

Aprovechamiento industrial de *Guadua angustifolia* a partir de sus extractos vegetales

Andrea Hernández Londoño¹;
Carlos Arrabal Miguel²;
Jorge Augusto Montoya Arango³



Foto: Grupo de Investigación GATA

¹ Administradora Ambiental, Grupo de Investigación PML, Universidad Tecnológica de Pereira. andreahernandez@utp.edu.co

² Ingeniero de Montes, Profesor Titular Universidad Politécnica de Madrid. carlos.arrabal@upm.es

³ Ingeniero Mecánico, Profesor Asociado Grupo de Investigación PML Universidad Tecnológica de Pereira. jorgemontoya@utp.edu.co

Resumen

Mediante una serie de experimentos se buscó explorar el rendimiento y los compuestos químicos presentes en los extractos de *Guadua angustifolia*. Se encontraron tres tipos de compuestos en los ensayos con solventes no polares y con polaridad media, los cuales presentaron alta aplicabilidad a nivel de la industria cosmética, farmacéutica, automotriz y química fina. Tales compuestos fueron identificados como tetraetil silicato, diacetona alcohol y dietilenglicol. Además, se evaluó el potencial de dichos extractos en cada parte estudiada (entrenado, diafragma y nudo). Se encontró que el entrenado en la fase polar y de polaridad media es la parte más apta para ser aprovechada industrialmente a partir de los componentes químicos presentes en su estructura física.

Palabras claves: *Guadua angustifolia*; bambúes; composición química; extractos vegetales; propiedades físicoquímicas; usos; industrialización.

Summary

Industrial utilization of *Guadua angustifolia* starting from its vegetal extracts. Many experiments were made in order to explore the performance and the chemical compounds in the extracts of *Guadua angustifolia*. From the tests with non-polar and medium polarity solvents, three types of compounds were found which presented high applicability in the cosmetics, pharmacist, automotive and chemistry industries. They were identified as tetraethyl silicate, diacetone alcohol and diethylene glycol. Also, the potential of these extracts on each section evaluated (internode, diaphragm and node) was rated, being the internode in the non-polar and medium polarity phases the most suitable for industrial use.

Keywords: *Guadua angustifolia*; bamboos; chemical composition; plant extracts; chemico-physical properties; uses; industrialization.

Introducción

Guadua angustifolia Kunth es la especie de bambú de mayor importancia ecológica, social, económica, cultural y comercial en Colombia. Si bien se considera uno de los recursos forestales más valiosos del país, a pesar de los esfuerzos de conservación e investigación que se han realizado, la especie sigue siendo asociada, básicamente, a la construcción de viviendas para la población rural pobre y la artesanía (Londoño et ál. 2002). Puesto que sólo en el eje cafetero el bambú cubre el 2,7% del territorio colombiano (26.986 ha), es de vital importancia que Colombia se apropie de la investigación y el desarrollo científico de esta especie nativa (Moreno 2003).

La composición química del tallo de bambú es similar a la de la

madera dura, excepto en lo referente a los extractos alcalinos. La composición química de esta parte de la planta es en su mayoría celulosa, hemicelulosa y lignina y en menor proporción resina, taninos, ceras y sales inorgánicas. Entre el 50-70% es holocelulosa, 30% pentosa y 20-25% lignina (Hidalgo 2003). Esta composición varía con las especies, condiciones de crecimiento, edad, parte del tallo y época del año. Por ejemplo, los nudos contienen menos extractos solubles en agua, pentosas y lignina, pero más celulosa que los entrenudos; el contenido de sílice es alto en la epidermis, muy bajo en los nudos y ausente en los entrenudos (Seethalakshimi y Muktesh 1998). La presencia de silicatos (en forma de dióxido de silicio o SiO₂) se evidencia en el contenido de

cenizas (Liese y Kumar 2003). Las propiedades químicas de la planta varían significativamente entre el nudo y el entrenudo, la posición a lo largo del culmo y la posición del entrenudo muestreado. Una investigación sobre las propiedades químicas del bambú *Dendrocalamus asper* (Prasetya 1995), a partir de una extracción acuosa, mostró un contenido de carbohidratos solubles tales como monosacáridos, disacáridos y hemicelulosa soluble.

Materiales y métodos

La presente investigación forma parte de un esfuerzo conjunto entre la Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales y la Universidad Politécnica de Madrid, dentro del Convenio marco de colaboración académica, científ-

fica y cultural con Latinoamérica. Con este estudio se busca explorar el potencial de uso de los extractos de la *Guadua angustifolia* Kunth mediante un proceso experimental, que permita proponer nuevas aplicaciones industriales de la especie. Esta investigación fue de tipo exploratorio y descriptivo (Hernández et ál. 1995), dado que el tema ha sido poco estudiado. A pesar de que el estudio se enfoca en las ramas, la experimentación se realizó con cepas, basas y sobrebasas, pues el culmo concentra la mayor cantidad de biomasa, lo que finalmente podrá ser un buen indicador del contenido de compuestos químicos en las ramas. Para la recolección de muestras se aplicó un diseño experimental factorial completamente aleatorio, diferenciando entre individuos maduros y sobremaduros, tramos del tallo (cepa, basa y sobrebasa) (Fig. 1) y ubicación de la muestra en

el tramo (nudo, entrenudo y diafragma), como se observa en la Fig. 2.

En total se colectaron 54 muestras que fueron codificadas con un número y sus características particulares. En primer lugar, se cortaron los individuos en tramos de dos metros para sacarlos del guadual, después se cortó la parte a ser utilizada, la cual se llevó al laboratorio para ser molida y tamizada. El potencial de aprovechamiento de los extractos se evaluó mediante la construcción de una matriz que permitió identificar la parte con mayor potencial de aprovechamiento y el solvente más apropiado para obtener los mejores rendimientos.

Material vegetal. Para la selección y corte del material vegetal se tuvieron en cuenta tres factores: edad, parte del tramo y ubicación de la muestra en el tramo. La distribución de las 54 muestras seleccionadas fue la siguiente:

Características	Muestras
madura – cepa – nudo	3
madura – cepa – entrenudo	3
madura – cepa – diafragma	3
madura – basa – nudo	3
madura – basa – entrenudo	3
madura – basa – diafragma	3
madura – sobrebasa – nudo	3
madura – sobrebasa – entrenudo	3
madura – sobrebasa – diafragma	3
sobremadura – cepa - nudo	3
sobremadura – cepa – entrenudo	3
sobremadura – cepa - diafragma	3
sobremadura – basa - nudo	3
sobremadura – basa - entrenudo	3
sobremadura – basa - diafragma	3
sobremadura – sobrebasa - nudo	3
sobremadura – sobrebasa - entrenudo	3
sobremadura – sobrebasa - diafragma	3

Reactivos. En la extracción de muestras se varió la polaridad de los disolventes, siguiendo el índice de polaridad de los solventes para luego llevar a cabo el análisis químico mediante la técnica de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas. La polaridad se fue aumentando en cada jornada de experimentación en este orden n-hexano, solución 1:1 de hexano: acetona, acetato de etilo y solución 1:1 de metanol:agua.

Índice de polaridad	Solvente
0,0	N-hexano
4,3	Acetato de etilo
5,4	Acetona
6,6	Metanol
9,0	Agua

Equipos. Se utilizaron evaporadores rotatorios (marca Büchi B-490), bomba de vacío (marca Büchi Vac V - 500), ultrasonido (marca Fisher Scientific F S60H), balanza analítica (marca Ohaus analytical plus con cinco cifras decimales), un molino de cuchillas (MF 10 basic Ika Werke), un cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas (marca Shimadzu) y un HPLC 2000 plus (marca Jasco, equipado con una bomba de gradiente cuater-

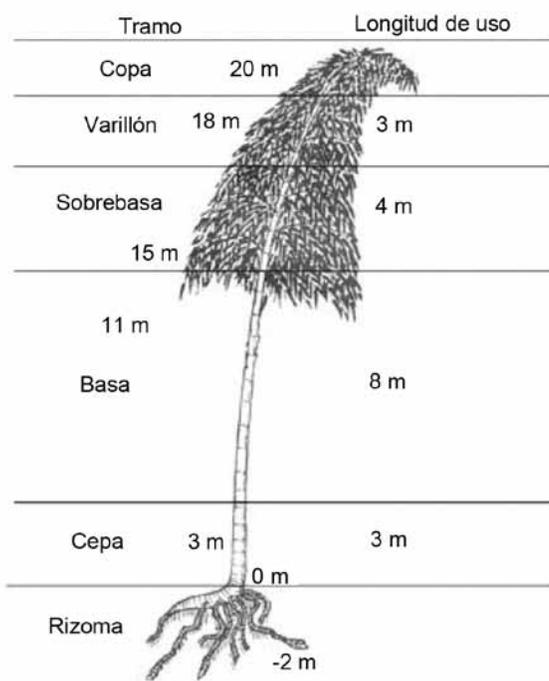


Figura 1. Tramos en que se divide una guadua (González et ál. 2006)

nario PU-2089 Plus, un automuestreador inteligente AS-2059 Plus, un horno para columna CO-2065 Plus, un detector inteligente de arreglo de diodos MD-2015 Plus, y un LC Net II/ADC, controlado por el Software EZChrom Elite. Todos los equipos pertenecen al Laboratorio de Calidad de Productos Naturales de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Proceso de extracción. Del material molido, se tomaron muestras por duplicado de 3 a 5 gramos para ser sometidas a una extracción sólido-líquido con tres volúmenes de 20 ml de solvente. Las muestras fueron llevadas a ultrasonido en tres periodos de 20 minutos cada uno. El homogenizado que se obtuvo después de este procedimiento se filtró y concentró al vacío en un rotavaporador a 40°C y a 95 rpm hasta llevarlo a sequedad total para separar el extracto de la planta del solvente.

El extracto fue redissuelto en 5 ml del mismo solvente en el que fue extraído con el fin de inyectarlo en el cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas, para el caso de los extractos con polaridad media y apolar. Para la fase polar, se aplicó un proceso de centrifugación que elimina los pequeños sólidos que se formaron durante la separación del solvente; posteriormente se inyectó 1 ml de muestra en el HPLC.

Criterios de evaluación seleccionados. Con este estudio se evaluó el potencial de uso de cada una de las partes del tramo para proponer una nueva alternativa productiva que permita desarrollar procesos productivos a partir de los extractos vegetales de *G. angustifolia*. Para ello se tomaron en cuenta los siguientes criterios referidos a los resultados de tipo cuantitativo, cualitativo y factibilidad de uso.

Rendimiento: es la cantidad en masa del extracto que se puede obtener con un solvente determinado. En este caso, para cada solvente y cada parte estudiada, se evaluó el porcen-



Figura 2. Sección transversal del culmo de *Guadua angustifolia*

taje de rendimiento obtenido en la fase experimental. La calificación fue la siguiente:

- 3 = Parte del culmo con el mayor porcentaje de rendimiento
- 2 = Parte del culmo con un porcentaje de rendimiento intermedio
- 1 = Parte del culmo con el menor porcentaje de rendimiento

Componentes encontrados: se midió el número de componentes encontrados en cada extracción. Se otorgó 1 punto al menor número de componentes encontrados y 3 al mayor número de componentes.

Aplicabilidad industrial: este criterio se refiere al reconocimiento e identificación de cada componente químico en diferentes sectores industriales.

- 3 = Compuesto químico con alta aplicabilidad industrial
- 2 = Compuesto químico con buena aplicabilidad industrial
- 1 = Compuesto químico con baja aplicabilidad industrial

Disponibilidad de biomasa: es necesario determinar la cantidad de material aprovechable en las ramas de la planta, pues la morfología y las dimensiones de cada parte (entrenudo, nudo y diafragma) presentan variaciones significativas. De esta forma se considera que:

- 3 = alto contenido de biomasa
- 2 = bajo contenido de biomasa
- 1 = inexistencia de biomasa

Finalmente, a partir de los componentes químicos encontrados, se definieron los siguientes rangos que permitieron determinar si la biomasa que queda en el guadual después de la cosecha es apta para aplicaciones industriales:

1 - 4= baja viabilidad de la parte de la planta para explotarla industrialmente como extracto vegetal.

5 - 8= es posible utilizar los componentes químicos de la parte de la planta, teniendo en cuenta el tipo de solvente a utilizar.

≥ 9= alto potencial y viabilidad de la parte de la planta para aprovechar sus extractos vegetales, obtener el mayor rendimiento posible según la fase de polaridad óptima y el compuesto más aplicable a nivel industrial.

Para totalizar los resultados se realizó la sumatoria de las filas que corresponden a la parte de la planta estudiada y al nivel de polaridad en que variaron los solventes utilizados. Para una mejor comprensión y visibilidad de los resultados se utilizaron los colores característicos de un semáforo: verde para el mayor potencial de aprovechamiento, amarillo para un posible uso, según las

condiciones del procedimiento de extracción y rojo para el menor potencial de aprovechamiento.

Resultados

Las extracciones se realizaron con n-hexano como solvente no polar, solución 1:1 de hexano:acetona y acetato de etilo como solventes con polaridad media y solución 1:1 de metanol:agua como solvente polar. Los datos cuantitativos obtenidos se referenciaron a un porcentaje de rendimiento que indica la cantidad en masa del extracto que se puede obtener con un solvente determinado (Ecuación 1). Además, se obtuvieron resultados cualitativos gra-

cias al reconocimiento de los componentes químicos contenidos en cada parte de la planta.

Ecuación 1. Rendimiento del extracto (%)

$$\left(\frac{\text{Peso del Extracto}}{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso del Extracto}} \right) 100$$

Solventes no polares

El rendimiento del extracto en esta fase fue mayor en el entrenudo (Fig. 3); el registro más alto fue de 1,2919%, seguido por el diafragma (0,8482%). En las cromatografías realizadas se observó un solo pico que indica la presencia de un solo

compuesto mayoritario, el cual fue identificado como tetraetil silicato en la base de datos del *software* GCM Solutions utilizada por el cromatógrafo de gases acoplado a masas. Este compuesto es utilizado como anticorrosivo en la industria de revestimientos de piedra y cemento, como secador de piezas arqueológicas y además se emplea en pinturas y lacas; a nivel farmacéutico se usa en la línea de cosméticos (Morales y Sánchez 2008).

Solventes con polaridad media

Al igual que en el caso anterior, los resultados cuantitativos muestran un orden de rendimiento descendente de entrenudo, diafragma y nudo; el primero con 4,0439% y el segundo con 2,1967% (Fig. 4). Con respecto a los resultados cualitativos obtenidos con la extracción en hexano:acetona, se evidenció un solo compuesto mayoritario identificado como 2-pentanona, 4-hidroxi-4-metil. Este compuesto es comúnmente utilizado como solvente de diversas sustancias; por ejemplo, para la conservación de fármacos, en soluciones anticongelantes para fluidos hidráulicos, y en la preparación de óxido de mesitilo, metilisobutilcetona y hexilenglicol. Además se registró un uso ilícito, dado que sirve como solvente para la producción de acetona (CICAD 1990).

Con el segundo solvente de polaridad media utilizado en las extracciones de las muestras (acetato de etilo), los resultados de tipo cuantitativo sugieren que el rendimiento del extracto fue mayor en el entrenudo seguido por el diafragma. De nuevo, los porcentajes más bajos se registraron en el nudo (Fig. 5). Sin embargo, en comparación con los resultados obtenidos con los solventes anteriormente discutidos, se nota una menor diferencia en cuanto a rendimiento entre las partes, pues el diafragma presentó un rendimiento de 5,4524% y el entrenudo de 5,7448%.

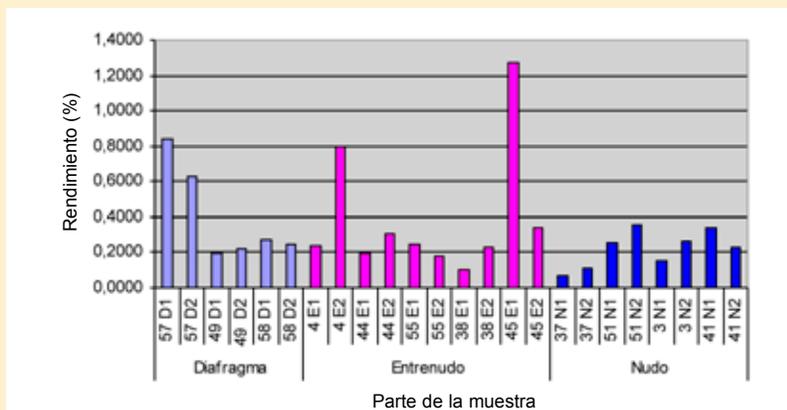


Figura 3. Rendimiento de los extractos en hexano según parte del tramo

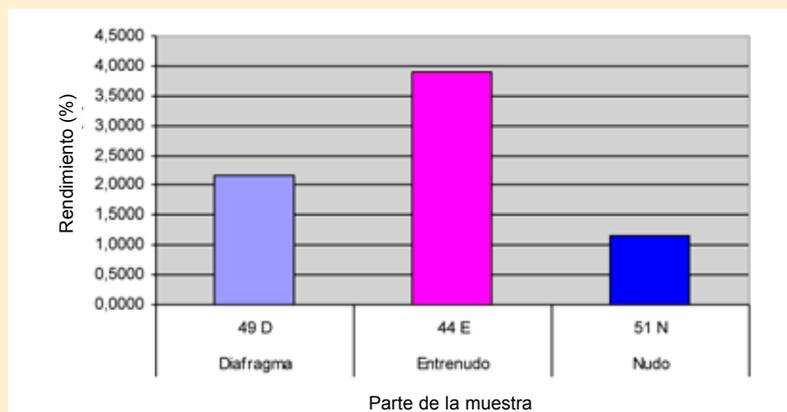


Figura 4. Rendimiento de los extractos en hexano:acetona según parte del tramo

En los resultados cualitativos, nuevamente se observó un solo compuesto identificado como etanol, 2,2'-oxibis, el cual es conocido por su nombre químico como "dietilenglicol". Este compuesto se utiliza principalmente como anticongelante y en algunas ocasiones como espesante sustituto de la glicerina en la síntesis de resinas alcídicas y de poliéster saturado e insaturado. Entre sus usos están la elaboración de muebles de baño, bases de cocina, sillas de concreto, losetas, autopartes, tuberías y tanques de almacenamiento. También funciona como agente humectante y plastificante en la industria de celofán, colas y adhesivos, textiles, tintas de impresión, cuero, cosméticos, papel y productos farmacéuticos; puede ser utilizado como aditivo auxiliar en la molienda del cemento (QuimiNet.com 2000).

Solventes polares

Para el análisis de las muestras extraídas con metanol:agua (1:1) se utilizó la técnica HPLC. Los resultados de tipo cuantitativo denotan una disminución del rendimiento del extracto en el entrenudo, el cual registró los mayores porcentajes de rendimiento en los demás análisis. Con el disolvente polar, el entrenudo obtuvo un valor de rendimiento de 1,3927% seguido por el nudo con 2,3505% y el diafragma con el mayor valor de 4,4232% (Fig. 6).

En los cromatogramas realizados en esta fase se intuyó la presencia de compuestos de tipo flavonoide (parte de la familia de los polifenoles), dado que su espectro de absorción se caracteriza por presentar bandas separadas a longitudes de onda largas (Botanical Online. 2008), las cuales se observaron en el cromatograma realizado a 300nm de longitud de onda.

Potencial de uso de los extractos

Los sectores industriales de cosmética, química y automotriz son los que podrían aprovechar mejor los componentes encontrados, seguido

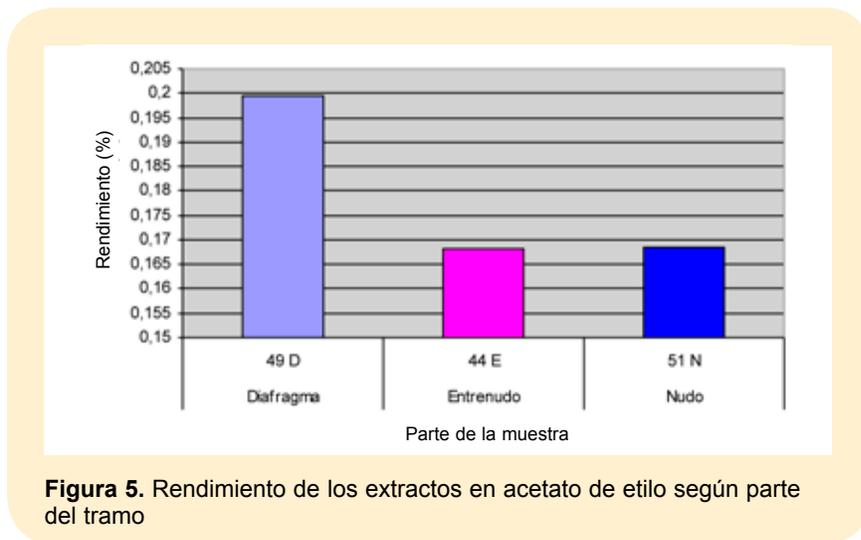


Figura 5. Rendimiento de los extractos en acetato de etilo según parte del tramo

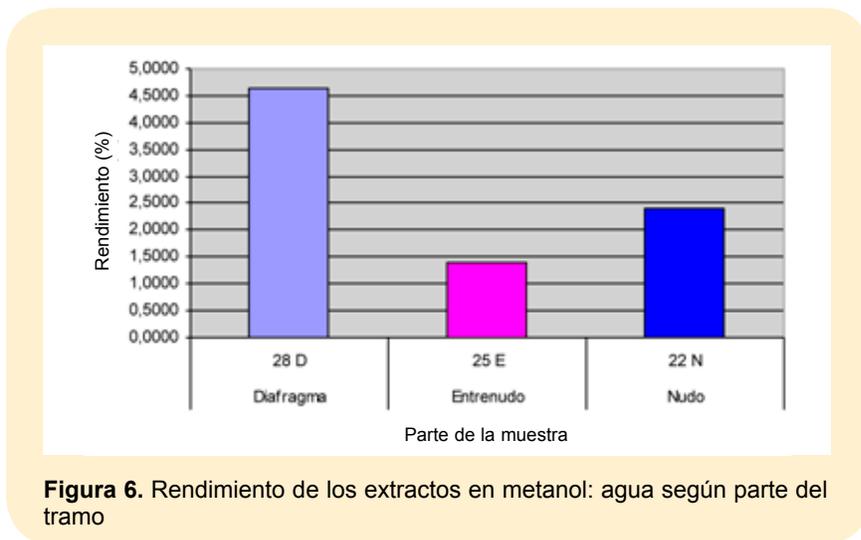


Figura 6. Rendimiento de los extractos en metanol: agua según parte del tramo

por el sector farmacéutico (Cuadro 1). Hay que hacer notar, sin embargo, que para algunos componentes no se encontraron usos potenciales. Los entrenudos analizados en la fase apolar y de polaridad media presentaron los puntajes más altos (Cuadro 2); esto quiere decir que esta sección del culmo es la parte de la planta más apta para el aprovechamiento industrial de sus componentes químicos. Además, es la sección que más cobertura tiene en las ramas, lo que permitiría una extracción más eficiente en comparación con las otras dos partes estudiadas.

En las fases apolar y de polaridad media solo se encontró un

componente químico, en tanto que en la fase polar no fue posible determinar un número de componentes en la extracción debido al equipo utilizado (Cuadro 2). Los colores empleados en este mismo cuadro muestran el nivel de posibilidad de uso de los componentes; por ejemplo, los nudos en la fase polar ofrecen una baja posibilidad de aprovechamiento como extractos vegetales (color rojo). Los resalta-dos con color amarillo indican que no se descarta totalmente la posible utilización de los componentes químicos y los resalta-dos en color verde serían los más aptos para su utilización industrial.

Cuadro 1. Propuestas de uso para los compuestos químicos encontrados en *Guadua angustifolia*

Compuesto químico	Propuestas de aplicación	Sector de aplicación	Aplicabilidad industrial	
Tetraetil silicato	Revestimiento	Construcción	1	
	Anticorrosivo	Arqueología	1	
	Secador			
Diacetona alcohol	Antioxidante, antirradical	Cosmética	3	
	Solvente de sustancias	Química	3	
	Conservante	Farmacéutico	2	
	Anticongelante	Automotriz	3	
	Barniz, capa aislante	Eléctrico	1	
Dietilenglicol	Componente Intermedio	Química	3	
	Anticongelante	Automotriz	3	
	Espesante sustitutivo	Química	3	
	Humectante Plastificante Solvente	Celofán		1
		Adhesivos		
		Textil		
		Tintas		
	Aditivo auxiliar	Farmacéutico		2
		Cuero		1
		Cosmética		3
Papelero			1	
Cementerio			1	
Resina de poliéster	Solvente secundario	Automotriz	3	
		Construcción de muebles Autopartes Tuberías Tanques	1	
Flavonoides1*	Antioxidante, antirradical, proliferación de células	Cosmética	3	

* Los flavonoides son un grupo de compuestos químicos (Botanical Online 2008).

Conclusiones

Tres tipos de compuestos identificados en los ensayos con solventes no polares y con polaridad media mostraron alta aplicabilidad a nivel de la industria cosmética, farmacéutica, automotriz y química fina. Estos fueron el dietilenglicol (el de mayor aplicabilidad), seguido por tetraetil silicato y diacetona alcohol.

La parte del tramo más apta para ser aprovechada industrialmente –según el contenido de componentes químicos presentes en su estructura física– es el entrenudo en la fase polar y de polaridad media.

Cuadro 2. Potencial de uso de las secciones evaluadas en culmos de *Guadua angustifolia*

Nivel de polaridad Partes del culmo	Criterios de evaluación	Rendimiento	Componentes encontrados	Aplicabilidad industrial	Disponibilidad de biomasa	Total
Apolar	E	3	1	2	3	9
	N	1	1	2	2	6
	D	2	1	2	1	6
Polaridad Media	E	3	1	3	3	10
	N	1	1	3	2	7
	D	2	1	3	1	7
Polar	E	2		1	3	6
	N	1	N.A.	1	2	4
	D	3		1	1	5

E = entrenudo; N = nudo; D = diafragma

Literatura citada

- Botanical Online. 2008. Características de los flavonoides. Disponible en <http://www.botanical-online.com/medicinalesflavonoides.htm>
- CICAD (Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas). 1990. Químicos utilizados en la producción ilícita de drogas. OEA. Disponible en http://www.cicad.oas.org/Main/Default_SPA.asp
- González, HA. Montoya, JA. Bedoya, JR. 2006. Esfuerzo de tensión y la influencia de la humedad relativa del ambiente y la altura a lo largo del tramo en la especie de bambú *Guadua angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica* Universidad Tecnológica de Pereira 12 (32): 445-450.
- Hernández, SR; Fernández, CC; Pilar, BL. 1995. Metodología de la investigación. México, McGraw-Hill. 501 p.
- Hidalgo, LO. 2003. Bamboo: the gift of gods. Bogotá, Colombia, D'VINNI LTDA. p. 98-106.
- Liese, W; Kumar, S. 2003. Bamboo preservation compendium. New Delhi, India, The Centre for Indian Bamboo Resource and Technology – CIBART. Technical report.
- Londoño, X; Camayo, GC; Riaño, NM; López, Y. 2002. Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. *Bamboo Science and Culture: The journal of the American Bamboo Society* 16(1):18-31.
- Morales, NN; Sánchez, LJV. 2008. Contribución al estudio fito-químico de las hojas de *Guadua angustifolia* Kunth. Armenia, Colombia, Universidad del Quindío.
- Moreno, RD. 2003. Proyecto Manejo Sostenible de Bosques en Colombia: Área Piloto Eje Cafetero-Tolima-Valle del Cauca. Pereira, Colombia, CARDER.
- Prasetya, B. 1995. Chemical properties of node and internode along the culm height of *Dendrocalamus asper*. *Bamboo, People and the Environment* Vol. 3: Engineering Utilization. Puspipetek, Serpong, Indonesia.
- QuimiNet.COM. 2000. Origen, tipos y aplicaciones de los etilenglicoles. Disponible en [http://quiminet.com.mx/pr5/Monoetilenglicol%20Band%20Dietilenglicol%20\(%20BMEG%20%20BDEG\).htm](http://quiminet.com.mx/pr5/Monoetilenglicol%20Band%20Dietilenglicol%20(%20BMEG%20%20BDEG).htm)
- Seethalaskshimi, K; Muktesh, MS. 1998. Bamboos of India: a Compendium. New Delhi, India, Kerala Forest Research Institute, International Network for Bamboo and Rattan. Technical Report N°17, p. 11-13.