*intensity, saturation, hue* / intensidad, saturación, tono). En general, el color de un determinado píxel se define en función de sus componentes; es decir, en función de su contenido de rojo, verde y azul. De forma alternativa, puede representarse el color de un píxel en función, no de sus componentes, sino de sus propiedades; es decir, de su intensidad, saturación y tono (Gonzales et al. 2001).

La amplia utilización de estas transformaciones para fusionar imágenes reside en el hecho de que las transformaciones ISH logran desacoplar la información espectral de una composición RGB en los componentes H y S; además, en el componente I aíslan gran parte de la información

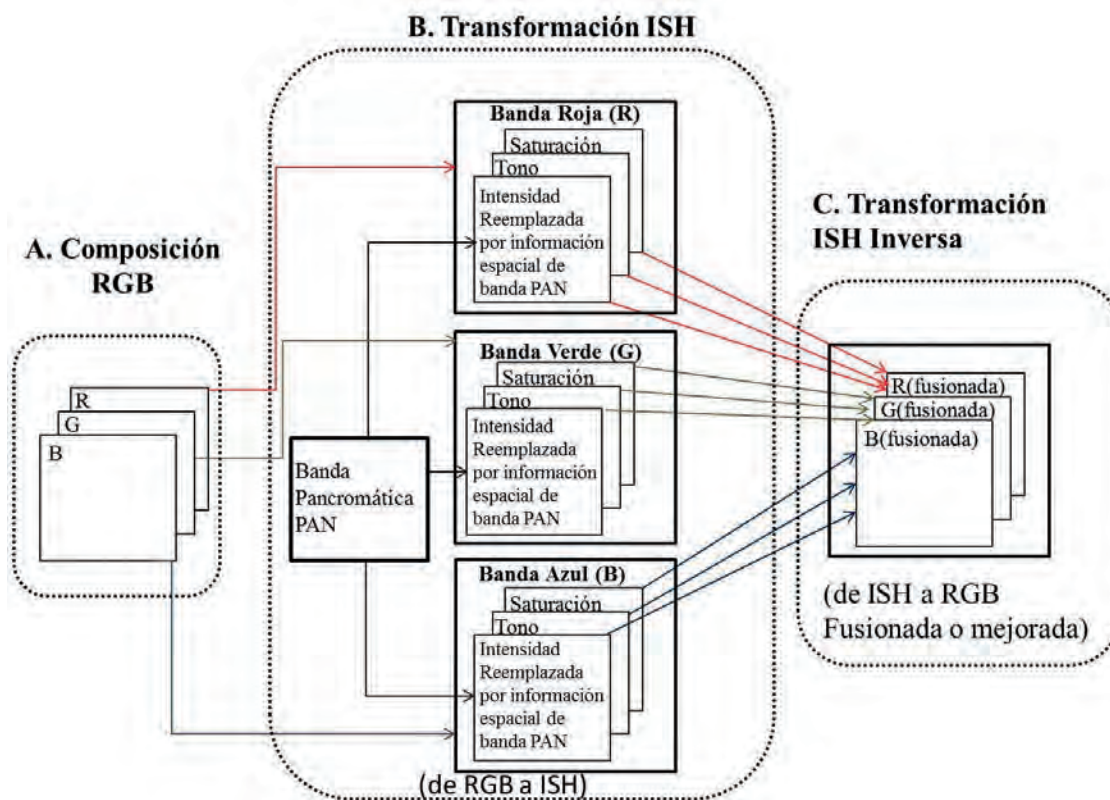


Figura 4. Esquema general de la técnica ISH de fusión multi y pan. Independientemente del algoritmo seleccionado, la transformación ISH se aplica siempre a composiciones RGB, lo que implica que la fusión solo se puede realizar para tres bandas de la imagen multispectral. Como resultado de esta transformación se obtienen las nuevas imágenes de I, H y S. El componente I se sustituye por la imagen pancromática cuyo histograma previamente se ha igualado al de la imagen I, con el fin de minimizar la distorsión espectral en la imagen fusionada. La transformación ISH inversa permite obtener la imagen RGB fusionada (Gonzales et al. 2001), con resolución espacial mejorada que contiene la información espacial transferida por la banda PAN.

espacial. Se han desarrollado diversos algoritmos que permiten convertir los valores tricromáticos RGB a valores IHS. Además del tiempo de procesamiento, estos algoritmos se diferencian en cuanto a la metodología empleada para calcular el valor del componente I. El procedimiento de mejoramiento de la resolución espacial que se ilustra en la Figura 4 se realizó con la versión de prueba del paquete informático PCI Geomática 2013 y el algoritmo FUSE.

Identificación visual de coberturas del suelo

En la Figura 5 se muestra el resultado de la aplicación de la técnica ISH. En la imagen sin mejoramiento es posi-

ble identificar las diversas coberturas que componen el paisaje, pero carece de nitidez debido al tamaño de píxel de 30 m (900 m² sobre el terreno), lo que dificulta la visualización de los límites entre las coberturas de suelo.

La imagen mejorada tiene un tamaño de píxel de 15 m (225 m² en el terreno). El área, antes cubierta por un solo píxel de 30 m, es ahora ocupada por cuatro píxeles de 15 m; la información espacial ha sido transferida desde la banda PAN, con lo que se logró mayor nitidez de la imagen y mayor contraste entre las tonalidades de los colores. Esto permite al observador una mejor interpretación de los bosques de guadua y hace fácilmente diferen-

ciables los límites con otros usos del suelo. Es evidente el mejoramiento de la calidad de la imagen como resultado de la aplicación del procedimiento de fusión ISH y sustitución del componente I por la imagen pancromática (Gonzales et al. 2001).

Conclusiones

El mejoramiento de la resolución espacial en la imagen Landsat 8 en composición a color RGB:321 fue exitoso con la aplicación del método ISH. Los píxeles en la imagen resultante son de menor tamaño, con lo que mejora el nivel de detalle y la nitidez. Esto permite mejorar la capacidad para discriminar elementos más pequeños del territorio y precisar

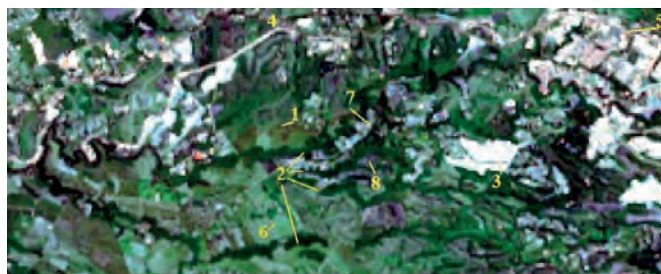


Figura 5. Superior: Imagen Landsat 8 en color verdadero sin mejoramiento de la resolución espacial. Inferior: Imagen resultado de proceso de mejoramiento de resolución espacial. En ambas imágenes se destacan: 1) cauce y valle de inundación del Río Consota; 2) bosques de guadua; 3) suelo desnudo para expansión urbana; 4) vía Pereira-Cerritos; 5) tejido urbano de la ciudad de Pereira, sector Belmonte; 6) pastos; 7) condominios; 8) plantación de cítricos.



la interpretación visual de los bosques de guadua y sus confines, cuya variabilidad espacial se asocia a fuentes hídricas y se enmarca entre coberturas de pastos, cultivos, áreas urbanizadas y en proceso de urbanización.

La disponibilidad de imágenes Landsat y el mejoramiento de la

resolución espacial con la fusión de información multispectral y pancromática, además de mejorar la interpretación visual, posibilita la caracterización de los bosques de guadua mediante índices espectrales y de textura para cuantificar su cobertura y dinámica espacial

asociada a la fragmentación del paisaje, permite obtener información de carácter multitemporal de uso y ocupación del territorio y mejora la utilidad de estas herramientas para el apoyo a la gestión, conservación e investigación. ▶

Literatura citada

- Arango, A.M.; Bueno, L.; Amézquita, M.A.; Camargo, J.C. 2010. Possibilities of guadua bamboo forests in the context of REDD+: A case study in the coffee region of Colombia. *In: Workshop "Forests in climate change research and policy: The role of forest management and conservation in a complex international setting"* [Proceedings. 2-9 dic. 2010 Cancún, México]. DAAD, Göttingen University. p. 53-62.
- 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+. *Recursos Naturales y Ambiente* N°61: 71-79.
- Camargo, J.C.; Cardona, G. 2005. Análisis de fragmentos de bosque y guaduales; enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. Pereira, Colombia, CIPAV-CATIE-Banco Mundial-GEF-LEAD. Informe no publicado. 38 p.
- Camargo, J.C.; Chará, J.D.; Sánchez, L.P.; Chará, A.M.; Pedraza, G. 2010. Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de ambientes acuáticos en la Ecorregión Cafetera de Colombia. 1. Efectos sobre las propiedades del suelo. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* N°61: 47-53.
- Carvalho, A.L.; Nelson, B.W.; Bianchini, M.C.; Plagnol, D.; Kuplich, T.M. 2013. Bamboo-dominated forests of the Southwest Amazon: detection, spatial extent, life cycle length and flowering waves. *PLoS ONE* 8(1): e54852. doi:10.1371/journal.pone.0054852.
- Chara, J.; Giraldo, L.P.; Chara-Serna, A.M.; Pedraza, G.X.; Camargo, J.C. 2011. Beneficios ambientales y sociales de los corredores ribereños. Pereira, Colombia, CIPAV. Serie microcuencas de montaña. 8 p.
- Echeverry, M.; Harper, G. 2009. Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador). *Recursos Naturales y Ambiente* N° 58: 78-88.
- Fernández, I.; Herrero, E. 2001. El satélite Landsat: análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat. Valladolid, España, Universidad de Valladolid.
- Gonzales, M.; Seco, A.; García, R. 2001. Comparación de diferentes métodos de fusión de imágenes SPOT 4 multispectrales y pancromáticas. *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global* (2001):542-545.
- Koim, N. 2009. Urban sprawl, land cover change and forest fragmentation: A case of study of Pereira, Colombia. Thesis Mg. Sc. in Integrated Natural Resources Management. Berlin, Germany, Humboldt-Universität.
- Lillo-Saavedra, M.; Gonzalo, C. 2006. Spectral or spatial quality for fused satellite imagery: A trade-off solution using wavelet à trous algorithm. *International Journal of Remote Sensing* 27(7): 1453-1464.

Diversidad de avifauna en paisajes rurales de la cuenca del río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia

Elsa Lorena Sánchez Gómez¹, Juan Carlos Camargo García²

Resumen

Con el propósito de buscar relaciones entre la estructura del paisaje y los usos de la tierra asociados, en este trabajo se evalúa la función de la avifauna como un bioindicador de la oferta de bienes y servicios ecosistémicos en sistemas productivos con distintos arreglos espaciales en la cuenca baja del río La Vieja (Colombia). Se incluyeron sistemas ganaderos convencionales, silvopastoriles y agroforestales, aledaños todos a fragmentos de bosques de guadua. Se evaluó la diversidad (abundancia y riqueza) y similitud de los sistemas productivos en cuanto a la presencia de avifauna. Los mayores valores de diversidad y abundancia se encontraron en los sistemas silvopastoriles conectados con fragmentos de bosque de guadua.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*; bosque fragmentado; animales indicadores; servicios ecosistémicos; utilización de la tierra; sistemas silvopascícolas; río La Vieja; Colombia.

Abstract

Birdlife diversity in rural landscapes on La Vieja River watershed, Colombian coffee region. In order to look for relationships between landscape structure and associated land uses, the role of birdlife was assessed as a bioindicator of ecosystem services and goods supply in farming systems with different spatial arrangements in La Vieja River watershed (Colombia). Conventional livestock, silvopastoral and agroforestry systems close to bamboo forest fragments were included in the analysis. Birdlife diversity (abundance and richness) and similarity among production systems was evaluated. The highest values of diversity and abundance were found in silvopastoral systems connected with bamboo forest fragments.

Keywords: *Guadua angustifolia*; fragmented forest; animals indicators; ecosystem services; land use; silvopastoral systems; La Vieja river; Colombia.

¹ Administradora Ambiental, Especialista en Gestión Ambiental. Joven Investigadora Colciencias 2013-2014

² Agrólogo, PhD, Ciencias Forestales. Director Grupo de Investigación en Agroecosistemas Tropicales Andinos GATA. Docente/Investigador Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira.

Introducción

En las últimas décadas, el uso del suelo en la zona cafetera colombiana ha sufrido cambios drásticos. El boom del café, junto con las prácticas de la revolución verde, hizo que se perdiera buena parte de la estructura vegetal nativa y asociada a los cultivos. Tras la crisis cafetera, la actividad pecuaria tomó fuerza y llegó a ocupar el 34% del territorio nacional (38,8 millones ha) y 23,5 millones de cabezas de ganado (Fedegan 2012). En el límite interdepartamental entre Risaralda, Quindío y Valle, este proceso de cambio de uso del suelo ha sido bastante fuerte; actualmente existen 41.158 ha bajo pasturas (Camargo et al. 2007) y

siguen aumentando. Como actividad económica, la ganadería se ha fortalecido por la certidumbre en la productividad –certeza que no brindan los cultivos ante la variabilidad climática actual y la necesidad de mano de obra.

La expansión de la ganadería ha afectado regiones de alta importancia ecológica, como los bosques andinos y los bosques secos, que se han reducido a niveles críticos (Etter 1993, McAlpine et al. 2009). El desarrollo de esta actividad económica ha generado una serie de impactos negativos sobre el medio ambiente (Steinfeld et al. 2006), como el aumento progresivo de áreas deforestadas y erosionadas, la contaminación de fuentes hídricas

por residuos orgánicos y de síntesis química y el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, entre otras. En la zona cafetera de Colombia, esta situación ha generado una mayor fragmentación de los relictos de bosques dominados por la especie de bambú *Guadua angustifolia* (guadua) entre los 900 y 2000 msnm y, por lo tanto, ha aumentado la presión sobre ellos (pe. Arango y Camargo 2010, Arango et al. 2010, Camargo y Cardona 2005).

Sin embargo, la sumatoria de esfuerzos desde distintos ámbitos plantea estrategias para disminuir los impactos de la actividad ganadera; entre ellas, los arreglos silvopastoriles que incluyen distintos estratos de vegetación: árboles, arbustos, pastos y arvenses plantados como cercas vivas o barreras rompevientos. Estas estrategias proveen estructuras físicas, recursos y hábitat para albergar especies de plantas y animales nativos que se asocian a los sistemas productivos (Zulúaga et al. 2011).

Por otra parte, los procesos de reconversión de los sistemas ganaderos convencionales implican no solo un cambio en la estructura para mejorar la producción, sino también la recuperación de la biodiversidad para mejorar la oferta de los bienes y servicios ecosistémicos a distintas escalas. En la zona de estudio se han registrado distintas experiencias que resaltan la importancia de los sistemas silvopastoriles y la posibilidad de reparar la conectividad entre fragmentos de bosque (Dossman et al. 2009; Camargo et al. 2000, 2007).

Moonen y Bárberi (2008) trabajaron con bioindicadores para determinar el estado de los ecosistemas; en este trabajo se explora el uso de la avifauna con el mismo fin. Las aves participan en procesos ecológicos relacionados con la polinización, la dispersión de semillas y el control biológico de insectos y/o plagas; por lo tanto, detectar los cambios en las poblaciones de aves permite inferir el estado de los ecosistemas. En



Foto: Elsa Lorena Sánchez

Los sistemas silvopastoriles conectados con fragmentos de bosques de guadua tienen características estructurales y funcionales importantes para la permanencia de la avifauna

este estudio se evaluó la abundancia, riqueza y similitud de la avifauna entre distintos usos del suelo, con diferentes estructuras y grados de conectividad entre fragmentos de bosques de guadua, con el propósito de establecer su utilidad como indicador del estado actual de estos ecosistemas.

El área de estudio

Este trabajo se realizó en la cuenca del río La Vieja, un paisaje rural heterogéneo en el que se alternan diversos usos del suelo. El sitio alberga múltiples especies silvestres que denotan la calidad de los espacios. Dentro de esta cuenca, se escogieron lugares con características climáticas, altitudinales y topográficas muy similares, pero con estructuras y arreglos de uso del suelo y coberturas vegetales bastante diferentes. Las áreas de observación de la avifauna se ubicaron en cuatro fincas:

1. Finca Yarima, municipio de Pereira, departamento de Risaralda. Se ubica a 1150 msnm; cuenta con un área aproximada de 26 ha de bosques de guadua; se cultivan cítricos, piña y pasturas. Estos dos últimos usos se asocian con árboles; además, los fragmentos de bosque de guadua atraviesan el predio. La finca está bastante cercana a terrenos de expansión urbana del municipio de Pereira y colinda con accesos viales y parcelaciones.
2. Finca Pinzacuá, municipio de Alcalá, departamento de Valle del Cauca. Se ubica a 1200 msnm; tiene un área de 45 ha bajo uso pecuario con diferentes arreglos silvopastoriles en donde predominan los árboles dispersos. Estos sistemas se conectan con fragmentos de bosques de guadua y barbechos ubicados cerca de los drenajes. La finca está bastante cercana al casco urbano del municipio.
3. Núcleo forestal de guadua La Esmeralda (conformado por

ocho fincas sobre los 1250 msnm), municipio de Montenegro, departamento de Quindío. Predominan los cultivos de plátano, banano, café y ahuyama; además cuenta con un área aproximada de 10 ha de bosques de guadua que bordean los drenajes.

4. Finca Nápoles, municipio de Montenegro, departamento de Quindío. Se ubica a 1200 msnm; el principal uso comercial del suelo son las pasturas sin árboles, aunque los fragmentos de bosque de guadua suman cerca de 200 ha.

Metodología empleada

En cada área evaluada se delimitaron los diferentes usos del suelo y los fragmentos de bosque de guadua con un GPS. Mediante el paquete informático ArcGis 10 se definieron aleatoriamente entre cinco y diez puntos de observación en cada finca. El número exacto de puntos dependió de la diversificación de usos alrededor de los fragmentos de bosque. Se buscó que cada punto tuviera un radio de observación de 25 m² (Hutto et al. 1986). Además, al interior de los bosques se realizó un muestreo por transectos de 15 m de longitud (en especial en Yarima y La Esmeralda), donde se hicieron observaciones *ad libitum*. En general, las jornadas de muestreo correspondieron a las franjas horarias de mayor actividad de las aves: entre 6:00-10:00 y 16:00- 18:00 para aumentar las probabilidades de avistamiento. El tiempo de observación en cada punto de muestreo fue de 15 a 20 min, con cuatro a cinco repeticiones por punto.

Los registros de observación de las especies de aves se confrontaron con las guías de campo para Colombia de Hilty y Brown (1986), McMullan et al. (2010), Rodríguez y Hernández (2002); los nombres fueron actualizados con las listas de chequeo para Suramérica del American Ornithologists' Union (2014), el listado de especies ame-

nazadas en Colombia (Renjifo et al. 2002), la resolución de especies silvestres amenazadas en el territorio nacional (MADS 2010) y con los listados en línea de la UICN (2014) y el AOU (2014). Además, se consultaron los listados CITES 2014 (Apéndices I, II y III) sobre el comercio de especies para evaluar la procedencia de las especies. Otras herramientas utilizadas para la identificación de las especies fueron los binoculares, cámara fotográfica, grabadora de sonido, así como fichas de registros de campo.

Para el análisis de la información de las poblaciones registradas en las diferentes áreas de muestreo se calcularon índices de riqueza y diversidad alfa con las fórmulas de Shannon y Margalef que forman parte de la librería Vegan del paquete informático R 3.1.0. y el índice de similitud Jaccard con el paquete informático EstimateS 9.1.0.

$$\text{Índice de Shannon } H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

donde,

S = Número de especies

P_i = Proporción de individuos de la especie/total de individuos n_i/N

n_i = Número de individuos de la especie

$$\text{Índice de Margalef } -d = (s-1) / \ln N$$

donde,

I = Diversidad

S = Número de especies

N = Número total de individuos

$$\text{Índice similitud de Jaccard } I_j = C / (a+b-c)$$

donde,

a = Número de especies en A

b = Número de especies en B

c = Número de especies en A y B

Resultados y discusión

Abundancia de especies y familias

En total se identificaron 2642 individuos de 115 especies de aves distribuidas en 33 familias en los cuatro sitios de estudio. En Pinzacuá se registraron 28 familias con 89 especies y 1069 individuos. En La Esmeralda se avistó la misma cantidad de familias pero con 73 especies y 518 individuos. En Yarima, las familias reconocidas fueron 26 distribuidas en 68 especies y 863 individuos y en la zona de muestreo Nápoles se contaron diez familias con 16 especies y 192 individuos. En términos de abundancia, para once de las familias solo se registró una especie y dos especies para nueve de las familias (Cuadro 1). La familia Tyrannidae mostró la mayor diversidad, con 19 especies, lo cual la confirma como una de las más diversas del país.

Las especies más frecuentemente registradas en la finca Pinzacuá fueron *Columbina talpacoti*, *Columbina minuta* (Columbidae) y *Thraupis episcopus* (Thraupidae), aunque de once especies solo se registró un avistamiento; entre ellas, *Phaeothlypis fulvicauda* (Parulidae), *Xiphorhynchus susurrans* (Dendrocolaptinae), *Camptostoma obsoletum*, *Leptopogon superciliaris* y *Tyrannulus elatus* (Tyrannidae), *Pachyramphus rufus* (Tityridae), *Sporophila schistacea* (Emberizidae) y *Eucometis penicillata* (Thraupidae). En Pinzacuá se registraron 180 indi-

viduos de la familia Tyrannidae. Esta gran presencia se debe, posiblemente, a las condiciones propicias para la alimentación (insectos) y la estructura físico-natural para la percha; es decir que los sistemas silvopastoriles ofrecen condiciones apropiadas para albergar a esta familia.

En La Esmeralda, las especies más abundantes fueron *Tyrannus melancholicus* (Tyrannidae) y *Thraupis episcopus* (Thraupidae); de trece especies solo se tuvo un avistamiento. Entre estas especies estuvieron *Synallaxis brachyura* (Furnariidae), *Picumnus granadensis* (Picidae), *Crypturellus soui* (Tinamidae), *Phaethornis striigularis* y *Heliomaster longirostris* (Trochilidae).

En Yarima nuevamente se registró a *Thraupis episcopus* (Thraupidae) como la especie más abundante, aunque se observaron seis especies con tan solo un individuo; entre ellas, *Pulsatrix perspicillata* (Strigidae), *Glaucis hirsutus* (Trochilidae), *Ramphocelus flammigerus* (Thraupidae) y *Piranga rubra* (Cardinalidae).

Tanto en La Esmeralda como en Yarima, donde predominan los bosques de guadua en los bordes de los cultivos y pasturas, las especies de la familia Tyrannidae son abundantes: 13 especies y 134 individuos en La Esmeralda y 10 especies y 175 individuos en Yarima. En segundo término apareció la familia Emberizidae, con

cinco especies en La Esmeralda y la familia Thraupidae, con diez especies en Yarima. La oferta de frutas para satisfacer la demanda alimentaria pudiera responder por la presencia de estas familias.

En el área predominante de pasturas de la hacienda Nápoles, las especies más abundantes fueron *Sicalis flaveola* y *Sporophila minuta* (Emberizidae). De esta familia se registraron cinco especies de un total de 16 especies encontradas. Esta familia se alimenta a base de semillas, de las cuales hay una oferta permanente en los pastizales.

Con estos primeros resultados es posible identificar la distancia entre los diferentes usos del suelo y su relación con los bosques de guadua. La comparación de resultados entre dos sitios de pasturas –Nápoles y Pinzacuá demuestra que en donde hay sistemas silvopastoriles y guaduales aledaños, la presencia y diversidad de aves es mayor, ya que la oferta alimenticia en potreros sin árboles reduce las posibilidades de permanencia de las aves. En la finca Pinzacuá, los sistemas silvopastoriles apoyan estructural y funcionalmente las dinámicas de los bosques de guadua y dan albergue a algunas especies de paso en la zona.

Diversidad y similitud de especies entre fincas

En general, la cuenca del río La Vieja es hoy el resultado de la transformación del paisaje, ya que a lo largo de su trazado hídrico presenta mosaicos de diversos usos y arreglos espaciales como bosques, cultivos y parcelaciones, los cuales ejercen diversas funciones. Para este estudio son de interés aquellos que favorecen la presencia de la avifauna como bioindicador del estado de conectividad entre fragmentos de bosques de guadua.

Los índices de Shannon (S) y Margaleff (M) mostraron un patrón de comportamiento muy claro en la Hacienda Nápoles (S= 2,77) (M=

Cuadro 1. Cantidad de especies registradas por familia

Familias	No. especies
Accipitridae, Cathartidae, Charadriidae, Estrildidae, Falconidae, Polioptilidae, Rallidae, Strigidae, Tinamidae, Tityridae y Troglodytidae,	1
Ardeidae, Cardinalidae, Furnariidae, Hirundinidae, Icteridae, Momotidae, Threskiornithidae, Turdidae y Vireonidae	2
Apodidae, Fringillidae, Psittacidae Y Thamnophilidae	3
Dendrocolaptinae Y Parulidae	4
Columbidae, Cuculidae Y Picidae	5
Trochilidae	8
Emberizidae	10
Thraupidae	14
Tyrannidae	19

2,853), en comparación con el sistema silvopastoril de Pinzacuá (S= 4,48) (M= 12,617) y valores cercanos entre los bosques de guadua de La Esmeralda y Yarima (S= 4,29 y 4,21) (M= 11,520 y 9,911), respectivamente.

En concreto, estos índices demuestran que el sitio con predominio de pasturas (Nápoles) registró la menor riqueza, abundancia y diversidad de especies de aves, en comparación con el sitio con predominio de sistemas silvopastoriles (Pinzacuá), pues las pasturas sin árboles son estructuras homogéneas que responden a una matriz simple. El Núcleo Forestal La Esmeralda y la finca Yarima presentaron valores de diversidad muy similares (Cuadro 2), aunque la distribución y conexión entre cultivos y fragmentos de bosque de guadua son realmente diferentes.

De acuerdo con los índices de diversidad de Shannon y Margaleff, los valores más altos se obtuvieron no necesariamente en donde los fragmentos de bosques de guadua tenían la mayor área sino, más bien, en coberturas de borde con un componente arbóreo abundante y buena conectividad entre fragmentos de bosque. El índice de similitud de Jaccard, por su parte, arrojó valores entre 0,085 y 0,603 (Cuadro 3). Se confirmó la ausencia de conectividad entre la finca Nápoles y los bosques de guadua de La Esmeralda (0,085) a pesar de encontrarse muy cercanos geográficamente. La similitud entre los otros sitios no tiene que ver tanto con la cercanía geográfica y la posibilidad de conectividad entre fragmentos de bosques de guadua, sino con la conectividad a lo interno de cada uno de los sistemas agrícolas y pecuarios encontrados, en donde la presencia de árboles hace que la cobertura se vuelva más compleja.

La similitud media entre Pinzacuá, Yarima y Esmeralda, con valores entre 0,539 y 0,603, indica que los sistemas silvopastoriles,

Cuadro 2. Índices de diversidad alfa para cada sitio

Criterios	Pinzacuá	Nápoles	Esmeralda	Yarima
Nº familias	28	10	28	26
Nº especies	89	16	73	68
Nº individuos	1069	192	518	863
Índice de Shannon	4,48	2,77	4,29	4,21
Índice de Margaleff	12,617	2,853	11,520	9,911

Cuadro 3. Índice de similitud de Jaccard

	Esmeralda	Nápoles	Pinzacuá	Yarima
Esmeralda		0,085	0,603	0,584
Nápoles	0,085		0,105	0,105
Pinzacuá	0,603	0,105		0,539
Yarima	0,584	0,105	0,539	

* Los valores más cercanos a 1 indican mayor similitud entre sitios.

Cuadro 4. Número de especies compartidas entre sitios

Comparación entre sitios		Especies compartidas
Esmeralda	Nápoles	7
Esmeralda	Pinzacuá	61
Esmeralda	Yarima	52
Nápoles	Pinzacuá	10
Nápoles	Yarima	8
Pinzacuá	Yarima	55

como arreglo espacial, tienen características estructurales y funcionales en la conectividad de borde de los bosques de guadua, importantes para la permanencia de la avifauna.

Los registros de las especies en las diferentes áreas de muestreo mostraron diversas compatibilidades (Cuadro 4) específicamente entre Esmeralda/Pinzacuá, Yarima/Pinzacuá y Esmeralda/Yarima, lo cual refuerza la idea de conectividad entre los fragmentos de bosque de guadua y los sistemas silvopastoriles.

Endemismo, migración y categorías de amenaza

El endemismo denota una serie de características propias de un país o región que hacen que la distribución natural de una especie se reduzca a a un ámbito geográfico específico y, en consecuencia, tales ecosistemas se vuelven de particular importancia para la conservación. Entre las especies registradas con este estudio se identificaron dos especies

endémicas: el carpintero *Picummus granadensis* (Picidae), avistado en Pinzacuá y en La Esmeralda, y la tångara *Ramphocelus flammigerus* (Thraupidae), localizada en la zona de Yarima. Hay otras especies que podrían considerarse endémicas, como *Thamnophilus multistriatus* (Thamnophilidae) y *Tangara vitrolina* (Thraupidae) registradas en los tres sitios anteriormente mencionados. Esta información corresponde a los listados publicados por Renjifo et al. (2000) en torno a la estrategia nacional para la conservación de aves en Colombia.

La migración es uno de los comportamientos animales más conspicuos en la naturaleza y el mejor ejemplo de tal fenómeno es el gran número de especies que se mueven sincrónicamente a lo largo de grandes distancias en épocas específicas del año (Boyle 2006). Se cree que hay tres procesos ecológicos importantes que han influido en la evolución de la migración de

las aves: la falta de alimento, los efectos climáticos directos sobre las funciones fisiológicas y el riesgo de depredación de nidos (Boyle y Conway 2007).

Con este estudio se identificaron doce especies de ocho familias que presentan tipologías de migración latitudinal (9 especies), transfronteriza (8 especies) y local (5 especies),

además del colibrí *Phaethornis guy* que presenta migración altitudinal (Cuadro 5).

La Lista Roja de la UICN (www.iucnredlist.org) informa sobre el estado de amenaza a especies de animales y plantas a nivel mundial e incluye nueve categorías de evaluación: extinta (EX), extinta en estado silvestre (EW), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazada (NT), preocupación menor (LC), datos insuficientes (DD), no evaluado (NE) (especie no evaluada para ninguna de las otras categorías). Hasta el año 2012, en Colombia se contabilizaban 1889 especies de aves y se consideraba el país con mayor diversidad de aves en el mundo. Según el listado 2012, en Colombia había 15 especies de aves CR, 33 especies EN, 53 especies VU y 60 especies NT.

Para la zona de estudio, el total de las especies identificadas se encontraban en la categoría LC, según la base de datos en línea de la UICN en el 2014. Se consultó, además, con los listados de especies amenazadas para nuestro país (Renjifo et al. 2002, MADS 2010) sin hallar ninguna de las especies registradas en las categorías de amenaza. 🌿



Picumnus granadensis



Ramphocelus flammigerus



Tangara vitrolina



Thamnophilus multistriatus

Cuadro 5. Especies con algún tipo de migración en las áreas de estudio

Familia	Especies	Nombre	Ubicación	Tipo de migración				
				Lat	Lon	Alt	Trans	Loc
Ardeidae	<i>Egretta thula</i>	Garza patiamarilla	Yarima, Pinzacuá	X			X	X
	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza de ganado	Yarima, Pinzacuá y Nápoles	X			X	X
Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>	Piranga rubra	Yarima	X			X	
Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina azul y blanca	Pinzacuá, Yarima, Esmeralda	X			X	
Parulidae	<i>Dendroica petechia</i>	Reinita amarilla	Pinzacuá, Esmeralda	X			X	
Trochilidae	<i>Phaethornis guy</i>	Ermitaño verde	Esmeralda			X		X
	<i>Heliomaster longirostris</i>	Colibrí piquilargo	Esmeralda					X
Tyrannidae	<i>Myiodynastes maculatus</i>	Atrapamoscas maculado	Yarima, Pinzacuá, Esmeralda	X			X	
	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Atrapamosca pechirojo	Yarima, Pinzacuá, Esmeralda	X			X	
	<i>Tyrannus savana</i>	Sirirí tijireta	Nápoles	X				
	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Sirirí común	Yarima, Pinzacuá, Esmeralda					X
Vireonidae	<i>Vireo olivaceus</i>	Verderón ojirrojo	Yarima, Pinzacuá, Esmeralda	X			X	

Lat= latitudinal; Lon= longitudinal; Alt= altitudinal; trans= transfronteriza; Loc= local

Fuente: WWF – MADS (2009)



La gran presencia de aves en los bosques de guadua se debe a que estos ecosistemas presentan condiciones apropiadas para su albergue

Literatura consultada

- AOU (American Ornithological Union). 2004. Bird Species List. Documento Online disponible en: http://www.wec.ufl.edu/birds/SurveyDocs/species_list.pdf. Consultado el 30 nov. 2014. 13 p.
- Arango, A.M.; Bueno, L.; Amezquita, M.A.; Camargo, J.C. 2010. Possibilities of guadua bamboo forests in the context of REDD+: A case study in the coffee region of Colombia. In: Workshop "Forests in climate change research and policy: The role of forest management and conservation in a complex international setting" [Proceedings. Cancún, Mexico. 2-9 dic- 2010]. Göttingen University, DAAD. p. 53-62.
- 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 61: 71-79.
- Boyle, W.A.; Conway, C.J. 2007. Why migrate? A test of evolutionary precursor hypothesis. *The American Naturalist* 169: 344-359.
- Boyle, W.A. 2006. Why do birds migrate? The role of food, habitat predation and competition. PhD dissertation. Tucson, AZ, USA, University of Arizona, Department of Ecology and Evolutionary Biology.
- Camargo, J.C.; Gaviria, J.; Cardona, J. 2007. Sistemas silvopastoriles con árboles maderables dentro de pasturas: estrategias para su establecimiento. Pereira, Colombia, Colciencias – UTP CEBREG.
- Camargo, J.C.; Cardona, G. 2005. Análisis de fragmentos de bosque y guaduales: enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. Pereira, Colombia, CIPAV-CATIE-Banco Mundial-GEF-LEAD. Unpublished project report. 38 p.
- Camargo, J.C.; Current, D.; Ibrahim, M.; Somarriba, E.; Finegan, B. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 46-49.
- CITES (Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres). 2014. Apéndices I, II y III. <http://www.cites.org/esp/app/appendices.php>
- Dossman, M.A.; Arias, L.M.; Camargo J.C. 2009. Identificación y valoración de los servicios ecológicos prestados por los suelos bajo distintas coberturas en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* 58: 17-24.
- Etter, A. 1993. Diversidad ecosistémica con Colombia hoy. En: Fundación Alejandro Angel Escobar (Eds). *Nuestra diversidad biológica*. Bogotá, Colombia, Cerec. Citado por Fajardo, D; González, R.J; Neira, L; Chará, J; Murgueitio, E. 2009. Influencia de sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja en Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* 58: 9-16.
- Fedegan (Federación Colombiana de Ganaderos). 2012. *Ganadería colombiana sostenible*. En: Congreso Colombia economía verde [Mayo 2012. Bogotá, Colombia]. MADS.
- Hilty, L.; Brown, W. 1986. *A guide of the birds of Colombia*. New Jersey, USA, Princeton University.
- Hutto, R.; Pletschet, S.; Hendricks, P. 1986. A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *Auk* 103: 593-602.
- Mc Mullan, M.; Donegan, T.; Quevedo, A. 2010. *Field guide to the birds of Colombia*. Bogotá, Colombia, Proaves.
- Mc Alpine, C.A.; Etter, A.; Fearnside, P.M.; Seabrook, L.; Laurance, W.F. 2009. Increasing world consumption of beef as a driver of regional and global change: A call for policy action based on evidence from Queensland (Australia), Colombia and Brazil. *Global Environmental Change* 19: 21-33.
- MADS (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). 2010. Resolución no. 383 por la cual se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional y se toman otras determinaciones. Bogotá, Colombia, Dirección de Ecosistemas.
- Moonen, A.; Bárberi, P. 2008. Functional Biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture Ecosystems and Environment* 127: 7-21.
- Renjifo, L.M.; Franco, A.M.; Álvarez-López, H.; Álvarez, M.; Borja, R.; Botero, J.E.; Córdoba, S.; De la Zerde, S.; Didier, G.; Estela, F.; Kattan, G.; Londoño, E.; Márquez, C.; Montenegro, M.I; Murcia, C.; Rodríguez, V.; Samper, C.; Weber, W.H. 2000. *Estrategia nacional para la conservación de las aves de Colombia*. Bogotá, Colombia, Instituto A. von Humboldt.
- Renjifo, L.M.; Franco-Maya, A.M.; Amaya-Espinel, J.D.; Kattan, G.H.; López-Lanús, B. (Eds.). 2002. *Libro rojo de aves de Colombia*. Bogotá, Colombia, Instituto A. von Humboldt - Ministerio del Medio Ambiente, Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia.
- Rodríguez, J.; Hernández, J. 2002. *Loros de Colombia*. Bogotá, Colombia, Conservación Internacional. (Serie de guías tropicales de campo no. 3).
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castell, V.; Rosales, M.; Haan, C. 2006. *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. Roma, Italia, LEAD - FAO.
- UICN (Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza). 2014. *Lista Roja de Especies Amenazadas*. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/>. Consultado el 30 nov. 2014.
- WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza, Colombia – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia). 2009. *Plan nacional de las especies migratorias. Diagnóstico e identificación de acciones para la conservación y el manejo sostenible de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia*. Ed. Luis German Naranjo y Juan David Amaya. Bogotá, Colombia 214 p. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Planes-para-la-conservacion-y-uso-de-la-biodiversidad/211010_plan_especies_migratorias.pdf
- Zulúaga, A.; Giraldo, C.; Chará, J. 2011. *Servicios ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad*. Bogotá, Colombia, GEF, Banco Mundial, Fedegan, CIPAV, Fondo Acción, TNC. Manual no. 4 *Proyectos ganadería colombiana sostenible*.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Convocatoria Jóvenes Investigadores del periodo 2013-2014, que brindó la financiación total del proyecto; al grupo de investigación de Agroecosistemas Tropicales Andinos (GATA); a la Vice-Rectoría de Investigaciones y a la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira por el apoyo constante y gestión de cada una de los procesos planteados. Es de resaltar la apertura, interés y amabilidad de cada uno de los propietarios de las fincas estudiadas.

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

Juan Carlos Camargo García¹, Ángela María Arango Arango², Miguel Ángel Amezcuita Berjan³

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

² Investigadora, Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira. amarango@utp.edu.co

³ Investigador, Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira. 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.

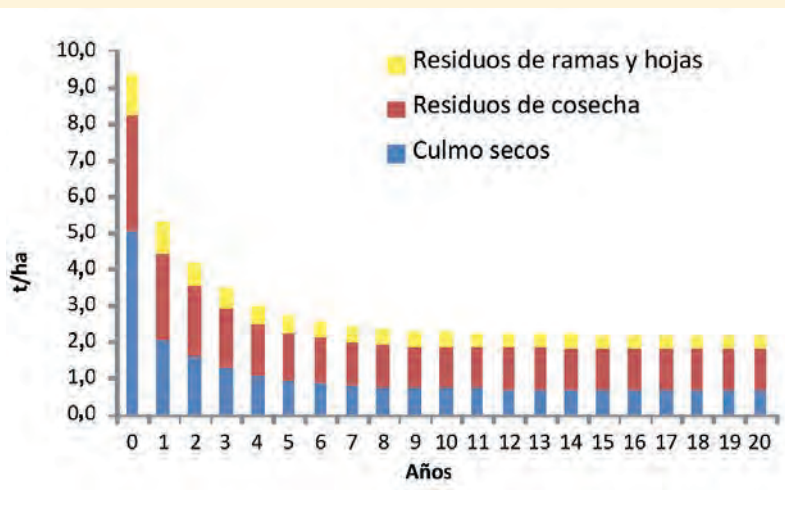


Figura 1. Potencial de residuos de biomasa seca (t/ha) en bosques de guadua de la finca Yarima en Pereira, Colombia. Escenario 1: intensidad de aprovechamiento del 25% de culmos comerciales cosechados cada año.

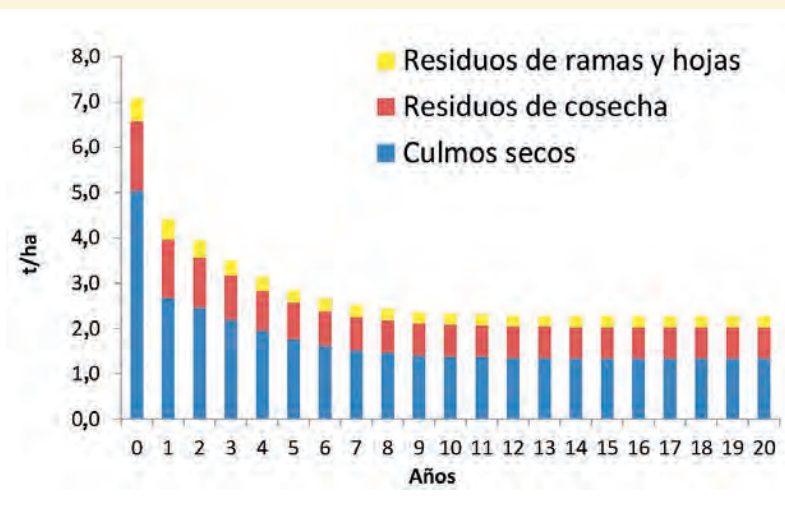


Figura 2. Potencial de residuos de biomasa seca (t/ha) en bosques de guadua de la finca Yarima en Pereira, Colombia. Escenario 2: intensidad de aprovechamiento del 12% de culmos comerciales cosechados cada año.

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.



Yarima Guadua es una empresa dedicada a la producción y venta de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) preservada.

Busca proporcionar un material para construcción versátil y de calidad, cuenta con la certificación forestal, haciendo parte del único grupo en el mundo con esta certificación en guadua. Es ambientalmente sostenible y económicamente viable permitiéndose así ser una empresa en constante crecimiento.

Entre sus productos se destacan la guadua preservada y la esterilla preservada, ambos materiales óptimos para la construcción.

Contacto:

Página web: <http://www.yarimaguada.com>

Correo electrónico: yarimaguada@gmail.com

Ubicación: Hacienda Yarima Vía Cerritos
entrada N° 16 - El Tigre Pereira – Risaralda – Colombia

Teléfonos:

+ 57 (6) 3132614

Fax. + 57 (6) 313 2619

Móvil: + 57 310 422 0814 - 320 6881610

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Estado de Acre en Brasil.



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Sede Central 7170 CATIE, Turrialba, Costa Rica
Tel. (506) 2558-2312 • Fax: (506) 2558-2051

www.catie.ac.cr