



Libertad y Orden
REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

Atlas

del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia



Departamento Administrativo de
Ciencia, Tecnología e Innovación
Colciencias
República de Colombia



ISBN: 978-958-8504-59-9

ÁLVARO URIBE VÉLEZ, Presidente de la República de Colombia

MINISTERIOS DEL RAMO

Hernán Martínez Torres, Ministro de Minas y Energía

Carlos Costa Posada, Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME

Ricardo Rodríguez Yee, Director General

Beatriz Herrera Jaime, Subdirectora de Planeación Energética

Olga Victoria González González, Coordinadora Grupo de URE y FNCE

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, Ideam

Ricardo José Lozano Picón, Director General

Mauricio Cabrera Leal, Subdirector de Estudios Ambientales

Luz Marina Arévalo Sánchez, Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, Colciencias

Juan Francisco Miranda Miranda, Director

Jorge Alonso Cano Restrepo, Director de Desarrollo Tecnológico e Innovación

Yesid Ojeda Papagayo, Asesor Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, UIS

Jaime Alberto Camacho Pico, Rector

Óscar Gualdrón González, Vicerrector de Investigación y Extensión

Marianny Yajaira Combariza, Directora Ceiam

Agradecimientos

Agradecimientos



La Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias y la Universidad Industrial de Santander, UIS, hacen un reconocimiento y agradecen a las entidades que suministraron información referente a las áreas de cultivos, masas y volúmenes de biomasa residual, población de especies, cantidad de productos generados y cartografía base oficial.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

Instituto Para la Economía Social (IPES)

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (Uaesp)

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)

Corporación Colombiana Internacional (CCI)

Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé)

Secretaría Departamental de Agricultura de Casanare

Secretaría Departamental de Agricultura de Quindío

Secretaría Departamental de Agricultura de Santander

Secretaría Departamental de Agricultura de Valle del Cauca

Empresa de Aseo de Bucaramanga (EMAB) S.A.

Empresa Metropolitana de Aseo de Manizales

Empresa de Servicio Público de Aseo de Cali (Emsirva)

Empresas Varias de Medellín (EEVVM)

Interaseo S.A.

Triple A S.A.

Asociación de Bananeros de Colombia (Augura)

Asociación Colombiana de Porcicultores (Asoporcicultores)

Central de Insumos y Materias Primas para la Industria Alimentaria (Cimpa)

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña)

Centro de Investigaciones en Palma de Aceite (Cenipalma)

Corporación de Abastos de Bogotá S.A. (Corabastos)

Federación Nacional de Arroceros (Fedearroz)

Federación Nacional de Biocombustibles (Fedebiocombustibles)

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce)

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma)

Federación Nacional de Avicultores de Colombia (Fenavi)

Federación Nacional de Ganaderos (Fedegán)

Igualmente un especial agradecimiento a los funcionarios y personas de las oficinas jurídicas, administrativas y de apoyo de la UPME, Ideam, Colciencias y la UIS, sin cuya participación no hubiera sido posible el logro del presente trabajo, disponible para el país.

Autores

Autores



Humberto Escalante Hernández,
Ingeniero Químico, M.Sc., Ph. D.
Profesor Escuela de Ingeniería Química
Universidad Industrial de Santander - UIS

Janneth Orduz Prada
Ingeniera Química, Especialista en Ingeniería Ambiental
Profesional Especializada del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (Ceiam)
Universidad Industrial de Santander - UIS

Henry Josué Zapata Lesmes
Físico M. Sc.
Unidad de Planeación Minero Energética – UPME

María Cecilia Cardona Ruiz
Ingeniera Forestal, Especialista en Sistemas de Información, M. Sc.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam

Martha Duarte Ortega
Economista, M.Sc.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam

Personal de apoyo

Personal de apoyo



Recolección de información

Natalie Alexandra Amézquita Fonseca, Ingeniera Química

Lina Marcela Barco Pineda, Ingeniera Química

Laura Jimena Herrera Araque, Auxiliar Administrativa

Óscar Fernando Corredor Becerra, Ingeniero Químico

Otoniel Zabala, Ingeniero Químico

Olga Lucía Amaris Rincón, estudiante de Ingeniería Química

Diana Patricia Galvis Pinzón, estudiante de Ingeniería Química

Diana Rocío Ortiz Rodríguez, Ingeniera Química

Muestreo

Claudia Johanna Sandoval Lozano, Bióloga

Ronald Jovanny Serrano Vargas, Tecnólogo Ambiental

Sergio Alejandro Galvis Mancipe, Tecnólogo Ambiental

Edilfredo Vega Ortiz, Tecnólogo Ambiental

Óscar Villamizar Navas, Ingeniero Químico

Otoniel Zabala, Ingeniero Químico

Carlos Fernando Gamboa Niño, Ingeniero Químico

Análisis de laboratorio

Yaneth Quintero, Química y Especialista en Química Ambiental

Patricia Pico, Química

Potencial energético biomasa residual del sector agrícola

Fabián Emilio Viña López, Ingeniero Químico

Arnulfo Antonio López Villalobos, estudiante de Ingeniería Química

Ingrid Johana Miranda Caicedo, estudiante de Ingeniería Química

Diana Constanza Tolosa Rojas, estudiante de Ingeniería Química

Edwin Gustavo Rojas Puerto, estudiante de Ingeniería Química

Potencial energético biomasa residual del sector pecuario

Arturo González Quiroga, Ingeniero Químico

Natalie Alexandra Amézquita Fonseca, Ingeniera Química

Martha Lucía Acevedo León, estudiante de Ingeniería Química

Paola Andrea Sanguino, estudiante de Ingeniería Química

Nathalia Andrea Téllez Anaya, estudiante de Ingeniería Química

Potencial energético biomasa del sector de los residuos sólidos orgánicos

Wilmar Uribe Soto, Ingeniero Químico

Diana Rocío Ortiz Rodríguez, Ingeniera Química

Otoniel Zabala, Ingeniero Químico

Plataforma de sistema de información geográfico

José Luis Leal Gómez, Ingeniero de Sistemas

Henry Humberto Flantrmsky Cárdenas, Especialista en Informática

Elaboración vistas de impresión

Luis Alberto Morales, Ingeniero Civil

Diana Marcela Buitrago, Economista

Consultores expertos

Consultores expertos



Carlos Aníbal Vásquez, Médico Veterinario

Darío Villamizar, Ingeniero Forestal, M.Sc. Geografía Física

Nelson Rodríguez, Biólogo, Ph. D. en Ciencias Agrarias

Pedro Ferrada, Ingeniero Químico, M.Sc. Ingeniería Química

Teresa del Socorro Blanco Tirado, Ingeniera Agrónoma

Comité ejecutivo

Comité ejecutivo



Unidad de Planeación Minero Energética - UPME

Henry Josué Zapata Lesmes, Físico, M.Sc.

Ciro Serrano Camacho, Ingeniero Químico, M.Sc.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam

Luz Dary Yepes Rubiano, Ingeniera Forestal

María Cecilia Cardona Ruiz, Ingeniera Forestal, M.Sc.

Martha Duarte Ortega, Economista, M.Sc.

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias

Dionisio Laverde Cataño, Ingeniero Metalúrgico, Ph. D.

Yesid Ojeda Papagayo, Ingeniero Químico, M.Sc.

Diana Maribel Cortés Rojas, Ingeniera Química

Universidad Industrial de Santander – UIS

Humberto Escalante Hernández, Ingeniero Químico, Ph. D.

Janneth Orduz Prada, Ingeniera Química, Especialista en Ingeniería Ambiental



Contenido

Contenido



	Pág.
PRÓLOGO	23
GENERALIDADES	27
INTRODUCCIÓN	27
¿Qué es el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual?	28
Cómo se elaboró el Atlas	29
Selección de fuentes generadoras de biomasa residual	29
Sector agrícola	30
Sector pecuario	31
Sector de los Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos (RSOU)	31
Recopilación de información de oferta de biomasa residual	32
Muestreo y caracterización de la biomasa	32
Potencial energético de la biomasa	32
Procesamiento de datos y elaboración de mapas	33
Como interpretar los mapas	33
Capítulo 1 Mapas del Sector Agrícola	37
Capítulo 2 Mapas del Sector Pecuario	91
Capítulo 3 Mapas del Sector Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos	107
Anexo A Biomasa, fuente renovable de energía	117
Introducción	117
1. Biomasa	118
1.1 Fuentes de generación de biomasa residual	120
1.2 Biomasa residual del sector agrícola	121
1.2.1 Residuos forestales	121
1.2.2 Cultivos energéticos	121
1.3 Biomasa residual del sector pecuario	121
1.4 Biomasa residual del sector residuos sólidos urbanos	122
2. Características de la biomasa	122
2.1 Composición de la biomasa	123
2.2 Contenido energético de la biomasa	123

3.	Recolección, transporte y utilización de la biomasa	123
4.	Procesos aplicados para la conversión energética de la biomasa	125
4.1	Procesos termoquímicos	125
4.2	Procesos bioquímicos	126
5.	Antecedentes relativos al estudio de la biomasa como fuente de energía	126
	Bibliografía	128
	Anexo B Muestreo y caracterización de la biomasa residual en Colombia	131
	Introducción	131
1.	Población base de estudio	132
2.	Puntos de muestreo	132
3.	Caracterización de la biomasa	133
3.1	Análisis fisicoquímico	134
3.2	Contenido energético	136
3.3	Caracterización microbiológica	137
4.	Características de la biomasa residual del sector agrícola	138
5.	Características de la biomasa residual del sector bovino	139
6.	Características de la biomasa residual del sector porcino	139
7.	Características de la biomasa residual del sector avícola	140
8.	Características de la biomasa de residuos orgánicos urbanos de plazas de mercado y podas	141
	Bibliografía	142
	Anexo C Protocolo para el muestreo de la biomasa residual	143
	Introducción	143
1.	Responsabilidad de la aplicación del protocolo	143
2.	Unidad de muestreo	143
2.1	Unidad de muestreo sector agrícola	143
2.2	Unidad de muestreo sector pecuario	143
2.3	Unidad de muestreo del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos	145
3.	Tamaño de la muestra	145
4.	Método de muestreo	145
4.1	Método de muestreo sector agrícola	145
4.2	Método de muestreo sector pecuario	145
4.2.1	Recomendaciones para el muestreo sub-sector bovino	145
4.2.2	Recomendaciones para el muestreo sub-sector porcino	146
4.2.3	Recomendaciones para el muestreo sub-sector avícola	147
4.3	Método de muestreo sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos	147
5.	Herramientas y materiales para muestreo de biomasa	148
6.	Documentación del muestreo	148

Anexo D Modelos matemáticos para evaluar potencial energético de biomasa residual	150
Introducción	150
1. Modelo de potencial energético para el sector agrícola	150
2. Modelo matemático para calcular el potencial energético del sector pecuario	151
2.1 Modelo del potencial energético en función del proceso de digestión anaerobia	151
2.2 Modelo matemático para calcular el potencial energético de la biomasa residual de aves de engorde	152
3. Modelo matemático para calcular el potencial energético de los residuos sólidos orgánicos urbanos	152
3.1 Modelo para residuos sólidos orgánicos urbanos - centros de acopio y plazas	152
3.2 Modelo para residuos sólidos orgánicos urbanos - poda	153
Bibliografía	154
Anexo E Potencial energético departamental de la biomasa residual	155
Introducción	155
1. Sector agrícola	155
2. Sector Pecuario	165
3. Sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos	170
Bibliografía	172
GLOSARIO	174
CONVENCIONES Y UNIDADES	176
ÍNDICE TEMÁTICO	177

Lista de mapas

Lista de mapas



	pág.
SECTOR AGRÍCOLA	
Zonas de producción de los cultivos de:	
Arroz	50
Maíz	55
Banano	60
Café	65
Caña de azúcar	70
Caña de panela	75
Palma de aceite	80
Plátano	85
Localización municipal anual de los residuos de cultivos:	
Agrícolas	38
Transitorios	39
Permanentes	40
Arroz	51
Maíz	56
Banano	61
Café	66
Caña de azúcar	71
Caña de panela	76
Palma de aceite	81
Plátano	86
Cantidad municipal anual de los residuos de cultivos:	
Agrícolas	41
Transitorios	42

Permanentes	43
Arroz	52
Maíz	57
Banano	62
Café	67
Caña de azúcar	72
Caña de panela	77
Palma de aceite	82
Plátano	87

Potencial energético municipal anual de los residuos de cultivos:

Agrícolas	44
Transitorios	45
Permanentes	46
Arroz	53
Maíz	58
Banano	63
Café	68
Caña de azúcar	73
Caña de panela	78
Palma de aceite	83
Plátano	88

Rendimiento neto de energía municipal anual de los residuos de cultivos:

Agrícolas	47
Transitorios	48
Permanentes	49
Arroz	54
Maíz	59
Banano	64
Café	69
Caña de azúcar	74
Caña de panela	79
Palma de aceite	84
Plátano	89

SECTOR PECUARIO

Zonas de producción del sector:

Avícola	94
Bovino	98
Porcino	102

Población total municipal anual del sector:

Avícola	95
Bovino	99
Porcino	103

Cantidad total municipal anual de estiércol del sector:

Pecuario	92
Avícola	96
Bovino	100
Porcino	104

Potencial energético municipal anual de estiércol del sector:

Pecuario	93
Avícola	97
Bovino	101
Porcino	105

SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS

Zonas de producción del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos	108
--	-----

Cantidad total municipal anual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de centros de acopio y plazas de mercado y poda	109
---	-----

Cantidad municipal anual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos:

Centros de acopio y plazas de mercado	111
Poda	113

Potencial energético total municipal anual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos centros de acopio y plazas de mercado y poda.	110
---	-----

Potencial energético municipal anual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos:

Centros de acopio y plazas de mercado	112
Poda	114

Sitios seleccionados en Colombia para muestreo de biomasa residual	144
--	-----

Lista de tablas

Lista de tablas



	Pág.
Tabla 1. Consolidado de consultas	34
Tablas de caracterización en base seca de la biomasa residual agrícola del cultivo transitorio de:	
Tabla 2. Arroz	52
Tabla 3. Maíz	57
Tablas de caracterización en base seca de la biomasa residual agrícola del cultivo permanente de:	
Tabla 4. Banano	62
Tabla 5. Café	67
Tabla 6. Caña de azúcar	72
Tabla 7. Caña de panela	77
Tabla 8. Palma de aceite	82
Tabla 9. Plátano	87
Tablas de caracterización en base seca de la biomasa residual del sector:	
Tabla 10. Avícola	96
Tabla 11. Bovino	100
Tabla 12. Porcino	104
Tablas de caracterización en base seca de la biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de:	
Tabla 13. Centros de acopio y plaza de mercado	111
Tabla 14. Poda	113
Tabla 15. Tipos de biomasa residual	122
Tabla 16. Poder calórico inferior para biomasa residual en Colombia	124
Tablas de población de estudio y sitios seleccionados para la toma de muestras de la biomasa residual del sector:	
Tabla 17. Agrícola	132
Tabla 18. Pecuario	133

Tabla 19.	Sitios seleccionados para la toma de muestras de la biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos y de podas	134
Tabla 20.	Comparativo de la caracterización de la biomasa residual agrícola	138
	Tablas de potencial energético departamental para biomasa residual de:	
Tabla 21.	Arroz	156
Tabla 22.	Banano	157
Tabla 23.	Café	158
Tabla 24.	Caña de azúcar	158
Tabla 25.	Caña de panela	159
Tabla 26.	Maíz	160
Tabla 27.	Palma de aceite	161
Tabla 28.	Plátano	162
Tabla 29.	Potencial energético de la biomasa residual agrícola en Colombia	163
Tabla 30.	Potencial energético departamental de la biomasa residual del sector agrícola	164
	Tablas de potencial energético departamental de la biomasa residual del sector:	
Tabla 31.	Avícola	165
Tabla 32.	Bovino	166
Tabla 33.	Porcino	167
Tabla 34.	Pecuario	168
Tabla 35.	Potencial energético para la biomasa residual del sector pecuario en Colombia	169
	Tablas de potencial energético municipal de la biomasa residual del sector de residuos sólidos orgánicos urbanos:	
Tabla 36.	Centros de acopio y plazas de mercado	170
Tabla 37.	Poda	171
Tabla 38.	Doce ciudades de Colombia	171

Lista de figuras

Lista de figuras

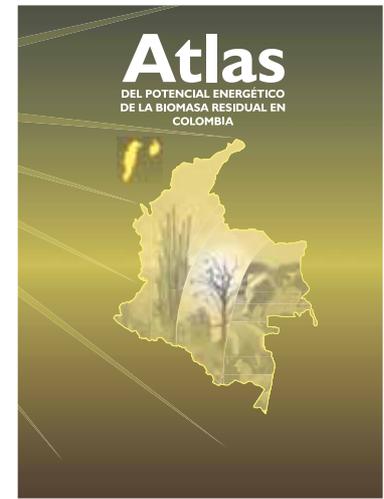


		pág.
Figura 1.	Cómo se elaboró el Atlas	29
Figura 2.	Fuentes de biomasa residual	30
Figura 3.	Cultivos generadores de biomasa residual	30
Figura 4.	Animales del sector pecuario generadores de biomasa	31
Figura 5.	Sector de los RSOU - ciudades generadoras de residuos	31
Figura 6.	Flujos de energía solar almacenados en biomasa residual	117
Figura 7.	Clasificación de las fuentes de energía	118
Figura 8.	Transformaciones energéticas de la biomasa	125
Figura 9.	Plantilla descriptiva del sitio a muestrear residuos	149



Prólogo

Prólogo



Teniendo en cuenta las actuales circunstancias nacionales relacionadas con temas como el crecimiento poblacional, los retos financieros y económicos, la sostenibilidad ambiental de nuestros recursos y las nuevas dinámicas del clima en Colombia, se hace necesario pensar en una política energética que formule estrategias para construir escenarios de abastecimiento diversificado, en el marco de la promoción de la seguridad energética, el uso racional y eficiente de los recursos y la integración regional.

En ese sentido y con el fin de reducir los riesgos ocasionados por la dependencia de las fuentes energéticas poco amigables con el medio ambiente, se debe avanzar en la realización de inventarios del potencial de fuentes renovables, la evaluación del desempeño de sus aplicaciones y la determinación de las condiciones óptimas para su aprovechamiento, que coadyuven decididamente a satisfacer las necesidades de la población y permitan un ritmo sostenido de crecimiento económico.

Es así, como este documento incluye la identificación, la caracterización y la evaluación del potencial energético de los residuos orgánicos provenientes de ocho cultivos promisorios, tres actividades pecuarias y dieciocho municipios como fuente de residuos sólidos urbanos en plazas de mercado, además de los generados por las podas en áreas urbanas.

Este Atlas es uno de los resultados de la aplicación de la política mencionada que se adiciona como complemento a las publicaciones: Atlas de Radiación Solar y Atlas de Viento y Energía Eólica, realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam, y la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. En él se aportan referencias para establecer y dimensionar la oferta energética de la biomasa residual, y proponer soluciones que permitan atender necesidades rurales y urbanas, con claros beneficios para la salud humana, el medio ambiente y los recursos naturales.

El conocimiento relacionado con el potencial energético de la biomasa contribuye a mejorar las acciones para el aprovechamiento eficiente de los residuos sólidos orgánicos con fines energéticos, ligado a beneficios ambientales como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la minimización de la disposición de contaminantes al suelo, agua y aire. Lo anterior, tendiente al desarrollo de mecanismos que contribuyan al logro de mayor competitividad en un mundo globalizado, teniendo en cuenta la realización de negociaciones sostenibles derivadas de la utilización adecuada de los residuos de la biomasa.

En ese marco, la UPME, el Ideam, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias y la Universidad Industrial de Santander - UIS, ponen a disposición de la comunidad nacional e internacional, los agentes del sector, la academia y demás grupos de interés, este estudio que sin duda aportará de manera significativa al desarrollo energético y ambiental de Colombia.

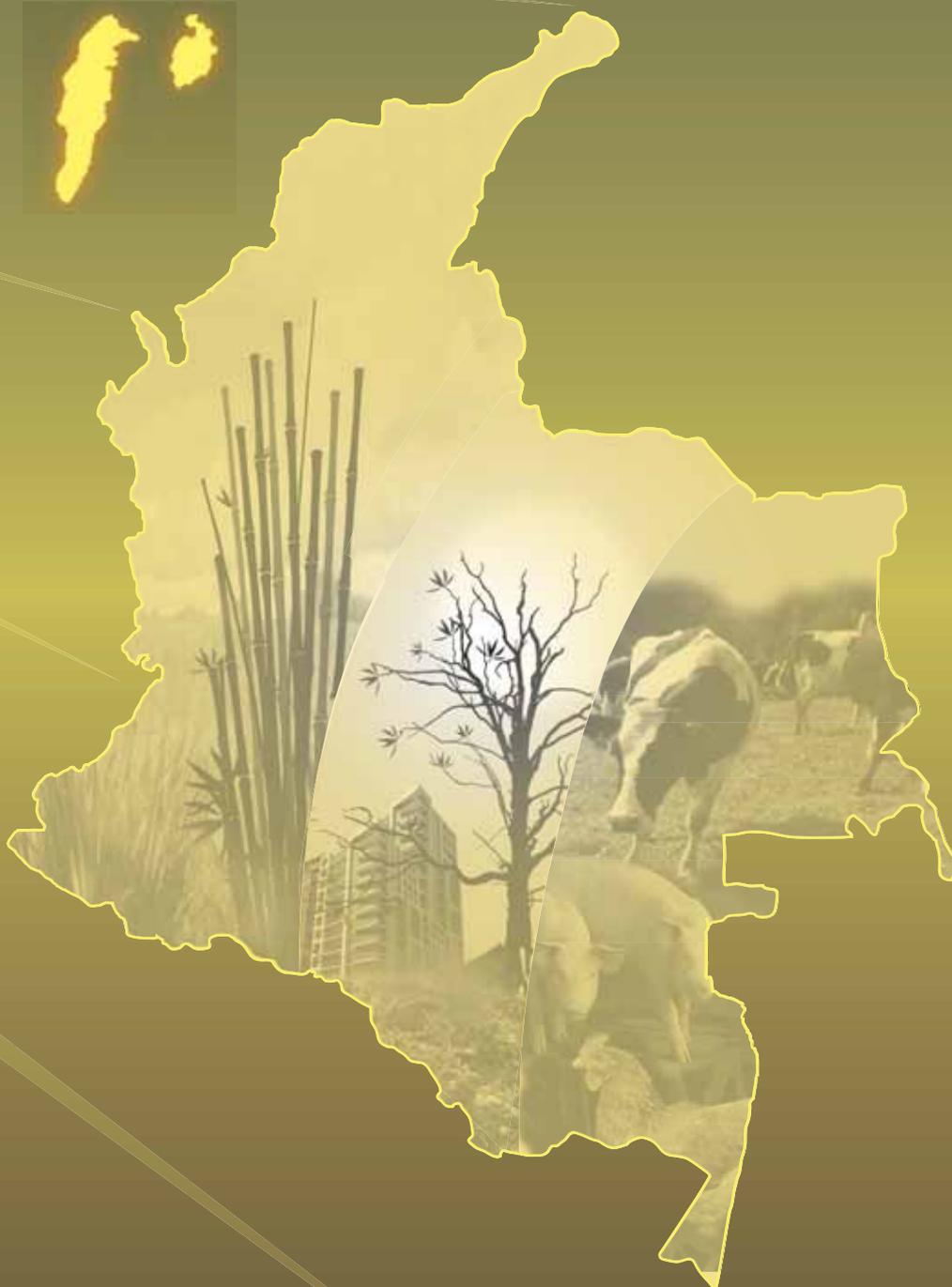
Ricardo Rodríguez Yee
Director General UPME

Ricardo José Lozano Picón
Director General Ideam



Atlas

DEL POTENCIAL ENERGÉTICO
DE LA BIOMASA RESIDUAL EN
COLOMBIA





Generalidades

Generalidades



INTRODUCCIÓN

El incremento del consumo energético mundial de los últimos años¹, el interés por reducir la dependencia del petróleo por parte de los países importadores y la necesidad de disminuir los problemas ambientales asociados con el uso de los combustibles fósiles, ha direccionado los esfuerzos de las empresas, el gobierno y la academia hacia el estudio de los potenciales de fuentes alternativas y renovables de energía.

Los usos potenciales de la biomasa como fuente alternativa de energía y sus posibles esquemas tecnológicos de aprovechamiento, exigen que se profundice en el conocimiento de los aspectos específicos relacionados con su oferta, composición y potencial energético.

La información recopilada sobre la oferta nacional de biomasa residual y su potencial energético se consolida mediante mapas que facilitan el acceso al conocimiento y su análisis, de manera más eficiente. El *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*, evalúa la oferta energética de la biomasa contenida en algunas especies representativas de los sectores agrícola, pecuario y de los residuos sólidos orgánicos urbanos.

¹ En el año 2005 el consumo mundial de energía primaria alcanzó los 465.2 cuatrillones de BTU. En los últimos 10 años, la tasa de crecimiento promedio anual del consumo energético mundial ha sido de 1,9% (Ministerio de Minas y Energía, Plan Energético Nacional Contexto y Estrategias 2006-2025. Bogotá, abril de 2007).

Este Atlas complementa las investigaciones realizadas en energías renovables por la UPME y el Ideam (2005 y 2006), en las cuales se ha establecido la oferta energética de otros recursos renovables². En este trabajo se recopiló información del sector agrícola, representado en ocho especies, la cual se tomó del Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural -MADR del año 2006. Para el sector pecuario, subsectores avícola y bovino, se recopiló la información del inventario de granjas del Instituto Colombiano Agropecuario del año 2008 y para el subsector porcícola la información fue suministrada por la Asociación Colombiana de Porcicultores para el año 2007. La información de los residuos sólidos urbanos y de plazas de mercado fue suministrada por las empresas de aseo para los años 2007 y 2008. Adicionalmente, otras entidades del estado y del sector industrial colaboraron suministrando información.

Así mismo este trabajo ha contemplado: a) el estudio de la composición fisicoquímica y el contenido energético de la biomasa residual, a partir de muestreos de campo a nivel nacional y b) una versión digital del Atlas que resume los resultados del proyecto.

El Atlas se estructura en tres capítulos para cada sector y cinco anexos con la información

² Atlas de viento y energía eólica de Colombia, Ideam-UPME, 2006; Atlas de radiación solar de Colombia, Ideam, 2005; Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas, UPME, 2002, así como otros estudios disponibles en <http://www.si3ea.gov.co/Biomasa/tabid/133/Default.aspx>.

requerida para la construcción de los mapas en el nivel departamental y municipal.

El primer capítulo, dedicado al sector agrícola, contiene 52 mapas que representan en forma espacial la producción anual de residuos, el potencial energético bruto y el rendimiento neto de energía para los cultivos permanentes y transitorios.

El segundo capítulo, que contiene el sector pecuario, está conformado por 14 mapas con la representación espacial de la población pecuaria, la cantidad de estiércol y el potencial energético.

El tercer capítulo contempla siete mapas con la información correspondiente a la cantidad y el potencial energético anual de los residuos sólidos orgánicos urbanos. En los capítulos 1, 2 y 3 se presenta para cada sector, en forma de tabla, la información sobre la caracterización fisicoquímica, microbiológica y energética de las fuentes de biomasa.

El Anexo A incluye las bases conceptuales sobre biomasa residual como fuente de energía; el Anexo B explica el proceso de muestreo y caracterización de la biomasa; el Anexo C presenta el protocolo del monitoreo; en el Anexo D se describen los modelos matemáticos utilizados para evaluar el potencial energético de la biomasa y el Anexo E consolida, mediante tablas, la oferta de biomasa y el potencial energético.

Los resultados se alcanzaron con el concurso de entidades gubernamentales y privadas que suministraron la información relacionada con los sectores de estudio.

¿Qué es el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual?

El *Atlas*³ es un conjunto de mapas que

³ Este Atlas tiene el respaldo de un formato digital

muestran la cantidad de biomasa residual producida en Colombia y su correspondiente potencial energético para ocho cultivos agrícolas, tres especies pecuarias y los residuos sólidos orgánicos urbanos provenientes de las plazas de mercado de 12 ciudades y la poda de zonas verdes de 10 ciudades, y su correspondiente potencial energético.

El Atlas recopila y consolida información sobre el área cultivada, la población pecuaria y el volumen de residuos sólidos orgánicos urbanos. Muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica, en el nivel nacional, de 96 muestras de campo realizadas en el año 2008. Presenta el potencial energético anual por unidad de área, en el nivel departamental y municipal de la biomasa, estimado mediante el diseño de modelos matemáticos específicos. En general se elaboraron los siguientes conjuntos de mapas:

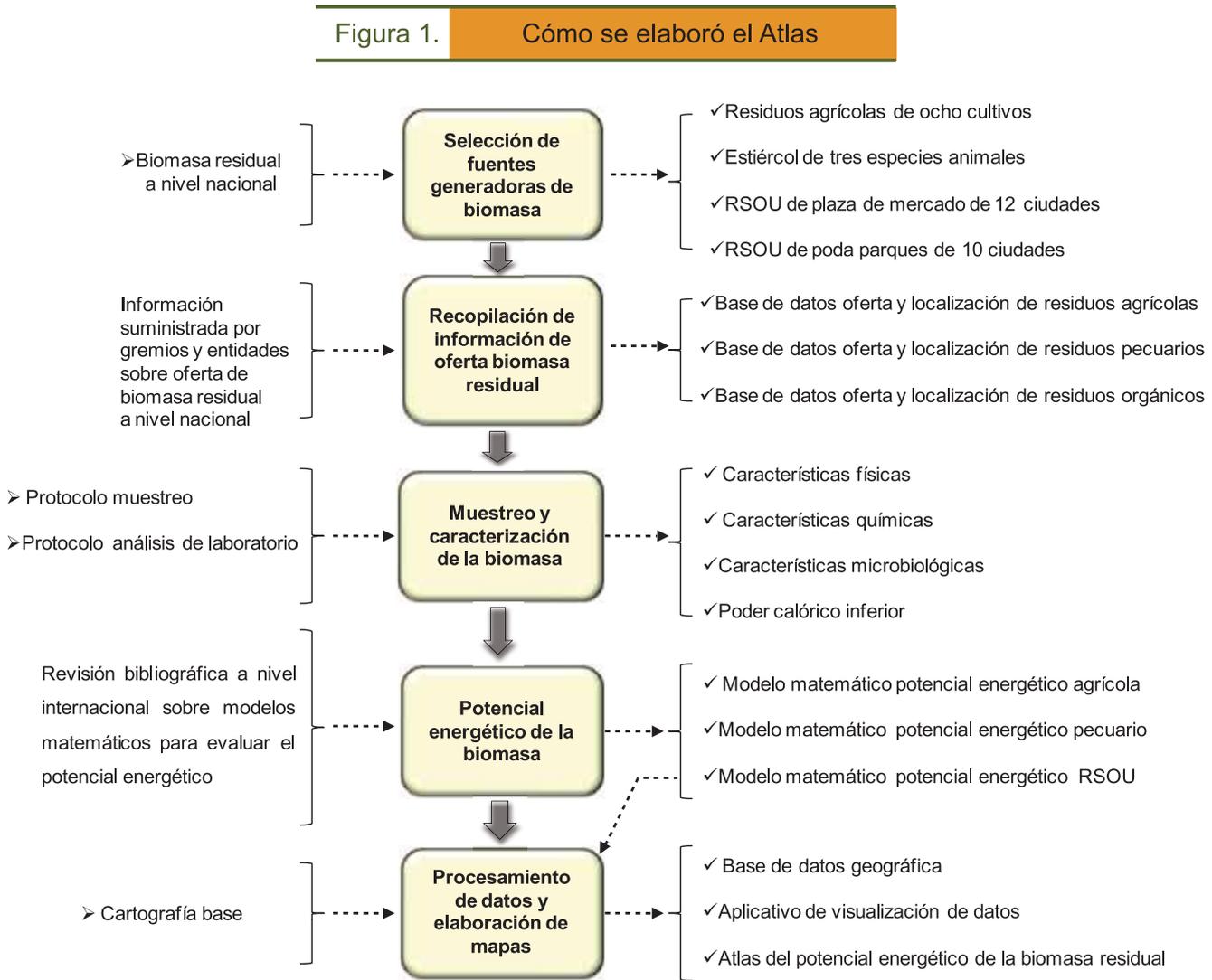
- Zonas de producción de biomasa residual, agrupadas por características comunes de producción.
- Localización de los cultivos en el nivel municipal y departamental y área cultivada por año [ha/año].
- Población pecuaria, número de cabezas de animales por año.
- Cantidad de biomasa residual por fuente generadora, toneladas de residuos producidos por año [t/año].
- Potencial energético de la biomasa residual, por sector y especie, Tera Joules por año [TJ/año].
- Rendimiento neto de energía, concentración de oferta energética por unidad de área cultivada, Tera Joules por hectárea y por año [TJ/ha-año].

denominado Sistema de Información Geográfica de la Biomasa Residual en Colombia, el cual facilita la visualización de 390 mapas. Para la presente edición impresa se ha tomado una muestra representativa conformada por 73 mapas.

Es necesario tener en cuenta que los municipios cuya actividad agrícola no es eficientemente tecnificada generen una oferta de biomasa residual por hectárea alta, es decir existe mayor cantidad de residuo con potencialidad de aprovechamiento (Rendimiento neto de energía).

Cómo se elaboró el Atlas

El proceso de elaboración del Atlas contempló cinco etapas básicas, como se ilustra en la Figura 1.

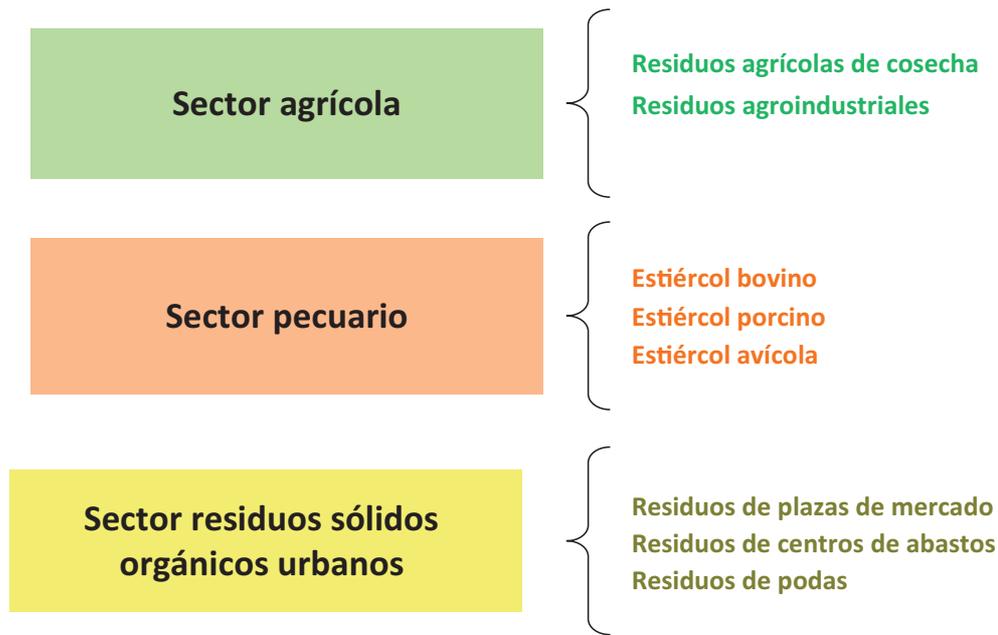


Selección de fuentes generadoras de biomasa residual

En el contexto agropecuario e industrial del país existe gran variedad de fuentes de biomasa residual. Por lo anterior, la primera etapa en la elaboración del Atlas fue seleccionar, dentro de los sectores agrícola, pecuario y de residuos sólidos orgánicos

urbanos, las especies representativas y el tipo de biomasa a estudiar. Las fuentes generadoras de biomasa residual seleccionadas se esquematizan en la Figura 2. Por otra parte la definición de las variables de estudio se realizó con base en el análisis y la valoración de criterios específicos para cada sector.

Figura 2. Fuentes de biomasa residual

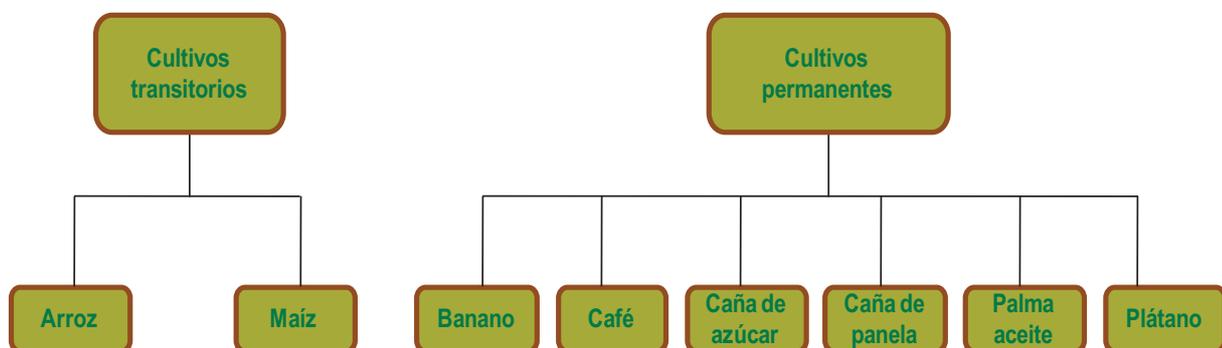


Sector agrícola

La biomasa residual en este sector está conformada por los subproductos que se generan durante los procesos de recolección y transformación de las cosechas, definidos como residuos agrícolas de cosecha y

residuos agroindustriales. En este caso se representan los cultivos, la relación de generación de biomasa residual y el porcentaje de participación en la producción agrícola nacional. Como resultado se seleccionaron ocho cultivos que se exponen en la Figura 3.

Figura 3. Cultivos generadores de biomasa residual

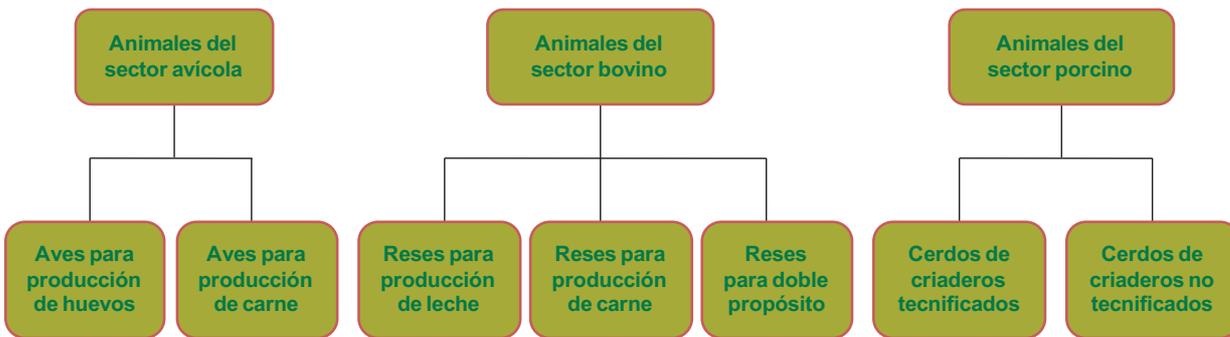


Sector pecuario

La muestra representativa para el sector pecuario se seleccionó con base en el porcentaje de participación de las diferentes actividades y en la disponibilidad de la información relativa a los censos

poblacionales por especie. Como resultado se incluyeron en el estudio los subsectores bovino, porcino y avícola, según los sistemas de producción. El estiércol generado por las cadenas productivas es considerado como la biomasa residual para este sector (Figura 4.).

Figura 4. Animales del sector pecuario generadores de biomasa



Sector de los Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos (RSOU)

Para la selección de la muestra representativa de biomasa de este sector, se tomó la relación entre la población urbana y el volumen de residuos que genera, teniendo en cuenta la disponibilidad de información de los gremios.

Por lo anterior, en el estudio se consideraron los residuos provenientes de los centros de abastos, plazas de mercado y por la poda de las zonas verdes urbanas (ver Figura 5).

Figura 5. Sector de los RSOU – ciudades generadoras de residuos



Recopilación de información de oferta de biomasa residual

Para recolectar la información referente a la oferta y localización de la biomasa residual, de los residuos de los ocho cultivos, el estiércol de las tres especies de animales y los residuos orgánicos urbanos de las 12 ciudades, se realizó una labor de acercamiento a las empresas y entidades relacionadas con los sectores objeto del estudio. En este proceso se informó a las empresas sobre la importancia y necesidad de contar con la información necesaria para elaborar el Atlas. Esta etapa fue dispendiosa, en razón a que muchas entidades no poseían este tipo de información o sus reportes no eran periódicos. Por otra parte, la generación de los residuos para cada sector está relacionada con variables espaciales y de tiempo diferentes. Un número significativo de entidades del sector público y privado participaron en la elaboración del Atlas, suministrando la información requerida en cada caso sobre las cantidades y localización de los residuos producidos. En algunos casos la información correspondió a estudios previamente realizados como censos, y en otros escenarios, fueron datos referentes a los consolidados que las empresas poseen dentro de su cadena productiva.

En el sector agrícola la información sobre áreas sembradas, ubicación de los cultivos, rendimientos y cantidades de residuos generados, se obtuvo del Anuario Estadístico del Sector Agropecuario (Ministerio de Agricultura, 2006) y de los gremios y/o centros de investigación del sector, como por ejemplo Cenipalma, Cenicaña, Cimpa, Cenicafé, Augura, Fedearroz y Fenalce.

En el sector pecuario la información sobre la población y localización de los animales, para el caso del subsector avícola y bovino, fue suministrada por el Instituto Colombiano Agropecuario, y para el sector porcino por la Asociación Colombiana de Porcicultores. En cuanto a la cantidad de estiércol generado por especie, ésta se fundamentó en la consulta directa a expertos.

En el sector de los residuos sólidos urbanos la información sobre los volúmenes de residuo generado se obtuvo a partir de los datos que entregaron las empresas de servicios públicos, empresas administradoras de centros de abastos y las secretarías de planeación de las ciudades seleccionadas para este estudio.

Una vez recolectada la información se procedió a elaborar una base de datos para cada sector. Esta información es indispensable para calcular el potencial energético de la biomasa residual. Es de resaltar que la colaboración de las empresas particulares y entidades estatales ha sido de gran ayuda para poder elaborar los mapas de cantidad y localización de la biomasa residual en Colombia.

Muestreo y caracterización de la biomasa

Se recolectaron muestras en el ámbito nacional para cada una de las fuentes de biomasa residual de los sectores de estudio. La toma de las muestras se realizó siguiendo el estándar de calidad del laboratorio de análisis fisicoquímico del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales, de la UIS. A las diferentes muestras de biomasa se les realizaron: los análisis básico, último o elemental, próximo y de Poder Calórico Inferior (PCI).

Adicionalmente, para los sectores agrícola y de los residuos sólidos orgánicos, se incluyó el análisis de lignina, celulosa y hemicelulosa. Así mismo, para el sector pecuario se incluyó el análisis microbiológico de las muestras.

En el anexo B se describen los puntos de muestreo y las variables evaluadas. En el Anexo C se presenta el protocolo empleado para realizar la caracterización fisicoquímica y energética de la biomasa residual.

Potencial energético de la biomasa

Para calcular el potencial energético de la biomasa residual se desarrollaron modelos matemáticos para los residuos de los sectores

estudiados. Básicamente, los modelos son una función de “la masa del residuo” y de “su contenido energético”, el cual se calculó evaluando el Poder Calórico Inferior (PCI). Por otra parte los modelos para cada sector de estudio (ver Anexo D) difieren entre sí en la forma como se define el término “masa del residuo”.

En el Anexo E se presenta información tabulada referente a oferta de biomasa y potencial energético para los tres sectores en el nivel departamental.

Procesamiento de datos y elaboración de mapas

Los mapas del Atlas se elaboraron tomando como referencia la cartografía oficial de la división político administrativa y de fronteras de Colombia a escala 1:500.000; el mapa de intensidad de uso de la tierra para identificar las actuales zonas productoras de la especie; el modelo digital de elevación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y las coberturas correspondientes a temperatura, radiación y precipitación, generadas por el Ideam.

Para la elaboración de los mapas se utilizó la cartografía base para la representación espacial de la oferta de biomasa, su caracterización y su potencial energético. Esta operación requirió el desarrollo de un aplicativo informático en ArcGis Desktop mediante la *Arc toolbox*. Esta herramienta informática compila y estructura la información para permitir la actualización y visualización de los mapas temáticos, los datos contenidos en la geodatabase, las consultas (mapas) y los ajustes a los modelos del potencial energético. Así mismo, a futuro, esta herramienta informática puede ser robustecida con información y cálculos para otras especies de biomasa residual.

Aun cuando la escala de trabajo fue 1:500.000, para la representación de los mapas se tomó la escala de 1:7.000.000. Se definió como la unidad mínima de representación espacial el municipio, en razón a que no fue posible obtener información referente a la localización

de las áreas cultivadas, la población de animales y la cantidad de residuos sólidos en un nivel más detallado.

Los mapas son la representación gráfica de un grupo de consultas que se organizaron para las variables de interés:

- Área cultivada/población, cantidad
- Potencial energético
- Rendimiento neto de energía de la biomasa residual

En cada una de estas variables se representó la información teniendo en cuenta su integralidad (global por sector/específica por especie) y la unidad de mapeo (departamental/ municipal). En total se elaboraron 424 mapas; ver Tabla 1.

La representación espacial de la biomasa del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos se realizó únicamente en el nivel municipal, en razón al reducido número de municipios que reportaron la información.

Cómo interpretar los mapas

- Para cada una de las variables representadas espacialmente se utilizó una escala de valores distribuida en intervalos teniendo en cuenta la magnitud del máximo valor de cada variable. El tamaño de cada intervalo se definió según la distribución de los datos.
- Para la representación de las escalas se utilizó una gama degradada de color, de forma que su intensidad está asociada a un rango de valores de la variable que representa. Por ejemplo, la variable “Localización de la biomasa residual” se representa con colores que van desde el amarillo hasta el marrón, la variable “Cantidad de biomasa residual” se identifica con la gama del color verde, la variable “Potencial energético” con los tonos naranja y el “Rendimiento neto de energía” con las tonalidades rosa.

Tabla 1. Consolidado de consultas

Sector	Variable Informativa	Variable Temporal	Variable Espacial	Tipo de Consultas	Número de Consultas
Agrícola	Zonas	atemporal	regiones	especie	8
	Localización [ha/año]	anual	municipal departamental	global y especie	25
	Cantidad [t/año]	mensual, anual	municipal departamental	global y especie	150
	Potencial energético [TJ/año]	mensual, anual	municipal departamental	global y especie	156
	Rendimiento neto de energía [TJ/ha/año]	anual	municipal departamental	global y especie	53
Pecuario	Zonas	atemporal	regiones	subsector	3
	Población [miles de cabeza/año]	anual	municipal departamental	subsector	6
	Cantidad [miles de t/año]	anual	municipal departamental	subsector y global	8
	Potencial energético [TJ/año]	anual	municipal departamental	subsector y global	8
Residuos sólidos orgánicos urbanos	Zonas	atemporal	regiones	global	1
	Cantidad [miles de t/año]	anual	municipal	subsector y global	3
	Potencial energético [TJ/año]	anual	municipal	subsector y global	3
TOTAL					424

- El cuadro de convenciones, que está localizado en la parte inferior izquierda de los mapas, informa sobre el tipo de sector, la variable de estudio (oferta de biomasa, potencial energético, etc), el periodo de tiempo y la escala de trabajo.
- La información contenida en los mapas se presenta por rangos que fueron definidos según la escala de trabajo para cada sector. En este sentido los mapas no ofrecen información del dato o valor específico asignado a cada unidad de mapeo. Sin embargo, cuando la consulta se realiza en la versión digital del Atlas, se precisa el valor que le corresponde.
- Para cada sector se muestran los mapas de zona de producción, cantidad/población potencial energético y el rendimiento neto de energía.
- Por lo anterior, para mejor interpretación de la información, al consultar el Atlas, se debe realizar una inspección de los mapas que, en conjunto, describen un sector o especie.

