

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CHEMICAL AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF IRIARTEA DELTOIDEA AND GUADUA ANGUSTIFOLIA. ECOLOGICAL MATERIALS FOR SUSTAINABLE TERRITORIES

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICO-MECÁNICAS DE LA IRIARTEA DELTOIDEA Y LA GUADUA ANGUSTIFOLIA. MATERIALES ECOLÓGICOS PARA TERRITORIOS SOSTENIBLES

**MOJICA SÁNCHEZ, L.F.¹; REYES ORTIZ, S.P.²; QUIÑÓNEZ MOSQUERA,
F.A.³; GONZÁLEZ GARCÍA, H.⁴;**

¹MSc. Lina Fernanda Mojica Sánchez. Profesora Investigadora, Programa de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Industrial, Escuela de Ingenierías, Corporación Universitaria del Meta, e-mail: lina.mojica@unimeta.edu.co. ORCID. <https://orcid.org/0000-0003-1972-4642?lang=en>

²Ph.D. Sandra Patricia Reyes Ortiz. Profesora Investigadora, Programa de Ingeniería Civil, Escuela de Ingenierías, Universidad Cooperativa de Colombia, e-mail: quimsanreyes@yahoo.com. ORCID. <https://orcid.org/0000-0002-0048-1444>

³MSc. Francisco Alberto Quiñónez Mosquera. Profesor Investigador, Programa de Arquitectura, Escuela de Arquitectura, Corporación Universitaria del Meta, e-mail: pachog@gmail.com ORCID. <https://orcid.org/0009-0001-2477-1198>

⁴Ph.D. Hebandreyna González García. Profesor Tiempo Completo, Programa de Ingeniería Industrial e Ingeniería Agroindustrial, Escuela de Ingenierías, Corporación Universitaria del Meta, e-mail: hebandreyna.gonzalez@unimeta.edu.co. ORCID. <https://orcid.org/0000-0001-9622-1139>

Entidad¹³⁴

Corporación Universitaria del Meta (UNIMETA), Villavicencio, Meta, Colombia.

Tel: (8)6621825 Ext .141 – 101

E-mail: contacto@unimeta.edu.co

Entidad²

Universidad Cooperativa de Colombia, Sede Villavicencio, Meta, Colombia.

Tel: (608) 674 0874

E-mail: ami.vil@ucc.edu.co

Recibido: 09/02/2023 / Aceptado: 21/06/2023

Resumen

La chonta, *Iriartea deltoidea*, es una especie de palma originaria de América tropical que ha sido usada tradicionalmente. No obstante, su estudio científico es escaso. Se buscó determinar la composición química de la palma chonta en comparación con la guadua, y encontrar sus posibles similitudes respecto a los usos estructurales en construcción de viviendas. Para ello, se le dio comienzo al proceso triturando 1 kg de material vegetal de palma chonta, para realizar determinaciones de humedad higroscópica, composición química, y cenizas totales. La palma chonta mostró una densidad aparente de 0,221 g/cm³ (221 kg/m³) y que está compuesto esencialmente de lignina y hemicelulosa. La composición de la palma chonta es similar a la guadua, con un contenido más bajo de hemicelulosa, pero con valores cercanos de lignina; así como un cuerpo fibroso, más denso y duro. Por lo tanto, su comportamiento estructural y utilidad constructiva son semejantes.

Palabras clave

Chonta; Guadua; Materiales ecológicos; Propiedades físicas.

Abstract

The chonta, *Iriartea deltoidea*, is a palm species native to Tropical America that has been used traditionally. However, their scientific study is scarce. We sought to determine the chemical composition of the chonta palm compared to the guadua, and to find its possible similarities with respect to structural uses in housing construction. To do this, the process was started by crushing 1 kg of chonta palm plant material, to make determinations of hygroscopic humidity, chemical composition, and total ash. The chonta palm showed an apparent density of 0,221 g/cm³ (221 kg/m³) and is essentially composed of lignin and hemicellulose. The composition of the chonta palm is similar to the guadua, with a lower content of hemicellulose, but with close values of lignin; as well as a fibrous body, more dense and hard. Therefore, their structural behavior and constructive utility are similar.

Keywords: Chonta; Guadua; Ecological materials; Physical properties.

1. INTRODUCCIÓN

La palma chonta, *Iriartea deltoidea*, es una especie de palma que es originaria de América tropical (Navarro López *et al.*, 2014) y ha sido usada tradicionalmente por los habitantes desde los países centro americanos hasta Bolivia y Brasil, en estas regiones donde crece, especialmente los indígenas y campesinos la utilizan para la elaboración de diferentes productos de uso diario como muebles y artesanías (Smith, 2015). Se encuentra en ecosistemas de selva húmeda, es decir, que en Colombia es común, tradicional y ampliamente empleada por comunidades de bajos recursos económicos, pero su estudio científico es escaso y seguramente con mayor investigación la palma chonta podría convertirse en una importante fuente de ingresos con diversas aplicaciones (Navarro López *et al.*, 2014). Este estudio busca

hacer una comparación de la palma chonta respecto con la guadua para comprobar que sus usos pueden ser similares. Actualmente, la guadua está teniendo un gran auge en el sector de la construcción y paisajismo, para confrontarlo se han analizado las propiedades físicas, composición química de la palma chonta, y la posibilidad de hacer una producción sostenible de las dos especies de acuerdo con sus tiempos de crecimiento y anatomía. La guadua (*Guadua angustifolia*) está compuesta mayormente de hemicelulosa y lignina (García *et al.*, 2021) 61-71% y 20-30% respectivamente, pareciera que presenta una composición parecida de la chonta debido a que a su morfología es semejante, ya que la densidad y la dureza del tejido del tallo de las palmas en general aumentan desde el centro a la periferia y son mayores hacia la base (Navarro López *et al.*, 2014), la guadua presenta un tallo

hueco en el centro que se va haciendo más duro y densa hacia la corteza (García *et al.*, 2021). Debido a la semejanza de estas dos especies, por su dureza y densidad en el tallo se desea comprobar el alto contenido de lignina en la palma chonta, ya que si su estructura química fuese similar, podría usarse al igual que la guadua en la construcción de viviendas como material de refuerzo y por su atractivo color como elemento de paisajismo; también es sabido que las propiedades mecánicas de la lignina la hacen especial (Álvarez-Castillo *et al.*, 2012, Chávez-Sifontes y Domine, 2013), ya que puede considerarse una red polimérica tridimensional al azar de hidrocarburos aromáticos fenólicos (Renninger *et al.*, 2013, Luna *et al.*, 2014, Morejón *et al.*, 2018). Es la segunda fuente de mayor abundancia de materia renovable en la naturaleza, después de la celulosa, y, además, se caracteriza por su dureza, que impide el fácil acceso a la celulosa, los dos junto con la hemicelulosa conforman la estructura vegetal (Satari *et al.*, 2019), sin embargo, debemos hacer énfasis que ambas deben ser tratadas por ser atacadas por comején. Así se planteó, como objetivo, analizar las propiedades químicas y físico-mecánicas de la *Iriartea deltoidea* y la *Guadua angustifolia*, como materiales ecológicos para territorios sostenibles.

2. METODOLOGIA

A. Análisis comparativo de propiedades químicas

1. Área de estudio

La experimentación se realizó en las inmediaciones de la vereda Vanguardia muy cerca de la estación meteorológica del aeropuerto de Vanguardia de la ciudad de Villavicencio, capital del departamento del

Meta (Colombia), las condiciones atmosféricas son las siguientes: humedad relativa 90%, temperatura promedio 22-31°C, altitud: 417,36 m.s.n.m, coordenadas geográficas: 4,167777778, -73,61361111.

2. Acondicionamiento del material

Se realizó la molienda de 1 kg de palma chonta hasta pasar por un cedazo de 0,001 m de diámetro (NTC 1522, 1979).

3. Determinación de densidad aparente

Se realizaron 3 ensayos por el método tradicional de gravimetría, usando balanza analítica de 0,001 g de precisión y un picnómetro de 50 ml, se calculó el peso de la muestra de polvo a partir de la diferencia del picnómetro lleno y desocupado, y se determinó la densidad por medio de la ecuación 1, donde m corresponde a la masa y v al volumen de la muestra (NTC 1974, 1984).

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (1)$$

4. Determinación de la humedad higroscópica

Se realizaron tres ensayos utilizando el método de gravimetría, para ello se pesaron 5 g de material con humedad en estado de equilibrio con el medio ambiente se realizó calentamiento por espacio de 24 h a 105-110 °C, se secaron y se pesaron las muestras de palma chonta, la diferencia entre los pesos de las muestras inicial y final corresponden a la humedad higroscópica absoluta (NTC 1495, 1979).

5. Determinación de cenizas

Se realizaron dos ensayos donde se pesaron en la balanza analítica de precisión 0,001 g, 12 g, 10 g y 5 g de las muestras de chonta, se incineraron en el horno, por

espacio de 8 h a 450°C, hasta que alcanzaron color blanco, se pesaron y con la diferencia en las masas se calculó el porcentaje (NTC 841: 2020).

6. Determinación de lignina

Se realizó tratamiento de hidrólisis alcalina a 30°C, de 5 g de muestra vegetal chonta, el primer experimento fue espacio de una hora (1h) con NaOH al 2% y Na₂SO₃ al 2%, se obtuvo licor negro, para la segunda medición se tomaron 5 g de muestra y se trató con NaOH al 5% y Na₂SO₃ al 5%, por espacio de 12 h, el tratamiento final fue lavado con agua desionizada y secado a 110°C por 24 h (Srivastava *et al.*, 2014).

7. Determinación de hemicelulosa

Se realizó tratamiento de hidrólisis ácida catalizada de la muestra vegetal de palma chonta previamente tratada por hidrólisis básica equivalente a 2,89 g de muestra con ácido acético al 95% y ácido clorhídrico al 0,5% a 110°C, por espacio de una hora (1h), finalmente se lavó en agua desionizada, se secó en el horno a 110°C por 24 h, quedando como resultado una pérdida considerable de peso (Sathitsuksanoh *et al.*, 2012; Guerrero *et al.*, 2021).

B. Análisis comparativo de propiedades físico-mecánicas

1. Ensayo a compresión de palma chonta

La compresión perpendicular a las fibras se realizó teniendo en cuenta la norma (NTC 3377, 1992), aplicando una carga sobre la cara radial de la probeta por medio de una placa metálica (0,4), que se coloca en el tope rectangular a lo largo de esta y a igual

distancia de los extremos de la misma, y a una velocidad de 0,305 mm por minuto (mm.min⁻¹), hasta obtener una deformación de 2,5 mm. Las pruebas se llevaron a cabo en la maquina universal para ensayos de materiales, de marca, Veb Werkstoffprufmaschinen Leipzig (WPM), con tres (3) escalas de fuerza de 20, 10 y 2 tf.

2. Ensayo a compresión tangencial de la guadua (*Guadua angustifolia*)

El comportamiento característico de una probeta prismática de guadua se muestra en la figura 1. Al alcanzar el punto máximo de resistencia, las fibras mantienen una deformación constante ante el incremento de la carga en la dirección del ensayo. El límite plástico promedio para las 10 muestras de chonta y guadua ensayadas es de 17,0 MPa. La compresión paralela a la fibra, de la misma muestra de guadua es de 36,7 MPa, lo que indica una diferencia de más de 50% entre los valores de acuerdo con la orientación del ensayo (Reyes Ortiz *et al.*, 2016). La falla de los cuerpos de prueba se da por el aplastamiento de los vasos que pertenecen a los haces conductores del bambú, de acuerdo a ensayos realizados sobre muestras de bambú moso, se reportó la resistencia a la compresión tangencial cercana a 25 MPa (Dixon y Gibson, 2014; Terrero *et al.*, 2020).

3. Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un tratamiento de estadística descriptiva utilizando los valores medios (promedios), desviación estándar y coeficiente de variación para cada medición a través de Microsoft Office Excel versión 2016.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Densidad aparente, porcentaje de humedad higroscópica y cenizas.

En las tablas 1, 2 y 3 se muestran los resultados del cálculo de las propiedades físicas de palma chonta (*I. deltoidea*): densidad aparente, porcentaje de humedad higroscópica y porcentaje de cenizas (Instituto de Salud Pública de Chile, 2009).

Tabla 1. Determinación de la densidad aparente de la palma chonta (*I. deltoidea*).

Variable/Muestra	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Volumen (ml)	50,000	50,000	50,000
Masa (g)	11,182	10,871	11,095
Densidad Aparente (g/ml)	0,224	0,217	0,222
Densidad Aparente promedio	0,221 ± 0,003 (g/ml)		

Tabla 2. Determinación de la humedad higroscópica de la palma chonta (*I. deltoidea*).

Variable/Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Masa inicial (g)	12,051	10,032	5,001
Masa final (g)	8,450	7,314	3,712
% humedad higroscópica	29,881%	27,093%	25,775%
% humedad higroscópica promedio	27,583 ± 2,0963 %		

Tabla 3. Determinación de % cenizas de la palma chonta (*I. deltoidea*).

Variable/Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2
Masa inicial (g)	5,016	5,175
Masa de cenizas	0,544	0,613

(g)

% cenizas (B.H)	10,845%	11,845%
% cenizas (B.S)	14,685%	16,072%
% cenizas (B.S) promedio.	15,378 ± 0,9807 %	

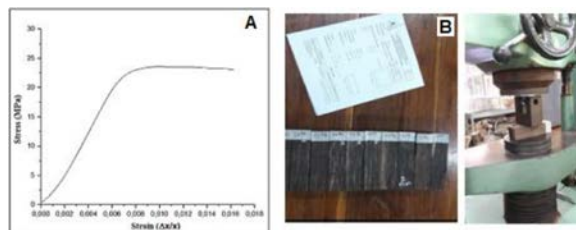


Figura 1. Curva de resistencia contra deformación de la guadua (*G. angustifolia*) ante el ensayo de compresión tangencial.

B. Composición en base seca

En las tablas 4 y 5 se presentan la determinación del porcentaje de lignina y de hemicelulosa, respectivamente, de la muestra en base seca (B.S.) de la palma chonta (*I. deltoidea*). La composición en base seca de la palma chonta se presenta en la tabla 6.

Tabla 4. Determinación del porcentaje de lignina de la muestra en Base Seca (B.S.) de la palma chonta (*I. deltoidea*).

Variable/Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2
Masa inicial de la muestra (g)	5,000	5,001
Concentración de NaOH	2%	5%
Concentración de Na ₂ SO ₃	2%	5%
Volumen de NaOH (ml)	100,000	100,000
Volumen de Na ₂ SO ₃ (ml)	100,000	100,000
Masa Final (g)	3,202	2,896
Porcentaje de lignina en B.S.	8,573%	21,252%

Tabla 5. Determinación del porcentaje de Hemicelulosa de la muestra en Base Seca (B.S.) de la palma chonta (*I. deltoidea*).

Variable/Ensayo	Ensayo 1
Masa inicial de la muestra (g)	2,892
Concentración de Ac. acético	0,5%
Concentración de HCl	95%
Volumen de solución de Ac. acético (ml)	100,000
Volumen de solución de HCl (ml)	100,000
Masa Final (g)	1,045
Porcentaje de hemicelulosa en B.S.	50,413%

Tabla 6. Composición en base seca de la palma chonta (*I. deltoidea*).

Componente	% Base seca
Lignina	21,252%
Hemicelulosa	50,413%
Cenizas	15,378%
Otros	12,957%

Las propiedades mecánicas de la guadua (*Guadua angustifolia*) y de la palma chonta (*I. deltoidea*) dependen de la dirección de la carga con respecto a la orientación de la fibra. La resistencia a la tracción, flexión y compresión paralela a la fibra, caracterizan el buen desempeño de la *G. angustifolia* mientras que el comportamiento ante esfuerzos a compresión y corte perpendicular a las fibras han sido de menor interés (Luna *et al.*, 2011; Bonilla *et al.*, 2021). La mayor carga que puede resistir el material sin sufrir una deformación permanente está asociado al esfuerzo en el límite proporcional, siendo este valor útil en el cálculo de las áreas de apoyo para vigas, viguetas y similares (Londoño, 2008; Renninger *et al.*, 2013; Alonso *et al.*, 2020). En la tabla 7 se pueden apreciar los resultados de la compresión tangencial de ambos materiales.

C. Compresión tangencial

Tabla 7. Parámetros de caracterización de las muestras de palma *Iriarte deltoidea* y *Guadua angustifolia* en el ensayo de resistencia a la compresión tangencial a las fibras.

Muestra	Bambú <i>Guadua angustifolia</i>			Palma chonta <i>Iriarte deltoidea</i>		
	Resistencia Max.	Resistencia en LP	Densidad	Resistencia Max.	Esfuerzo en LP	Densidad
	F_c (MPa)	σ_{LP} (MPa)	ρ (kg/m ³)	F_c (MPa)	σ_{LP} (MPa)	ρ (kg/m ³)
χ	22,94	17,20	622,850	1,71	1,29	1285,000
σ	3,59	2,70	14,740	0,50	0,40	366,600
C.V.	15,67	15,68	2,370	28,40	28,50	28,500

χ : Promedio, σ : Desviación estándar, C.V.: Coeficiente de variación.

La compresión perpendicular a las fibras está íntimamente relacionada con la dureza y el cizallamiento transversal de las muestras, de tal manera que los vasos conductores y las fibras, microtúbulos de celulosa, se compactan ante la fuerza aplicada, incrementando la resistencia en proporción a la densidad del material. Los datos obtenidos de las muestras de palma chonta *I. deltoidea* muestran una densidad promedio de 1285 kg/m^3 , un esfuerzo en el límite de plasticidad de $1,29 \text{ MPa}$ y resistencia máxima de $1,71 \text{ MPa}$, clasificándose como mediano, moderadamente bajo y moderadamente alto. Mostrando similitud con los valores del esfuerzo máximo de $2,65 \text{ MPa}$ y 990 kg/m^3 de densidad, de palma chonta proveniente de la región amazónica del Ecuador (Cisneros Jaras, 2014; Navarro López, 2015; Luna *et al.*, 2014; Pinzón, 2019; Villamizar *et al.*, 2019).

A pesar de que los valores evidenciados en la Tabla 7 muestran menor rendimiento mecánico de la palma chonta frente a la guadua, es de resaltar que la palma chonta presenta valores superiores cuando se compara con otras especies como el pigüe e intachi, que se clasificaron como moderadamente bajos. Adicionalmente, del ensayo conducido se puede decir que las especies en estudio presentaron un comportamiento similar a lo señalado en la Ley de Hooke, la cual establece que el esfuerzo es proporcional a la deformación. Es posible exponer a la palma chonta como una madera dura y resistente, con potenciales usos en construcciones como postes, pilares y puentes exteriores; como fue señalado por (Luna *et al.*, 2014; Morejón *et al.*, 2018; Araujo & Rivera, 2020; Niño Rondón *et al.*, 2021).

De esta manera, se observa que la guadua y la palma chonta se pueden usar tanto de manera rolliza como en láminas y tablillas (Figura 4), dependiendo de la aplicación en el diseño o técnica estructural (Figura 5). El uso de la guadua rolliza tiene una tradición más arraigada en el contexto rural a lo largo y ancho del territorio nacional en contraposición con la palma chonta la cual presenta un uso más delimitado en las regiones de la Orinoquia, la Amazonía y el Pacífico, es decir, en zonas geográficas tropicales muy húmedas. Una comparación importante para resaltar es el alto contenido de lignina y una mayor densidad de la palma chonta que le da una mayor durabilidad a la intemperie respecto con la guadua que tiene más cavidades en su estructura haciéndola más propensa a los procesos de descomposición a la intemperie. Tanto la guadua como la palma chonta presentan fibras longitudinales y morfologías similares, lo que permite la utilización de técnicas de construcción similares (Figura 4).



Figura 4. Detalle de tablillas construidas a partir de la compresión perpendicular a la fibra de palma chonta (*I. deltoidea*).

En el caso de las tablillas de guadua pueden rondar entre 2 a 4 cm debido a que el diámetro puede estar entre los 10 y 15 cm; la palma chonta por su parte puede generar tablillas de 4 cm a 8 cm dado que el

diámetro es de 30 cm debido a que la pared maderable es mayor, y aunque tiene nudos, las palmas no tienen canutos o espacios sellados lo que permite tablillas más uniformes.

La utilización de la palma chonta de forma sostenible puede llevar a legalizar la cadena productiva. Si se genera una normatividad de buen uso y aprovechamiento de posibles plantaciones, conllevaría a la sustentabilidad ambiental de la especie, ya que si es manejada de forma indiscriminada se podría presentar sobreexplotación de la misma, trayendo consigo su posible extinción, lo cual originaría un impacto negativo en el ecosistema. Y, por lo tanto, graves consecuencias a las comunidades que sacan usufructo.

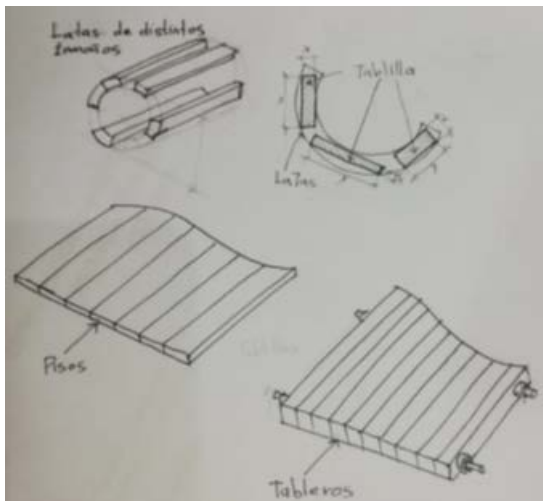


Figura 5. Diseño arquitectónico del suelo del prototipo estructural usando tablillas de fibra de palma chonta (*I. deltoidea*).

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten afirmar que la composición en base seca de la palma chonta es similar a la guadua, con un contenido más bajo de hemicelulosa, pero

con valores cercanos de lignina; así como una estructura que se presenta más densa y dura desde la periferia al núcleo. Es importante destacar que, por la ubicación del duramen y las propiedades físicas de la lignina, hacen que se perciba la gran similitud existente entre estas dos especies. Por lo tanto, su comportamiento estructural y utilidad constructiva son semejantes.

La palma chonta a diferencia de la guadua es una especie con baja tasa de retorno, ya que toma 70 años en llegar a su etapa de producción, mientras que la guadua tiene rápido crecimiento hasta llegar a su etapa de producción entre los 3 y 5 años. Por esta razón su capacidad productiva no es comparable, ya que la oferta de la palma chonta en el sector de construcción no puede ser superior al de la guadua debido a su baja disponibilidad. Es por este motivo que se recomienda que sólo debería usarse en una mezcla, para reforzar estructuralmente a la guadua, con un 10% de palma chonta. Ya que el sobreuso de la *I. deltoidea* estaría provocando un uso insostenible de la especie y por ende del biosistema que de ellas depende.

El posible uso de la palma chonta dentro de una estructura sería en una composición entre guadua y palma chonta con el fin de obtener un material de mayor resistencia a la flexión que la misma guadua, haciendo una superposición de capas donde la parte externa sea de guadua y la interna de palma chonta para mejorar su rigidez, y de esta forma analizar la resistencia a la flexión de la guadua que es baja por sí sola.

La palma chonta por su alto grado de lignina, teniendo un proceso apropiado de explotación y secado, es un material que puede ser muy resistente en la intemperie,

lo que le daría potencial en elaboración de acabados y/o terminados a la vista.

Teniendo en cuenta la importancia ecológica y económica de la palma chonta en el piedemonte amazónico colombiano, Corpoamazonia, la autoridad ambiental regional, reglamentó el aprovechamiento de la palma chonta (*I. deltoidea*), con el fin de promover el manejo sostenible del recurso.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación Universitaria del Meta UNIMETA, por el apoyo institucional al desarrollo logístico del proyecto.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, L., Castellanos, L. y Meseguer, O. (2020). Efectos alelopáticos de residuos de *Sorghum Halepense* (L.) sobre dos arvenses dicotiledóneas en condiciones de laboratorio. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.354>
- Álvarez-Castillo, A., Salgado-Delgado, R., García-Hernández, E., Domínguez-Domínguez, M.N., Granados-Baeza, J.M., Aguirre-Cruz, A., Carmona-García, R., Morales-Cepeda, A., Herrera-Franco, P.J., Licea-Claverie, A., y A. M. Mendoza-Martínez. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Rev. Iberoam. Polim.*, 13, (4), 140-150. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2012-alvarez.pdf>
- Araujo, T. C. y Rivera, M. E. (2020). Índices de sequía para la cuenca del Río Cesar – Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2020.4671>
- Bonilla, C. A., Rubio, Y. M. y Bonilla, S. A. (2021). Afectación por derrames de crudo ocasionados por acciones subversivas al oleoducto Caño Limón Coveñas. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572>
- Cisneros Jara, L.R. (2014). Sistema constructivo estructural a partir de la palma de chonta, *Iriartea deltoidea*, Tesis pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/9360>
- Chávez-Sifontes, M., y M. E. Domine. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Av. Cien. Ing.*, 4, (4), 15-46. http://www.exeedu.com/publishing/cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf
- Dixon, P. G., y L. J. Gibson. (2014). The structure and mechanics of Moso bamboo material. *J. R. Soc. Interface*, 11 (99), 1-12. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2014.0321>
- García, R., González, C., Pérez, C., Forero, D., Mahecha, G., Herrera, L., y C. Nieto. (2021). La Guadua (*Guadua angustifolia*) Kunth: el oro verde por descubrir. Bogotá D.C., Colombia: Corporación Universitaria Minuto de Dios, 113 p. <https://hdl.handle.net/10656/13238>
- Guerrero, J., Hernández, B. y Castellanos, L. (2021). Calidad del agua para sistemas de riego en Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*,

- 12(2).
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2573/3137>
- Instituto de Salud Pública de Chile (2009). Procedimiento para determinar cenizas totales. Método gravimétrico [Online]. Disponible:
http://www.ispch.cl/lab_amb/met_analitico/doc/ambiente%20pdf/CenizasTotales.pdf
- Londoño, A. (2008). Apuntes para el curso de Anatomía e Ingeniería de la madera. Ibagué, Tolima, Colombia: Universidad del Tolima, pp 4-6.
- Luna, P., Lozano, J., y C. Takeuchi. (2014). Experimental determination of characteristics values for Guadua angustifolia. Maderas, Cienc. Tecnol., 16, (1), 77-92.
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2014000100007&lng=es&nrm=iso
- Luna, P., Takeuchi, C., Granados, G., Lamus, F., y J. Lozano. (2011). Metodología de diseño de estructuras en Guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles, Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Morejón, E., Lara, X., Cabezas, E., Román, D., y E. Salazar. (2018). Propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales: Piptocoma discolor (Kunth.) Pruski (Pigüe), Iriartea deltoidea Ruiz & Pav. (Chonta) y Pouteria glomerata (Intachi)". European Scientific Journal, 14 (24), 295-310.
<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n24p295>
- Navarro López, J. (2015). Dinámica poblacional de tres palmas utilizadas en construcción (*Lepidocaryum tenue*, *Socratea exorrhiza* e *Iriartea deltoidea*): alternativas para su manejo sostenible en la Amazonia colombiana. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, p. 167.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56464>
- Navarro López J. A., Galeano, G., y R. Bernal. (2014). Manejo de la palma barrigona o chonta (*Iriartea deltoidea*) en el piedemonte amazónico colombiano y perspectivas para su cosecha sostenible. Colomb. For., 17 (1), 5-2.
<http://editorial.udistrital.edu.co/contenido/c-441.pdf>
- Niño Rondón, C. V., Castro Casadiego, S. A. y Ortíz Fonseca, D. M. (2021). Análisis de herramientas para desarrollar un sistema de apoyo ambiental para identificar residuos sólidos. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 12(2).
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572/3136>
- NTC 841 (2020). Papel. Pulpas. Determinación del contenido de cenizas.
- NTC 3377 (1992). Madera. Ensayos con probetas pequeñas.
- NTC 1974 (1984). Ingeniería Civil y Arquitectura. Suelos. Determinación de la densidad relativa de los sólidos.
- NTC 1522 (1979). Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.
- NTC 1495 (1979). Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad.
- Pinzón, L. F. (2019). Metales pesados en los lodos de la cuenca alta del río Bogotá, entre Villapinzón y Chocontá. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 10(2). DOI:
<https://doi.org/10.24054/aaas.v10i2.387>

- Renninger, H. J., McCulloh, K. A. y N. Phillips. (2013). A comparison of the hydraulic efficiency of a palm species (*Iriartea deltoidea*) with other wood types. *Tree Physiology*, 33, (2), 152-160. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps123>
- Reyes Ortiz, S. P., Perazzo Barbosa, N., Boyacá Mendivelso, L.A., y D. A. Landinez Tellez. (2016). Proceso de preservação por infiltração ao vacuo de glutaraldeido em pequenas amostras de *Guadua angustifolia* Kunth [Online]. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/325773784_PROCESO_DE_PRESERVACAO_POR_INFILTRACAO_AO_VACUO_DE_GLUTARALDEIDO_EM_PEQUENAS_AMOSTRAS_DE_GUADUA_ANGUSTIFOLIA_KUNTH
- Satari, B., Karimi, K., y R. Kumar. (2019). Cellulose solvent-based pretreatment for enhanced second-generation biofuel production: a review. *Sustainable Energy Fuels*, 3, (1), 11-62. <https://doi.org/10.1039/C8SE00287H>
- Sathitsuksanoh, N., George, A., y Y-H P. Zhang. (2012). New lignocellulose pretreatments using cellulose solvents: a review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 88 (2), 169-180. <https://doi.org/10.1002/jctb.3959>
- Smith, S. (2015). *Iriartea deltoidea*, en *Palms and People in the Amazon*, Geobotany Studies, Springer, Cham, pp. 291-297. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05509-1_39
- Srivastava, A.K., Agrawal, P., y A. Rahiman. (2014). Delignification of rice husk and production of bioethanol. *Int J Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, 3, (3), 10187-10194, https://www.ijirset.com/upload/2014/march/45_Delignification.pdf
- Terrero, W., Castellanos, L. y Vicet, L. (2020). Potencialidades alelopáticas del residual paja de la caña de azúcar (*SACCHARUM SPP.*, HYBRID) para el manejo de arvenses. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1) DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.357>
- Villamizar, J., Rivera, M. E. y Delgado, J. R. (2019). Mapa de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, Chitagá, Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v10i2.388>