

# Aprovechamiento de residuos madereros

Cuantificación, caracterización y valorización

Liliana Trinidad López Chalarca  
Leidy Yaneth Vega Rodríguez  
Carlos Daniel Rendón Colorado  
Sebastián Tobón Rojas



López Chalarca, Liliana Trinidad, *et al.*

Aprovechamiento de residuos madereros: cuantificación, caracterización y valorización / Liliana Trinidad López Chalarca, Leidy Yaneth Vega Rodríguez, Carlos Daniel Rendón Colorado y Sebastián Tobón Rojas

1.ª edición. Corporación Universitaria Remington, Medellín, Colombia. 2019  
Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena)

344 p.; 16,5x23 cm

ISBN: 978-958-52376-3-6 (Impreso)

ISBN: 978-958-52376-4-3 (Internet-PDF)

1. Residuos de madera. 2. Pulpa de madera. 3. Industria de la madera. 4. Propiedades de la madera. 5. Productos de la madera. 6. Árboles maderables. 7. *Tectona grandis*. 8. Industria de la pulpa y el papel. 9. Madera como combustible. 10. Carbón vegetal. I. Autores. II. Tít.

CDD: 674.84 / L864

**© Corporación Universitaria Remington  
Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena)**

Primera edición, noviembre de 2019

**Fondo Editorial Remington**

Lina María Yassin Noreña, editora jefe

fondo.editorial@uniremington.edu.co

Calle 51 # 51-27, Edificio Uniremington

Telefax: (57) (4) 3221000, extensión 3001 - 3008

Medellín, Colombia

**Coordinadora de procesos editoriales**

Diana Cecilia Molina Molina

**Diagramador editorial**

Oscar Mauricio Morales Castrillón

**Corrector de estilo**

Juan David Villa Rodríguez

**Impresión y terminados**

Panamericana Formas e Impresos S.A.

Calle 65 # 95-28 Bogotá D. C.

Teléfonos: 4300355/4302110

Bogotá D. C., Colombia

**Nota legal**

Las opiniones expresadas por el autor no constituyen ni comprometen la posición oficial o institucional de la Corporación Universitaria Remington.

Todos los derechos reservados. Ninguna porción de este libro podrá ser reproducida, almacenada en algún sistema de recuperación o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio –mecánicos, fotocopias, grabación y otro, excepto por citas breves en revistas impresas, sin la autorización previa y por escrito del Comité Editorial Institucional de la Corporación Universitaria Remington.

# **Autores**

## **Liliana Trinidad López Chalarca**

Ingeniera química con maestría en Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales en la Universidad de Antioquia. Más de ocho años de experiencia en el área de investigación, durante los cuales ha participado en diferentes proyectos sobre almacenamiento de energía, eficiencia energética, energías alternativas, desarrollo y caracterización de materiales y optimización de procesos. Ha publicado artículos en revistas internacionales indexadas como la *Energy&Fuel.2015*; además, ha colaborado en la elaboración de libros resultado de investigación. Correo electrónico: ltlopez86@misena.edu.co

## **Leidy Yaneth Vega Rodríguez**

Ingeniera Química de la Universidad Nacional de Colombia. Integrante activa del grupo de investigación Termodinámica Aplicada y Energías Alternativas (Tayea), adscrito a la Facultad de Minas de la misma institución. Ha participado en diversos proyectos de investigación sobre procesos termoquímicos, especialmente torrefacción. Posee habilidades y conocimiento en técnicas instrumentales de caracterización por análisis próximo, último y termogravimetría. Algunos de sus artículos son los siguientes: “*Evaluation of the potential of wood wastes in energy applications*” y “*Study of reactivity reduction in sugarcane bagasse as consequence of a torrefaction process*”. Correo electrónico: lyvegar@unal.edu.co

## **Carlos Daniel Rendón Colorado**

Ingeniero mecánico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Cuenta con experiencia en las áreas de diseño mecánico, soldadura y mantenimiento aplicadas a la industria, en la cual se ha desempeñado como ingeniero e investigador. Actualmente forma parte del Centro Tecnológico del Mobiliario-SENA, donde ejerce el rol de investigador e instructor en diseño, desarrollo y mejoramiento de materiales, productos y procesos. Algunos resultados de sus investigaciones en diseño son la participación en dos registros de diseño industrial ante la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia. Correo electrónico: [cdrendon2@misena.edu.co](mailto:cdrendon2@misena.edu.co).

## **Sebastián Tobón Rojas**

Ingeniero biológico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Estudiante de la maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia. Adscrito al grupo de investigación Materiales para el Mobiliario, MATERMOB. Ha participado en proyectos de biotecnología y bioprocesos relacionados con la madera y sus subproductos, identificación de hongos y bacterias nativas con actividad lignocelulósica, y obtención de adhesivos naturales. Actualmente forma parte del Centro Tecnológico del Mobiliario-SENA, donde ejerce el rol de Investigador SENNOVA, en las áreas de ambiental, biotecnología y bioprocesos. Correo electrónico: [stobon3@misena.edu.co](mailto:stobon3@misena.edu.co)

# Tabla de Contenido

<b>Resumen</b> .....	21
<b>Introducción</b> .....	23
Capítulo 1	
<b>Cuantificación de residuos generados en los aserríos</b> .....	25
1. Evaluación cualitativa y cuantitativa .....	25
Referencias bibliográficas .....	36
Capítulo 2	
<b>Selección de maderas de estudio</b> .....	39
1. Criterios de selección de especies de estudio .....	39
2. Descripción del proceso de selección .....	40
3. ¿Por qué analizar y caracterizar al <i>Pinus patula</i> , la <i>Tectona grandis</i> y la <i>Acacia mangium</i> ? .....	45
Referencias bibliográficas .....	46
Capítulo 3	
<b>Generalidades de especies maderables</b> .....	47
1. Estructura de un árbol .....	47
2. Generalidades del Pino pátula .....	52
• Taxonomía .....	52
• Descripción botánica .....	53
• Origen y distribución geográfica .....	53
- Condiciones de cultivo y adaptación.....	54
- Enfermedades, insectos y otros agentes dañinos .....	54

• Características y propiedades de la madera . . . . .	55
- Composición química . . . . .	55
- Propiedades físico-mecánicas . . . . .	56
• Usos finales y aplicaciones . . . . .	57
- Ambiental. . . . .	57
- Medicinal/farmacéutico . . . . .	57
- Productos maderables. . . . .	58
- Industria química . . . . .	58
- Producción de carbón y leña . . . . .	58
<b>3. Generalidades de la <i>Acacia mangium</i> . . . . .</b>	<b>58</b>
• Taxonomía . . . . .	59
• Descripción botánica . . . . .	59
• Origen y distribución geográfica . . . . .	60
- Condiciones de cultivo y adaptación. . . . .	61
- Enfermedades de insectos y otros agentes dañinos . . . . .	61
• Características y propiedades de la madera . . . . .	62
- Composición química . . . . .	62
- Propiedades físico-mecánicas . . . . .	63
• Usos finales y aplicaciones . . . . .	64
- Alimentación . . . . .	64
- Pasta de papel, papel <i>kraft</i> y pulpa química. . . . .	64
- Medicinal/farmacéutico . . . . .	65
- Ambientales . . . . .	65
- Combustible. . . . .	65
- Productos maderables. . . . .	66
<b>4. Generalidades de la <i>Tectona grandis</i>. . . . .</b>	<b>66</b>
• Taxonomía . . . . .	66
• Descripción botánica . . . . .	66
• Origen y distribución geográfica . . . . .	67
- Condiciones de cultivo y adaptación. . . . .	68
- Enfermedades de insectos y otros agentes dañinos . . . . .	68
• Características y propiedades de la madera . . . . .	69
- Composición química . . . . .	69
- Propiedades físico-mecánicas . . . . .	70

• Usos finales y aplicaciones .....	71
- Ornamental .....	71
- Medicinal/farmacéutico .....	72
- Combustible .....	72
Referencias bibliográficas .....	73

## Capítulo 4

### **Aplicaciones energéticas de la madera .....** 79

<b>1. Generación de calor y electricidad .....</b>	<b>83</b>
• Combustión directa .....	84
• Gasificación .....	85
• Pirólisis rápida .....	87
• Digestión anaeróbica (AD) .....	89
<b>2. Producción de biocombustibles para el transporte .....</b>	<b>91</b>
• Fermentación .....	91
• Transesterificación .....	93
• Gasificación combinada con la síntesis de Fischer-Tropsch (FTS) .....	94
<b>3. Síntesis de productos químicos industriales .....</b>	<b>96</b>
<b>4. Influencia de la composición físico-química de la madera .....</b>	<b>100</b>
• Composición química .....	102
• Análisis último .....	102
• Análisis próximo .....	103
• Propiedades físicas .....	107
• Análisis lignocelulósico .....	109
<b>5. Caracterización de productos con base en su uso final .....</b>	<b>111</b>
• Biochar .....	113
• Biogás .....	115
• <i>Syngas</i> .....	117
• Bioaceite .....	119
• Biodiésel .....	121
• Bioetanol .....	123
Referencias bibliográficas .....	125

## Capítulo 5

### **Aplicaciones biotecnológicas de los residuos madereros . . . . .135**

1. Elaboración de pulpa para papel . . . . .	136
• Biopulpado . . . . .	139
• Bioblanqueamiento . . . . .	142
• Parámetros para la producción de la pulpa . . . . .	143
2. Elaboración de pulpa para fibras textiles . . . . .	149
• Obtención de pulpa disuelta . . . . .	152
• Obtención de fibras textiles: el rayón . . . . .	159
• Otros productos de interés obtenidos a partir de la pulpa disuelta . . . . .	167
3. Obtención y aplicación de taninos . . . . .	169
• Taninos condensados . . . . .	170
• Taninos hidrolizables . . . . .	171
• Elaboración de adhesivos basados en taninos . . . . .	174
• Elaboración de bioadsorbentes a partir de taninos . . . . .	179
Referencias bibliográficas . . . . .	189

## Capítulo 6

### **Otras aplicaciones para residuos de madera . . . . .199**

1. Tableros a base de madera . . . . .	200
• Tableros de partículas . . . . .	206
• Tableros de fibras . . . . .	212
• Tableros de virutas orientadas . . . . .	219
• Tableros alistonados . . . . .	226
2. Materiales compuestos . . . . .	234
• Compuestos a base de matriz cerámica (CMC) . . . . .	235
• Compuestos a base de matriz polimérica (PMC) . . . . .	247
3. Compostaje . . . . .	259
4. <i>Pellets</i> de madera . . . . .	266
5. Carbones activados . . . . .	277
Referencias bibliográficas . . . . .	286

## Capítulo 7

### **Metodología y experimentación** .....297

1. Recolección de las muestras	297
2. Preparación preliminar de las muestras	298
3. Métodos analíticos evaluados	299
• Análisis último o elemental	299
• Análisis próximo	300
• Análisis lignocelulósico	302
• Determinación de extractivos	303
• Determinación del contenido de humedad	304
• Determinación de poder calorífico superior	304
• Determinación de densidad aparente	305
• Determinación de pH	306
4. Procesos de conversión termoquímica	306
• Torrefacción	306
• Gasificación	308
• Combustión	309
Referencias bibliográficas	310

## Capítulo 8

### **Resultados y discusiones** .....313

1. Caracterización preliminar de los residuos madereros	313
• Análisis próximo, elemental y lignocelulósico	314
• Contenido de extractivos	320
• Densidad de las especies maderables	322
• pH de las especies maderables	325
2. Caracterización de madera torrefactada	327
3. Comportamiento del gas de síntesis obtenido vía gasificación	332
4. Pruebas de reactividad	337
Referencias bibliográficas	340



Este libro se terminó de imprimir en  
noviembre de 2019 en Panamericana Formas  
e Impresos S.A. Bogotá D. C., Colombia