

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DEL BAMBÚ

CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERIZATION OF BAMBOO

Mary F. Césare¹, Fatima Hilario², Natalie Callupe², Lena Cruz³, José L. Calle³,
Héctor E. Gonzales¹

- (1) Universidad Nacional Agraria La Molina, Circulo de Investigación del Bambú. Av. La Molina S/N, Lima - Perú
(2) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. Av. Universitaria, Tingo María - Perú
(3) Universidad Nacional Agraria La Molina, Laboratorio de Energías Renovables. Av. La Molina S/N, Lima - Perú
(email: mcesare@lamolina.edu.pe)

Recibido: 25/03/2019 - Evaluado: 16/06/2019 - Aceptado: 24/09/2019

RESUMEN

Se realizó la caracterización física y química del bambú, *Gaudua angustifolia* Kunth, basándose en métodos estandarizados (TAPPI-T 222, TAPPIT-212 y A.O.A.C.), para determinar tanto el contenido lignocelulósico como el contenido de fibra; así mismo, se realizó un análisis elemental (ASTM D4239), análisis proximal (ASTM D7582), análisis del contenido energético (ASTM D5865-13), así como sus propiedades físicas. Los resultados indicaron que el bambú presentó altos valores de compuestos lignocelulósicos, encontrándose que la celulosa está en mayor proporción; seguido por la lignina. Así mismo, se determinó que sus propiedades físicas y químicas, están directamente relacionados entre sí, como bajas densidades y alta porosidad se relacionan directamente con alto contenido de compuestos volátiles (76.4%) propios de maderas blandas, cuyo contenido energético es bajo. Concluyéndose de esta manera, que el bambú *Guadua angustifolia*, por su gran contenido de celulosa (43.35%), puede ser destinado para la producción de etanol celulósico o fibras de papel y rayón.

ABSTRACT

The physical and chemical characterization of bamboo, *Gaudua angustifolia* Kunth, was carried out based on standardized methods (TAPPI-T 222, TAPPIT-212 and A.O.A.C.) to determine both lignocellulosic content and fiber content; likewise, an elementary analysis (ASTM D4239), proximal analysis (ASTM D7582), energy content analysis (ASTM D5865-13,) as well as its physical properties were performed. The results indicated that bamboo had high values of lignocellulosic compounds, finding that cellulose is in greater proportion; followed by lignin. Likewise, it was determined that their physical and chemical properties are directly related to each other, as low densities and high porosity are directly related to high content of volatile (76.4%) softwoods, whose energy content is low. Concluding this way, *Guadua angustifolia* bamboo, due to its high cellulose content (43.35%), can be used for the production of cellulosic ethanol or paper and rayon fibers.

Palabras clave: análisis proximal, análisis elemental, análisis físicos, contenido lignocelulósico
Keywords: proximal análisis, elementary análisis, physical analysis, lignocellulosic content

INTRODUCCIÓN

El bambú es una gramínea leñosa distribuida ampliamente a nivel mundial (Maya *et al.*, 2017), por lo que no es una excepción encontrar la variedad *Guadua angustifolia* Kunth en la zona de Limoncito, distrito de la Florida Cajamarca, en la región San Martín, Perú. Sin embargo, estas gramíneas son utilizadas para cercos o construcciones turísticas, rurales y vendidas como varillas de diferentes calidades sin ningún tipo de tratamiento, por lo que no se genera mayores ingresos a la población circundante, así mismo su aprovechamiento es de solo 30 por ciento según lo indicado por Lazaro *et al.* (2016). La gran cantidad de material de descarte generado con alto contenido de celulosa se puede aprovechar en la producción de papel (González *et al.*, 2016) y valorizarse según la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.L. 1278, 2018). Por lo expuesto es importante la caracterización química de estos materiales lignocelulósicos para su mejor aprovechamiento en la elaboración de productos de mayor valor agregado como son: las tablillas de bambú, material composite para la elaboración de paneles; fibra de bambú como refuerzo de matrices poliméricas; así como para su uso energético en la producción de etanol celulósico; en la producción de carbón activado, para la purificación de aguas o gases y para producir biochar, cuyas características básicas son apropiadas para usos agrícolas, lo cual generaría una economía circular en la zona.

Cabe recalcar que las fibras de bambú presentan ventajas en comparación con las fibras sintéticas, como ser de alta resistencia y bajo peso, siendo estas características las que hacen a esta materia prima interesante en el reemplazo de estas fibras para el refuerzo de materiales compuestos (Estrada *et al.*, 2010); así mismo, (Londoño *et al.*, 2002) indica como ventaja sobre la madera convencional (40 años), el poco tiempo de crecimiento (5 años) para su aprovechamiento. Se debe mencionar también, que los materiales industrializados requieren gran consumo de energía, en este sentido, el bambú como material ecológico puede satisfacer algunos requisitos fundamentales para el futuro de la humanidad, tales como el de disminuir el consumo de energía y recursos naturales, reducir la contaminación y mantener el medio ambiente saludable (Ghavami & Marinho, 2005).

El bambú, es una gramínea de rápido crecimiento, la cual presenta mayor relación entre resistencia y peso a diferencia del acero y el concreto, estas propiedades mecánicas únicas provienen de la estructura compuesta de forma natural de sus fibras, las cuales consisten principalmente en microfibrillas de celulosa en una matriz de hemicelulosa y lignina entrelazadas, llamada complejo lignina-carbohidrato (LCC), según lo indicado por Youssefian y Rahbar (2015). En la Figura 1 se muestra la posible disposición de la biomasa lignocelulósica.

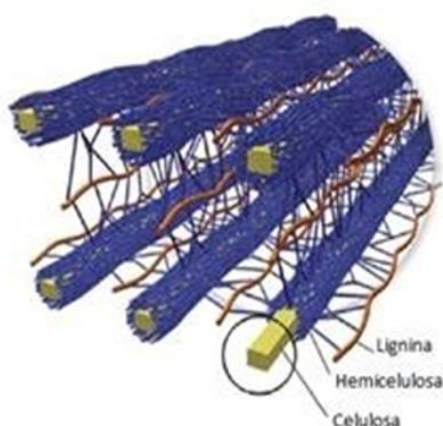


Fig. 1: Posible ordenamiento espacial de la composición lignocelulósicos
(Fuente: Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. Doherty *et al.*, 2011).

La celulosa es un homopolisacárido formado por D-glucosa unidas por enlaces glicosídicos (Venkateshwaran *et al.*, 2012) como se muestra en la Figura 2. Se debe recalcar que la celulosa presenta grupos hidroxilos los cuales forman puentes de hidrogeno, que le confiere una estructura fibrilar difícil de ser atacado por disolventes o reactivos, sin embargo, las regiones amorfas de microfibrillas de celulosa son las interfaces más débiles en las fibrillas del bambú, siendo estas las que determinan la resistencia (Youssefian & Rahbar, 2015). El bambú *Guadua angustifolia* Kunth presenta fibras constituidas de microfibrillas cristalinas de celulosa (Cuellar & Muñoz, 2010).

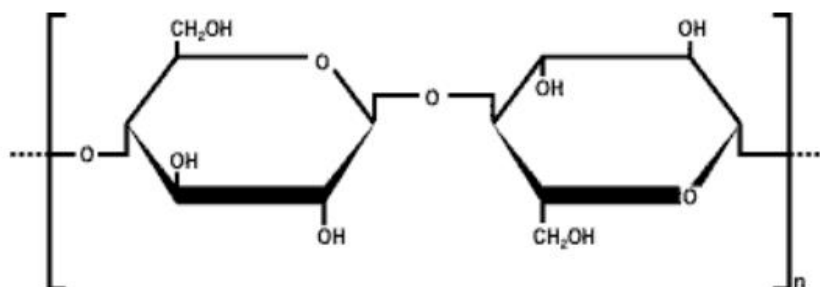


Fig. 2: Estructura de la celulosa.
(Fuente: Gel de carboximetilcelulosa (CMC) a partir del bagazo de piña. Antonio *et al.*, 2014)

La hemicelulosa es una estructura amorfa formada por heteropolisacárido, el cual es conformado por diferentes monosacáridos como pentosas, hexosas y ácidos uránicos, los cuales se encuentran unidos por enlaces glicosídicos (Álvarez *et al.*, 2013).

La biomasa lignocelulósica está constituida por tres componentes principales que son celulosa, hemicelulosa y lignina, así como otros componentes minoritarios como aceites, resinas, taninos, azúcares, gomas, colorantes y almidones.

En el caso de la lignina, esta es una macromolécula fenólica natural presente principalmente en la pared celular secundaria de la planta, está conformada por copolímeros derivados principalmente de tres unidades fenilpropílicos-monoméricas (monolignoles) básicas: alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico (Youssefian & Rahbar, 2015). Este compuesto es muy importante ya que conecta la celulosa y la hemicelulosa incrementando así las propiedades de rigidez de la pared celular, resistencia mecánica y resistencia al ataque de los microorganismos y biodegradación (Romero-Uscanga *et al.*, 2014). Su alto contenido en el bambú lo hace un material atractivo para diferentes usos como material estructural, así como para su aprovechamiento energético por sus propiedades similares a combustibles sólidos como el carbón mineral (Ramos *et al.*, 2015).

Este trabajo se centró en realizar el análisis físico químico (elemental, termo gravimétrico, energético y lignocelulósico) del bambú *Guadua angustifolia* Kunth. Donde se determinó, en base a 3 repeticiones para cada caso, el porcentaje de aceites y grasas según (ASTM D1105-07), en extractor Soxhlet con etanol QP como solvente; posteriormente con este residuo obtenido se realizó el análisis de fibra (A.O.A.C., 1997), lignina y celulosa, según TAPPI –T 222 (2006) y TAPPI-212 (1978), respectivamente. Por último, se determinó tanto el contenido de holocelulosa (Método Jayme - Wise) y las propiedades físicas del bambú, como son densidad aparente, densidad real, porosidad y pH.

PARTE EXPERIMENTAL

Esta investigación se realizó en los laboratorios de Suelos de la Facultad de Agronomía, laboratorio de Energías Renovables del Departamento de Ingeniería Agrícola, laboratorio del Departamento de Ciencias Forestales y del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Localización de la muestra

Los residuos lignocelulósicos de la especie de bambú *Guadua angustifolia* K., de cinco años aproximadamente, fueron recolectados de la zona de El Limoncito, distrito de La Florida, Cajamarca, Perú.

Acondicionamiento de la muestra

La biomasa fue secada en estufa a 105°C por 24 horas aproximadamente y puesta a enfriar en un desecador de vidrio. Seguidamente esta muestra fue pasada por un molino de cuchillas GRINDOMIX GM 300 de la marca Retsch, para luego ser tamizada, con los tamices N° 20, 40 y 60. Cabe indicar que se realizaron 3 repeticiones para cada análisis indicado en este estudio, así mismo se presentaron los valores de desviación estándar, así como el coeficiente de variación en cada Tabla, con la finalidad de conocer el grado de dispersión de los resultados.

Análisis químico elemental

El análisis elemental (C, H, O, N) se realizó siguiendo la metodología propuesta (ASTM D 5373 - 16), tal como lo indica el manual del equipo Instrument CHN628. Este análisis se realizó con la muestra seca, previamente acondicionada.

Análisis Termo gravimétrico – TGA (Proximal)

El análisis proximal (% H, %MV, %Ceniza) se realizó con el equipo LECO TGA701, el cual emplea la metodología (ASTM D7582 - 15), establecido en el manual del equipo TGA Q600; este análisis se realizó en base húmeda, muestra sin tratamiento previo, usándose una termobalanza TA INSTRUMENT TGA Q600.

Análisis de poder calórico – TGA (Calorímetro)

Se usó un calorímetro LECO AC600, llevando a cabo una combustión en atmósfera de oxígeno seco, usando 0.4 g de masa de muestra sólida en base seca. El cálculo del poder calórico se realizó de acuerdo con la norma (ASTM D5865 - 07), la cual es indicada en el manual del equipo LECO AC600.

Caracterización química lignocelulósico

La caracterización lignocelulósica del bambú *Guadua angustifolia*, estuvo constituida por la determinación de la lignina y la celulosa mediante los métodos Klason TAPPI T- 222 (TAPPI, 2006) y TAPPI T- 212 (TAPPI, 1978), mientras que la hemicelulosa fue obtenida por la diferencia de cantidades en porcentaje de holocelulosa (Método Jayme – Wise) y celulosa respectivamente. El esquema de la Figura 3 muestra el procedimiento realizado.

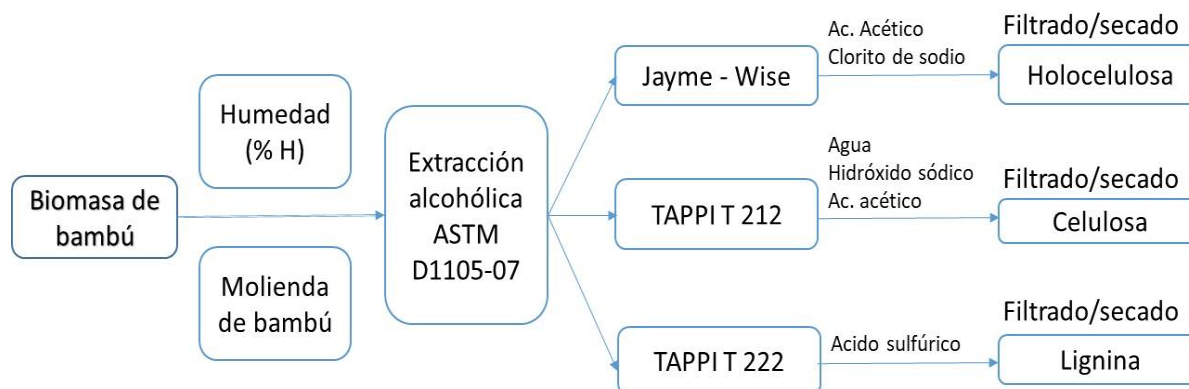


Fig. 3: Esquema del análisis lignocelulósico
(Fuente: Elaboración a partir de Álvarez *et al.*, 2013)

Extracción con solvente

La determinación del porcentaje de extraíbles con solvente orgánico se llevó a cabo según (ASTM D1105-07). Se colocó la muestra seca envuelta en papel filtro dentro de la cámara de extracción del equipo Soxhlet, adicionando 150 ml de etanol dentro del balón y recirculando el alcohol por un espacio de 3 horas, a continuación, se secó el cartucho a temperatura ambiente, con la finalidad de que el etanol sobrante en la muestra fuera evaporado, colocándolo posteriormente en un desecador.

Determinación de Lignina por el método Klason

Se usó el método de hidrólisis ácida cuantitativa (TAPPI T-222, 2006). El cual consistió en dos etapas, en la primera se adicionó 15 ml ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 72% sobre un gramo de la muestra sólida libre de extraíbles, seguidamente se agitó por espacio de dos horas, hasta observar el cambio de color de la muestra a un tono oscuro, en esta etapa se hidroliza los polisacáridos en oligosacáridos. En la segunda etapa, se adicionó una solución al 4% (v/v) de ácido sulfúrico y se dejó en ebullición por 4 horas. Se esperó hasta que la muestra se asentara para decantar y filtrar. Una vez filtrada la muestra se llevó a estufa a $105 \pm 3^\circ C$ durante 24 horas y se procedió a pesar, en esta etapa se rompen los oligosacáridos en monosacáridos.

Determinación de celulosa

Se realizó, siguiendo la metodología (TAPPI T-212, 1978). Se tomó un 1g de muestra libre de extraíbles sobre la cual se adicionó 10 ml de NaOH al 17.5%, se agitó y se dejó reposar por 5 minutos, seguidamente se adicionó 5 ml de NaOH al 17.5% para después agitar y dejar reposar por 30 minutos usando un baño María a $25^\circ C$. Luego se adicionó 30 ml de agua destilada agitando la muestra para luego dejarlo reposar por 1 hora. En seguida se filtró al vacío con papel filtro Whatman 4 previamente tarado, para luego ser lavado con una solución preparada de 30 ml de agua destilada y 25 ml de la solución de NaOH al 17.5 %. Un segundo lavado fue realizado con 30 ml de agua destilada y 15 ml de una solución al 10% de ácido acético, para después de 3 minutos filtrar al vacío y enjuagar con 50 ml de agua destilada. Finalmente se secó la muestra en estufa a una temperatura de $80 \pm 5^\circ C$ hasta peso constante.

Determinación de Holocelulosa

Esta se determinó siguiendo la metodología (Método Jayme - Wise). En el que se acidificó el medio con ácido acético obteniéndose dióxido sódico, para solubilizar y degradar la lignina clarificando la muestra. Después, se tomó 1 g de la muestra libre de extraíbles, colocándolo en un matraz Erlenmeyer, el cual se puso a baño María a $85^\circ C$ de temperatura, una vez alcanzada esta temperatura se adicionó 1.5 gr. de clorito sódico, más 10 gotas de ácido acético glacial, seguidamente se tapó y se dejó reposar por 1 hora. Este procedimiento se realizó hasta que la muestra se observe blanca, para después ser filtrada y lavada con agua destilada. Finalmente, la muestra se secó en estufa y se pesó en balanza analítica.

Determinación de la densidad aparente y densidad real

La determinación de la densidad aparente fue realizada por el teorema de Arquímedes, el cual consiste en sumergir el material irregular pesado previamente en un volumen de agua conocido y por desplazamiento del agua se obtiene un nuevo volumen el cual será restado para obtener el volumen del material, este método es uno de los más prácticos y exactos, así como el más utilizado para calcular la densidad de material leñoso de formas irregulares, se calcula la densidad mediante la siguiente ecuación:

$$D_a = [m/(V_f - V_i)] \quad (1)$$

Dónde:

Da = Densidad aparente (g/cm³)

m = masa de la muestra (g)

Vf = Volumen final

Vi = volumen inicial

Determinar la densidad real, según la norma (ASTM D3800 - 1990), requiere emplear el valor del contenido de cenizas (materia seca), para el cálculo emplear la siguiente fórmula:

$$Dr = [397,5/(265 - 1.15C)] \quad (2)$$

Dónde:

Dr = Densidad relativa (g/cm³)

C = Cenizas (%)

Determinación de la porosidad

Para determinar la porosidad se siguió la metodología de análisis físico de bambú, según (Rodríguez, 2010), para lo cual se debe contar con el valor de densidad aparente y real. El cálculo del espacio poroso total (EP, también conocida como porosidad total), se realizó mediante la ecuación:

$$EP = [1 - (Da/Dr)] \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

Dónde:

Da = Densidad aparente de la muestra (g cm⁻³).

Dr = Densidad real de la muestra (g cm⁻³).

Determinación de la fibra cruda

Para la determinación de la fibra se siguió los procedimientos que se encuentran en la metodología de AOAC 1997 (Lairon *et al.*, 2003), donde todos los métodos indicados son técnicas aprobadas por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC International).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados presentados en las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5, señaladas a continuación, contienen los valores promedios de cada análisis realizado, los cuales fueron obtenidos a partir de 3 repeticiones en cada caso.

Análisis químico elemental

Del análisis químico elemental (Tabla 1), se pudo observar que los contenidos de carbono y azufre son mayores al obtenido por Cuesta (2019), sin embargo los resultados de nitrógeno, hidrógeno y oxígeno del bambú *Guadua angustifolia* fueron inferiores a los de la madera de bambú reportado por el mismo autor. Siendo estos elementos importantes para el uso del bambú como biomasa para producción de energía, ya que según Francescato *et al.*, (2008), el carbono es el componente del biocombustible sólido a través del cual se libera el contenido energético del combustible y el hidrógeno suministra energía adicional al proceso de oxidación que, sumado a la energía producida por el carbono, determina el poder calorífico inferior del combustible. Mientras que el oxígeno solo mantiene el desarrollo del proceso de oxidación, por lo que se infiere que el contenido energético y el poder calorífico del bambú será menor a la madera.

Si se tomara al bambú como biocombustible sólido, el contenido de azufre en las cenizas podría influir ya que este presentaría efectos negativos, como reducir la temperatura en el proceso, limitar la expulsión de gases y al oxidarse formar SO_3 provocando problemas en calderas, finalmente al transformarse en ácido sulfúrico (H_2SO_4) se libera a la atmósfera, según Shankar-Tumuluru *et al.* (2012); por ello al comparar el resultado obtenido con los de Cabrera *et al.* (2013) y Cuesta (2019), se requeriría la disminución del contenido de azufre en la biomasa mediante técnicas como la torrefacción, según Bustamante *et al.* (2016).

Tabla 1: Análisis químico elemental del bambú *Guadua angustifolia* Kunth

Muestra	C (%)	N (%)	H (%)	O (%)	S (%)	Referencia
Bambú <i>Guadua angustifolia</i>	45.71	0.33	5.96	45.76	0.15	Presente estudio
Desviación estándar	0.07	0.01	0.03	0.61	0.001	
Coef. Variación (%)	0.16	2.41	0.43	1.32	0.88	
Madera	46.62	0.20	5,73	32.53	0.08	Cabrera <i>et al.</i> (2013)
Madera de bamboo	30.00	0.60	6.10	54.00	0.12	Cuesta (2019)

FUENTE: Laboratorios de Energías Renovables (LER) UNALM.

Análisis Termo gravimétrico – TGA (Proximal)

Los resultados obtenidos (Tabla 2), muestra que tanto los porcentajes de humedad, material volátil y cenizas, son menores al valor obtenido por (Romero, 2015), pero mayores al obtenido por Cuesta (2019), así mismo (Cabrera *et al.*, 2013) reporta valores cercanos al porcentaje de humedad obtenido y menores valores para el material volátil y cenizas. Con respecto al porcentaje de humedad, se observa, que este se encuentra dentro del intervalo de 10 a 15 % óptimo para usos energéticos (Cuesta, 2019). Así un alto porcentaje de humedad afecta la obtención de energía de la biomasa debido a la combustión incompleta producida, formando hollín y monóxido de carbono, requiriéndose exceso de aire (Sánchez, 2012) y consumo de energía producida de la biomasa para vaporizar el agua (Irias, 2014), obteniendo por consiguiente menor rendimiento (Sánchez, 2012).

Con respecto al material volátil, el resultado obtenido se encuentra dentro del intervalo de (70 – 86) porciento para bambú, sin embargo, el material volátil puede convertirse en alquitranes y reducirse durante la pirolisis (Romero, 2015).

El análisis de ceniza arrojó un valor menor al compararlo con el estudio realizado por (Romero, 2015), pero ligeramente mayor al obtenido por (Cuesta, 2019), quien no indica el tipo de especie de bamboo usado en su estudio, se observa también que (Cabrera *et al.*, 2013) reporta el triple del valor de las cenizas por tratarse de una madera. Romero (2015), indica que las cenizas podrían generar problemas en el gasificador, produciendo taponamientos, ya que ésta compuesta principalmente de sílice, calcio, potasio, manganeso y magnesio. Así un alto contenido de cenizas de la biomasa, nos indica que este material no es apropiado para usos energéticos por su bajo poder calorífico y la formación de incrustaciones en las partes metálicas del horno (Irias, 2014).

Se observa que el porcentaje de carbón fijo obtenido es mucho menor al reportados por Cabrera (2013), Romero (2015) y Cuesta (2019).

Tabla 2: Análisis Termo gravimétrico – TGA (Proximal) del bambú *Guadua angustifolia* Kunth

Muestra	Humedad (%)	Materia volátil (%)	Ceniza (%)	Carbón fijo (%)	Referencia
Bambú <i>Guadua angustifolia</i> K.	11.15	76.36	3.19	9.31	
Desviación estándar	0.007	0.78	0.007	0.76	Presente estudio
Coef. Variación (%)	0.06	1.02	0.22	8.2	
<i>Madera</i>	12.03	70.65	2.82	14.50	Cabrera <i>et. al.</i> (2013)
<i>Guadua angustifolia</i>	15	77.59	3.95	18.4	Romero (2015)
<i>Madera de bamboo</i>	9.37	70.31	2.57	17.75	Cuesta (2019)

FUENTE: Laboratorios de Energías Renovables (LER) UNALM.

Análisis de poder calórico – TGA (Calorímetro)

Para los valores de poder calórico (Tabla 3), el resultado del poder calórico superior (4702.27 Kcal/kg) en base seca es mayor al del poder calórico del material húmedo (3712.54 Kcal/kg), esto se explica, porque el material seco no necesita evaporar el agua, por lo que es importante que el material destinado para su combustión tenga baja humedad para evitar bajos rendimientos. El poder calórico superior obtenido es un poco mayor al reportado por Herguedas y Taranco (2012). Sin embargo, al comparar estos resultados con el contenido energético de una madera, el poder calórico del bambú es bajo, esto se explica por su bajo contenido de carbón y gran cantidad de compuestos volátiles, lo cual es aceptable si se destinara a un proceso de gasificación (Romero, 2015).

Así el poder calórico superior de 4702.27 Kcal/Kg obtenido, se encuentra cercano al del *Eucalyptus* spp., madera leñosa que es empleada como biocombustible sólido (Herguedas & Taranco, 2012).

Tabla 3: Análisis poder calórico del bambú *Guadua angustifolia* Kunth

Bambú	Base seca PCS ¹ (Kcal/Kg)	Base húmeda PCI ² (Kcal/Kg)	Referencia
<i>Guadua angustifolia</i> K.	4702.27	3712.54	
Desviación estándar	34.33	27.11	Presente estudio
Coef. Variación (%)	0.73	0.73	
<i>Eucalyptus</i> spp.	4633.61	-	Herguedas y Taranco (2015)

¹Poder Calórico Superior ²Poder Calórico Inferior

FUENTE: Laboratorios de Energías Renovables (LER) UNALM.

Caracterización química lignocelulósico

La tabla 4 muestra el contenido promedio obtenido de lignina de 24.95 por ciento para culmos maduros de bambú *Guadua angustifolia*, siendo mayor a lo indicado por (Cuellar & Muñoz, 2010) quienes realizaron el análisis a culmos de la misma especie de tres a cinco años provenientes del municipio de Chinchiná (Caldas), Colombia. Se

observa además que los valores del porcentaje de holocelulosa, celulosa y hemicelulosa son cercanos respectivamente a lo reportado por este mismo autor. Así mismo los resultados reportados se encuentran dentro del rango establecido por (Sanchez-Echeverri *et al.*, 2014), quien analizó cuatro culmos de bambú Guadua. El resultado obtenido también se comparó con los valores promedios reportados por Scurlock *et al.* (2000), para maderas blandas, observándose que este se encuentra dentro de estos valores, lo cual indicaría que el bambú presentaría alto porcentaje de compuestos volátiles característico de las maderas blandas, lo cual es corroborado con los resultados obtenidos del análisis elemental.

Tabla 4: Análisis de la composición lignocelulósico del bambú *Guadua angustifolia* Kunth

Muestra	Lignina (%)	Holocelulosa (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Extractivos (%)	Referencia
Bambú <i>Guadua angustifolia</i> K.	24.95	54.67	44.49	10.18	6.57	Presente estudio
Desviación estándar	0.86	0.98	1.11	1.89	0.37	
Coef. Variación (%)	3.44	1.79	2.48	18.53	5.62	
<i>Guadua angustifolia</i>	21.88	58.88	47.06	11.82	6.47	Cuellar & Muñoz (2010)
<i>Bambú Guadua</i>	24 – 27	50 -60	37 - 44	13 – 20	-	Sanchez-Echeverri <i>et al.</i> (2014)
<i>Maderas blandas</i>	24 – 37	45 – 77	35 - 50	10 – 40	-	Scurlock <i>et al.</i> (2000)

FUENTE: Laboratorios de Facultad de Ciencias Forestales - UNALM.

Con respecto al contenido de holocelulosa, esta representa la fracción total de polisacáridos (celulosa más hemicelulosa), así el análisis lignocelulósico del bambú es fundamental, por generar información vital para sus posibles usos. González *et al.* (2016), indica que el contenido alto de celulosa es determinante en la producción de papel, sin embargo, la lignina se ubica en la lámina media lo cual dificulta la extracción de la celulosa, haciendo necesario su eliminación mediante procesos de hidrólisis química o enzimática. De esta manera, al comparar estos resultados con los valores de las maderas blandas y duras, se encontró que el contenido de lignina estuvo dentro del rango, mientras que el de celulosa fue mayor al contenido de estas maderas, las cuales son principalmente usadas como fuente de fibra para la fabricación de pasta y de papel, según Keefe & Teschke (1995). Por lo que el uso del bambú sería adecuado como alternativa en la producción de papel. Por otro lado Cuellar & Muñoz (2010), indican que las fibras naturales de bambú, presentan alto contenido de lignina y celulosa, lo cual la convierte en un material atractivo por su abundancia, bajo costo y buenas propiedades mecánicas, pudiendo llegar a ser un buen sustituto parcial de las fibras sintéticas.

Para el contenido de extractivos, el valor encontrado fue de 6.56 por ciento, el cual es mayor al reportado por Cuellar & Muñoz (2010). Cabe indicar que estos extractivos pueden ser taninos, aceites, grasas, resinas, ceras, goma, almidón y terpenos (Chiluiza & Hernández, 2009).

Caracterización Física

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos del análisis físico realizado a las muestras de bambú *Guadua Angustifolia*.

Del análisis físico (Tabla 5), el pH obtenido fue de 6.14, el cual es mayor al reportado por Bernabé *et al.* (2013), quienes realizaron análisis en cinco especies de pino, obteniendo valores en un rango de 4 - 4.4; así mismo, también se indica en este estudio que valores de pH moderadamente ácidos en las maderas pueden afectar su utilización, así como ver afectada la fijación de sustancias preservantes, el fraguado de los adhesivos, la fabricación de tableros y productos plastificados y el proceso de pulpeo (Fengel & Wegener, 1989; Poblete *et al.*, 1991; Poblete & Roffael, 2004).

Tabla 5: Análisis físico del bambú *Guadua angustifolia* Kunth

Muestra	pH	Densidad aparente (Kg/m ³)	Densidad relativa (Kg/m ³)	Porosidad (%)	Fibra cruda (%)	Referencia
Bambú <i>Guadua angustifolia</i> K.	6.14	483.3	1531	68.41	49.06	
Desviación estándar	0.18	15.55	0.36	0.42	0.33	Presente estudio
Coef. Variación (%)	2.85	3.22	0.02	0.61	0.67	
Bambú <i>Guadua angustifolia</i>		455				Gutiérrez (2015)
Corteza de coníferas	-	180	-	-	-	Francescato <i>et al.</i> , 2008)

FUENTE: Laboratorios de Tesis Dpto. de Química Facultad de Ciencias- UNALM.

Por otro lado, se encontró un valor promedio de 483 Kg/m³ de densidad aparente, valor ligeramente mayor al encontrado por Gutiérrez (2015) y muy superior al indicado por Francescato *et al.* (2008), de 180 Kg/m³ para corteza de coníferas, y menor al de Cedeño (2013) quien reporta un valor de 700 Kg/m³ para maderas convencionales, destinadas principalmente como biocombustibles sólidos.

El contenido de fibra obtenido fue de 49.06 por ciento, lo cual se asemeja a lo señalado por Londoño *et al.* (2002) citado por Gutiérrez (2015), quien indica que el tejido del culmo de esta especie está compuesto, como en los otros bambúes por: a) corteza; b) células de parénquima; c) fibras y d) haces vasculares los cuales están conformados por células de esclerénquima, vasos (metaxilema, floema, protoxilema) y por tubos cribosos con células acompañantes, donde la composición anatómica es: 51 por ciento de tejido de parénquima, 40 por ciento de fibra y 9 por ciento de células de conducción.

CONCLUSIONES

Las fibras de bambú *Guadua angustifolia* Kunth, presentan un contenido de importantes biomoléculas primarias y secundarias como la celulosa, hemicelulosa y lignina los cuales les confiere alta resistencia y flexibilidad, propiedades necesarias para ser destinadas a usos estructurales.

Por otro lado, los resultados arrojaron mayores contenidos de ceniza (3.19%) y de azufre (0.15) frente a la madera, por lo que se originaría problemas en la combustión, así mismo, el poder calorífico si bien estuvo en el rango para las maderas latifoliadas, fue inferior a los valores de la madera conífera, al igual que el valor de densidad aparente (133 Kg/m³), indicando que se requeriría grandes cantidades de biomasa a diferencia de otros materiales para poder ser utilizado en la cogeneración de energía. Así mismo, si se destinara esta biomasa para

fines energéticos, se requeriría la aplicación de tratamientos térmicos como la torrefacción para mejorar las propiedades químicas, lo cual incrementaría el contenido energético de 4702.3 cal/g a 7537.946 cal/g al ser convertido a carbón, sin embargo, el alto contenido de celulosa hace del bambú una alternativa viable en la producción de etanol celulósico y fibras de papel.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación "Cadena de Valor del Bambú", financiado por el FONDECYT, pertenecientes al Círculo del Investigación del Bambú, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

REFERENCIAS

Álvarez, A., Pizarro C. & Folgueras, M.B. (2013). *Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico*. Máster Universitario en Ingeniería Energética Universidad de Oviedo. <http://hdl.handle.net/10651/17777>.

Antonio, R., Ramos, C., García, R., Sandoval G., Arellano, L. (2014). *Gel de carboximetilcelulosa (CMC) a partir del bagazo de piña*. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Ciudad Pemex, Macuspana, Tabasco. P. 207.
A.O.A.C. (1997). *Official Methods of the Association of Official Analytical Chemist*, 16th ed. Washington, DC.

ASTM (1990). "Standard D3800. Standard test method for density of high-modulus fibers". Anual book of ASTM standards, volume 15.03 of 49.025.60.

ASTM (2007). D1105-96. Standard Test Method for Preparation of Extractive-Free Wood. ASTM International, West Conshohocken.

ASTM (2007). D5865-07^a. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. ASTM International, West Conshohocken.

ASTM (2015). D7582-15. Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis. ASTM International, West Conshohocken.

ASTM (2016). D5373-16. Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke. ASTM International, West Conshohocken.

Bernabé-Santiago, R., Ávila-Calderón, L.E. & Rutiaga-Quñones, J.G. (2013). Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. *Madera y Bosques*, 19 (2), 21-35.

Bustamante, V., Carrillo, A., Prieto, J., Corral, J. & Hernández, J. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. México nov./dic. *Rev. Mex. de Cienc. Forestales*, 7(38), 5 -24.

Cabrea, G., Madriñan, S. & Muñoz, D. (2013). Evaluación de índices de conversión energética en la producción de gas combustible a partir de biomasa. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. Edición especial N°2 (118-125).

Chiluiza, C. & Hernández, J. (2009). *Elaboración de papel artesanal de caña guadua (Guadua Angustifolia K.)*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. P. 186.

Cuellar, A. & Muñoz I. (2010). Fibra de Guadua como refuerzo de matrices poliméricas. *Revista Dyna*, 162, 137-142.

Cuesta, E. (2019). *Valorización de serrín mediante pirólisis: obtención de vinagre de madera*. Tesis para optar el título de Ingeniero en Tecnologías Industriales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Universidad de Cantabria. P 91.

D. L. N° 1278 (2018). *Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Normas Legales. El peruano. Lima.

Doherty, W.O.S, Mousavioun, P. & Fellows, C.M. (2011). Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. *Industrial Crops and Products*, 33 (2), 259-276.

Estrada, M., Ramírez, F., Maldonado, A. & Correal, J. (2010). *Caracterización mecánica de las fibras del bambú colombiano, Guadua angustifolia*. Primer Simposio de Bambú y Madera Laminada, enero, Bogotá - Colombia.

Fengel, D. & Wegener, G. (1989). *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter. Berlín. 613 p.

Francescato, V., Antonini, E., Metschina, C., Schnedl, C., Krajnc, N., Kosciak, K., et al. (2008). Manual de combustibles de madera. Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. España. P 82.

Ghavami, K. & Marinho, A. (2005). Propiedades físicas e mecánicas de colmo entero de especie do bambú de *Guadua angustifolia*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9 (1), 107-114.

González, K., Daza, D., Caballero, P. & Martínez, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, 43, 499-517.

Gutiérrez, G. (2015). *Caracterización de los productos obtenidos por destilación seca del bambú (Guadua Angustifolia Kunth.) procedente del distrito de La Florida, San Miguel, Cajamarca*. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNALM. Lima – Perú. P 132.

Herguedas, A.I. & Taranco, C. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. Bloque I: Materias primas. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario*. ITAGRA.CT, Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid-INIA (IUGFS). España.

Irias, A. (2014). Composición Química de la biomasa residual de la planta de piña variedad MD2 provenientes de Guacimo, Limón. *Ciencia y Tecnología*, 30 (2), 27-34.

Keefe, A., & Teschke, K. (1995). Industria del papel y de la pasta de papel. Sectores basados en recursos biológicos. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/72.pdf>

Lairon, D., Bertrais, S., Vincent, S., Arnault, N., Galan, P., Boutron, M.C. *et al.* (2003). Dietary fibre intake and clinical indices in the French Supplémentation en Vitamines et Minéraux Antioxydants (SU.VI.MAX) adult cohort. *Proc. Nutr. Soc.*, 62 (1), 11-5.

Lazaro, K., Gonzales, H.E. & Cárdenas, A. (2016). Propiedades mecánicas del material compuesto elaborado con bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) y polipropileno. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(38): 95-110.

Londoño, X, Camayo, G, Riaño, N. & 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.

Maya, J.M., Camargo, J.C. & Marino, O. (2017). Características de los culmos de guadua de acuerdo al sitio y su estado de madurez. *Colombia Forestal*, 20 (2), 171-180.

- Poblete, H., Rodríguez, S. & Zárata, M. (1991). *Extraíbles de la madera, sus características y efectos sobre la utilización de esta materia prima*. Publicación docente núm. 34. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 51 p.
- Poblete, H. & Roffael, E. (2004). Acidez de la corteza de algunas especies nativas chilenas. *Bosque*, 25 (3), 73-78.
- Ramos, T., Alpírez, M., Cabarcas, B. Palomar, T. y Pelayo, P. (2015). Lignina obtenida de residuos agrícolas como biocombustible de tercera generación. *Ciencia y Tecnología*, 15, 151-164.
- Romero, H. (2015). Producción de gas de síntesis (gasificación de bambú). *Boletín IIE Energías renovables: una alternativa viable para México.*, 39 (2), 80 – 91.
- Romero-Uscanga, E, Montero-Alpírez, G., Toscano-Palomar, L., Pérez-Pelayo, L., Torres-Ramos, R. & Beleño-Cabarcas, M. (2014). *Determinación de los principales componentes de la biomasa lignocelulósica: celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico*. XVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas Agricultura sustentable: Uso eficiente del agua, suelo y fertilizantes (pp. 114- 118), México.
- Rodríguez, J.A. (2010). *La Porosidad como Propiedad Física: Propiedades densidad y porosidad*. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo. P.4 http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/4887/mod_resource/content/1/T3b-DensidadPorosidad.pdf
- Sánchez, A.D. (2012). La biomasa, una oportunidad para las entidades locales. Centro Nacional de Energías Renovables. España. http://www.crana.org/themed/crana/files/docs/212/172/4biomasa_cener_david_sanchez.pdf
- Sánchez-Echeverri, L.A., Aita, G., Robert, D., & Rodriguez-García, M.E. (2014). *Correlación entre compuestos químicos y respuesta mecánica en culmos de dos edades diferentes de Guadua angustifolia Kunth*. *Madera y bosques*, 20 (2), 87-94.
- Scurlock, J.M.O., Dayton, D.C. & Hames, B. (2000). Bambú: ¿un recurso de biomasa pasado por alto? *Biomass and Bioenergy* 19 (4): 229-244.
- Shankar-Tumuluru, J., Boardman, R.D., Wright, C.T. & Hess, J.R. (2012). Some chemical compositional changes in Miscanthus and white oak sawdust samples during torrefaction. *Energies*, 5(10), 3928-3947.
- TAPPI (1978). TAPPI T-212. One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp.
- TAPPI (2006). T 222 om-06. *Acid-insoluble lignin in wood and pulp*. *Leading Technical Association for the Pulp, Paper, and Converting Industry*. Peachtree Corners: Tappi. 5 p
- Venkateshwaran, N., Elayaperumal, A. & Sathiya, G.K. (2012). Prediction of tensile properties of hybrid-natural fiber composites. *Composites Part B: Engineering*, 43 (02), 793-796.
- Youssefian, S. & Rahbar, N. (2015). Molecular origin of strength and stiffness in bamboo fibrils. *Scientific Reports*, 5(11116), 1-13. DOI: 10.1038/srep11116.

