



**ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN ACTUAL Y
POTENCIAL DE BIOMASA EN
REPÚBLICA DOMINICANA
Y SU PLAN DE APROVECHAMIENTO PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA**

Abril 2018



**PROYECTOS
ESTRUCTURAS AJ**

 <p>Comité Directivo COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA <small>SOMOS LO QUE CREAMOS</small></p>
<p>Director Ejecutivo Lic. Ángel Canó</p>
<p>Director de Fuentes Alternas y Uso Racional de Energía Ing. Francisco Mariano</p>
<p>Encargado de División de Biocombustibles Ing. Francisco Gómez</p>

 <p>Autores PROYECTOS ESTRUCTURAS AJ</p>
<p>Gerente Técnico Ing. J. Atilio de Frías, Ph.D.</p>
<p>Consultor Ing. Humberto Checo, M.S.</p>
<p>Gerente Ing. José Atilio de Frías Reyes</p>

Este estudio fue desarrollado por Proyectos y Estructuras AJ, S.R.L. para la Comisión Nacional de Energía bajo la licitación pública nacional CNE-CCC-LPN-2014-0003

Contenido

RESUMEN.....	4
CAPÍTULO 1: Estudio de base de mercado de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica.....	7
CAPÍTULO 2: Estudio de base de biomasas disponibles para la generación industrial de calor y energía eléctrica.....	45
CAPÍTULO 3: Sistema de información geográfica de zonas y potencial de producción de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica.....	69
CAPÍTULO 4: Plan preliminar de fomento de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica.....	88
CAPÍTULO 5: Leyes , normativas y reglamentos existentes sobre biomasa.....	105

Resumen

El presente estudio abarca, a nivel nacional, la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana y su plan de aprovechamiento para la generación de energía.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Establecer los niveles actuales de aprovechamiento y uso de biomasa mediante entrevistas a empresas compradoras, intermediarios y productores distribuidos en siete regiones del país.
2. Caracterizar una selección de tipos de biomasa mediante análisis químicos y determinación del poder calorífico.
3. Generar mapas georreferenciados de las superficies con las condiciones edafoclimáticas para la producción de especies forrajeras y arbóreas de rápido crecimiento.
4. Elaborar plan de aprovechamiento del potencial de biomasa nacional.
5. Compilar el marco legal y regulatorio existente en relación a la biomasa.

Los resultados de este estudio fueron documentados en cinco productos que corresponden a los objetivos anteriores e incluidos en el presente documento. Estos fueron revisados por técnicos de la Comisión Nacional de Energía, el Ministerio de Energía y Minas, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

Producto 1. “Estudio de base de mercado de biomasa para la generación industrial de calor y energía”.

Este producto estableció la línea base del mercado de biomasa en República Dominicana usando una metodología de investigación cualitativa con un marco muestral definido. Se determinó que el consumo diario de biomasa en República Dominicana es de 2,219 toneladas métricas y que el mercado en el país se encuentra circunscrito en las regiones Central, Norcentral y Este.

De los tipos de biomasa estudiados, la *Acacia mangium* es la especie dominante entre productores e intermediarios. El costo total promedio de la acacia triturada es de \$43 dólares la tonelada métrica, con un precio de venta de \$48 dólares por tonelada métrica.

Entre las dificultades que enfrentan los actores del mercado de biomasa se encuentran la falta de financiamiento a los proyectos en esta área, la logística del transporte y el bajo precio de la biomasa en el mercado que no permite beneficios suficientes para productores e intermediarios. Por otro lado, recomendaron la aplicación de exoneraciones para los equipos de corte, tala y molienda, y el aumento de los incentivos fiscales a las energías renovables de 40 % a 75 %.

Producto 2. “Estudio de base de biomásas disponibles para la generación industrial de calor y energía”.

El producto número dos continúa la base trazada en el producto número uno, con la caracterización química de nueve muestras de biomasa dominicana forestal, herbácea y residual. Estas muestras fueron recogidas *in situ* durante el muestreo de procesos y se determinaron los contenidos de humedad, material volátil, carbono fijo, cenizas y poder calorífico superior (PCS).

El contenido energético (PCS) en base seca varió entre 14.8 y 18.2 MJ/kg, siendo la cascarilla de arroz la de menor poder calorífico y la Acacia *mangium* de Monte Plata la de mayor poder calorífico. Sin embargo, el PCS no debe ser el único criterio de selección para usar un tipo de biomasa versus otra como combustible. También se deben tomar en cuenta la logística, facilidad de manejo, rendimiento y el contenido de humedad y cenizas.

Se recomienda al Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL) la incorporación de normas de análisis de calidad de biomasa en República Dominicana. También se recomienda ampliar la capacidad en el Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI) para el análisis químico inmediato y elemental de biomasa y la determinación del poder calorífico inferior (PCI). La Ley 57-07, párrafo II, art. 8, establece que la Comisión Nacional de Energía dispondrá los recursos en ese sentido.

Actualmente la calidad del suministro formal de biomasa en República Dominicana es impuesta por los consumidores y los fabricantes de calderas. Estos actores están ayudando a formalizar a sus suplidores sobre tratar la biomasa como combustible y considerar sus características físicas y químicas. En adición, los asesoran en aspectos logísticos y de permisologías.

Producto 3. “Sistema de información geográfica de zonas y potencial de producción de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica”.

Este producto determinó el potencial de biomasa del país para la producción de especies forrajeras y árboles de rápido crecimiento mediante un análisis de georreferenciación de alcance nacional y de capacidad de suelos.

Se estableció que existe un potencial de 476,071 hectáreas para la producción de gramíneas y de 449,248 hectáreas adecuadas para el fomento de especies forestales de alto valor para la producción de energía (i.e., *Acacia mangium*, eucalipto, casuarina).

Como combustible biomásico la *Acacia mangium* es la especie forestal con mayor potencial en República Dominicana, ya que es de rápido crecimiento y adaptable a diferentes tipos de suelos marginales. Solo de *Acacia mangium* hay un potencial de 446,938 hectáreas, la mayor parte en las regiones Sureste y Norte del país.

Producto 4. “Plan preliminar de fomento de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica”.

El producto número cuatro presenta un plan de fomento de producción de biomasa a partir de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana. Fueron evaluados distintos escenarios de alto, mediano y bajo rendimiento usando el potencial determinado para la *Acacia mangium*.

Dentro de un escenario de alto rendimiento se podrían producir 12.6 millones de toneladas anuales de acacia, cuya energía equivale a 8,524 GWh por año o 1,076 MW de potencia, a un 25 % de eficiencia eléctrica. En un escenario de rendimiento moderado se podrían producir 8 millones de toneladas anuales de acacia, cuya energía correspondería a unos 5,485 GWh por año o 693 MW de potencia.

Producto 5. “Consolidado de productos. Levantamiento de las leyes, normativas y reglamentos existentes sobre biomasa”.

El presente documento consiste en la compilación de los productos antes descritos, en adición a un levantamiento realizado de los aspectos legales sobre el uso de biomasa para fines energéticos.

Se analizaron los antecedentes históricos, las leyes, normativas y reglamentos ambientales (i.e., Ley 64-00) y energéticos (i.e., Ley 57-07) relacionados al uso de biomasa, resaltando los incentivos e incluyendo modificaciones y derogaciones.

Entre las limitaciones de las leyes vigentes para regular el mercado de biomasa se encuentran la desprotección en la Ley 57-07 sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales, a las fincas energéticas y a los productores e intermediarios de biomasa, así como el vencimiento de la misma en el año 2020 y la necesidad de una ley forestal.



Capítulo 1

Estudio de base de mercado de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica

Capítulo 1

1. Alcance y objetivo.....	9
2. Metodología.....	9
2.1 Actores del mercado de biomasa.....	9
2.2 Tipos de biomasa.....	10
2.3 Línea base.....	11
2.4 Metodología de investigación cualitativa.....	13
2.5 Marco muestral.....	13
2.6 Proceso de entrevistas.....	17
3. Resultados.....	17
3.1 Distribución de los actores del mercado de biomasa en República Dominicana	17
3.2 Áreas sembradas o explotadas para especies forestales.....	18
3.3 <i>Acacia mangium</i> como especie dominante entre los productores.....	18
3.4 Cadena de suministro de la biomasa.....	20
3.5 Autorizaciones ambientales.....	24
3.6 Consumo y producción formal de biomasa en R.D.....	26
3.7 Costos y precio de <i>Acacia mangium</i> como combustible biomásico.....	28
3.8 Costos y precio del proceso de densificación de biomasa.....	30
3.9 Dificultades actuales de los actores del mercado de biomasa.....	31
3.10 Recomendaciones de los actores del mercado de biomasa.....	31
4. Conclusiones.....	32
Referencias.....	33
Anexos.....	34

1 Alcance y objetivo

El producto número uno, “Estudio de base de mercado de biomasa para la generación industrial de calor y energía”, es el primer componente de un total de cinco que completarán el “Estudio de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana y su plan de aprovechamiento para la generación de energía.”

El objetivo de este producto es “identificar y cuantificar cantidades, variaciones estacionales de biomasa, localizaciones y actores involucrados en el mercado de biomasa utilizada en calderas para generar calor y/o energía eléctrica.”

2 Metodología

Los términos de referencia del estudio establecen que el objetivo del producto número uno se alcanzará mediante la “metodología de los estudios de línea base, incluyendo: 1) levantamientos de informaciones secundarias relativas a políticas y procesos; 2) definición y aplicación de encuestas; 3) entrevistas a actores y muestreos de procesos cuando sean considerados necesarios y los actores los permitan; y 4) presentación preliminar y definitiva de resultados, incluyendo las preferencias del mercado.”

El criterio establecido por la Comisión Nacional de Energía consiste en entrevistar o aplicar encuestas a por lo menos cinco empresas compradoras de biomasa para calderas en operación, cinco intermediarios de biomasa y 30 productores de especies de biomasa.

2.1 Actores del mercado de biomasa

El mercado de biomasa en República Dominicana está compuesto de tres grupos: productores, intermediarios y compradores.

A. **Productores**

- Empresas dueñas de fincas con especies arbóreas y herbáceas destinadas a ser usadas, completamente o en parte, como fuente energética. Estos participan también en el procesamiento de la biomasa y envío hacia los consumidores/usuarios.
- Empresas o individuos que sean productores de biomasa residual y la procesen para terceros

B. Intermediarios

- Empresas que tienen contratos con fincas madereras para comprar los “árboles en pie” y se encargan de procesarlos y enviarlos a los consumidores/usuarios.
- Empresas que reciben biomasa residual en centros de acopio donde la biomasa es procesada para terceros.

C. Compradores

- Empresas industriales que utilizan biomasa como combustible de calderas y gasificadores con fines térmicos y/o eléctricos.

Como parte de este estudio, se determinó que hay actores **productores-intermediarios** (Prod-Inter), que son dueños de fincas que explotan ocasionalmente para fines de biomasa, pero que actúan como intermediarios al hacer contratos con otras fincas. Además, se estableció la existencia de actores **productores-autoconsumidores** (Prod-Auto) que tienen fincas o producen excedente de biomasa residual y también la usan en sus operaciones como fuente energética.

Es importante aclarar que los autoconsumidores, aquellos que producen energía y se autoabastecen de biomasa, no están dentro del alcance de este estudio. La excepción consiste en los productores-autoconsumidores, quienes venden o donan su excedente de biomasa y por ende participan en el mercado.

2.2 Tipos de biomasa

A. Biomasa forestal

Se trata de especies arbóreas. Conocidas como biomasas leñosas, tienen más concentración de carbono elemental que las biomasas herbáceas, lo que implica un mayor poder calorífico. Dentro de este grupo están la Acacia *mangium*, Pino *caribea*, eucalipto, leucaena, etc.

B. Biomasa herbácea

Consiste en especies herbáceas. En este grupo se encuentran las hierbas como el *king grass* (yerba merker), *super king grass* (híbrido), bambú, Arundo *donax*, etc.

C. Biomasa residual

Son los residuos lignocelulósicos del procesamiento de especies comestibles y no comestibles. Aquí están la jícara de coco, el bagazo de caña, la cascarilla de arroz, el endocarpio (cascarilla) y raquis del racimo de la palma aceitera, el aserrín de madera, entre otros.

2.3 Línea base

La línea base establece la situación inicial del mercado de biomasa en República Dominicana a través de indicadores cualitativos y cuantitativos (Rodríguez Sosa, J., et al., 2007) que definirán el estado basal de las proyecciones para el uso de biomasa como fuente sostenible de energía.

Los indicadores cuantitativos permiten establecer valores nominales, tasas y porcentajes que permitirán evaluar las proyecciones y cambios futuros sobre estas cantidades. Los indicadores cualitativos evalúan cambios sobre estados basales relacionados a procesos, equipamientos, mercados, etc. (Rodríguez Sosa, J., et al., 2007).

La tabla número uno delinea los indicadores cualitativos y cuantitativos que forman parte de la línea de base. Están agrupados por seis temas, seleccionados en coordinación con la Comisión Nacional de Energía: Empresas, Característica de la biomasa, Cultivos y suelos; Producción y logística; Mercados y Sistema de generación de energía.

Se escogió el método de entrevistas para establecer la línea base utilizando los indicadores antes mencionados. Dado que el universo de los actores formales de biomasa en el país no es amplio, este método permite una interacción cercana con el mundo empírico (Denzin, 2009). El cuestionario fue diseñado en torno a los temas e indicadores en cuestión, incluyendo preguntas puntuales y abiertas que permiten obtener detalles de datos cuantitativos y cualitativos (Anexo A.1).

Aunque los indicadores de la línea base son cualitativos y cuantitativos, la obtención de información numérica no remueve el carácter cualitativo de la metodología de este estudio, como se explica en la próxima sección 2.4.

Tabla 1. Indicadores cualitativos y cuantitativos de la línea de base.

Indicadores de la Línea de Base		
Tema	Cualitativos	Cuantitativos
Empresas	Tipo de Empresa	Número de Empleados en Planta Biomasa
	Procedencia	Año Inicio Operaciones
	Status	
Característica de la Biomasa	Tipo de Biomasa	
	Especies de Biomasa	
Cultivo y Suelos	Tipo de suelos	Área de Finca (ha)
	Turno de Rotación	Área sembrada o explotada (ha)
	Plan de Manejo	Composición de la Plantación (%)
	Fertilizantes	Edades de las Plantaciones (años)
	Prácticas Agrícolas	Ciclo de Cosecha y Variaciones Estacionales (años)
	Pesticidas	
	Modalidad de Corte (raleo o tala rasa)	
Producción y Logística	Procesamiento y Equipamiento	Producción / Adquisición actual de biomasa (TM/día)
	Conversión Física de Biomasa y Fracciones Procesadas	Distancia entre Centro Producción y Acopio (km)
	Almacenamiento (tipo, período, capacidad)	Distancia Máxima Clientes (km)
	Fuentes adicionales de Biomasa no aprovechadas	Precio adquisición de Biomasa (\$US/TM)
		Costo Total Generación Biomasa (\$US/TM)
		Precio de venta de Biomasa (\$US/TM)
		% Biomasa vendida, donada, utilizada o desechada
	Humedad (%)	
Mercados	Proveedores	
	Clientes	
	Acuerdos de Suministro	
	Medidas externas promoverían Producción	
	Dificultades Actuales	
	Licencia Ambiental	
	Reparos para continuar en Mercado de Biomasa	
Aportes de la Empresa al País		
Sistema de Generación de Energía	Equipamiento	Consumo de Biomasa (TM/día)
	Características del Fluido	Eficiencia de Combustión
	Sistema de Control de Emisiones	Producción total de Vapor (TM/h)
	Contenido de Emisiones	Capacidad de Producción de Vapor (TM/h)
	Fuentes utilizadas alternas a Biomasa	Costo de la energía Producida (\$US/TM)
		Cenizas Generadas (TM)
	Combustibles Fósiles Ahorrados (Gal)	

2.4 Metodología de investigación cualitativa

El establecimiento de la línea base del mercado de biomasa para este estudio se enmarca dentro de la investigación cualitativa. Contrario a la investigación cuantitativa, que requiere un marco muestral aleatorio y representativo (Ramírez, F., et al., 2006), la investigación cualitativa requiere definir un marco muestral con un propósito definido. Es decir, la metodología de investigación cualitativa es necesaria cuando el objetivo es tener conocimientos específicos y amplios sobre cada actor que influye en los indicadores y temas de la línea base (Creswell, 2007).

Expertos en metodología cualitativa (Kuzel, 1992, Víctor, 2012) sugieren un mínimo de 12 a 20 entrevistas para asegurar una diversidad máxima en las respuestas y al mismo tiempo determinar la consistencia y veracidad de las mismas. El marco muestral para la línea base del presente estudio consiste en 27 entrevistas (sección 2.5).

Para asegurar la veracidad de los datos obtenidos dentro de la metodología cualitativa, los científicos recomiendan establecer la credibilidad, confiabilidad, objetividad y validez de los resultados (Denzin y Lincoln, 1994; Guba y Lincoln, 1994, Víctor, 2012).

Atendiendo a esto, fueron escogidos solo actores formalizados como empresas, se estableció un proceso de entrevistas prolongado (mínimo 90 minutos), muestreo de procesos, grabaciones, fílmicas, fotos y, sobre todo, el método de triangulación de información, un análisis exhaustivo de toda la data, combinando dos o más fuentes, para su codificación en temas puntuales (Denzin 2009). Esto así para poder realizar las comparaciones de lugar con estudios previos y con entrevistas realizadas a actores directos e indirectos.

2.5 Marco muestral

Los términos de referencia del estudio sugieren “entrevistas o aplicación de encuestas a un mínimo de 30 productores, cinco (5) intermediarios y cinco (5) compradores de biomasa”.

Ahora bien, durante la investigación, que tuvo alcance nacional, se evidenció que el país no cuenta con 30 productores formales de biomasa forestal. Se hicieron entrevistas a todos los productores activos de biomasa del país, para un total de **seis productores** de biomasa forestal. Un séptimo fue incluido en su función de productor de biomasa residual.

Registrados como empresas, los intermediarios de biomasa formales no llegan a diez. Como parte del estudio fueron **entrevistados nueve intermediarios formales en el país** (incluye dos productores-intermediarios dueños de fincas). En cambio, hay muchos intermediarios que actúan como personas físicas en el marco de la informalidad que no están dentro del alcance de este estudio para establecer la línea base, pues sus entrevistas no garantizarían la triangulación necesaria para la fortaleza de la metodología de investigación cualitativa que es la base de este estudio.

Las industrias compradoras de biomasa para uso como combustible pueden pasar de veinte. De estas, **siete fueron entrevistadas**, producto de lo cual se obtuvieron datos pertinentes usando el método de triangulación de información de siete empresas más, para sumar 14.

Un total de 25 empresas entrevistadas y visitadas, organizadas por tipo de empresa, región y tipo-especie de biomasa figuran en la tabla número dos, en la que se desglosa el marco muestral.

Ocho regiones fueron definidas según la distribución del Ministerio de Agricultura de República Dominicana: Norte, Nordeste, Noroeste, Norcentral, Central, Sur, Suroeste y Este (fig.1). La tabla número tres resume los números de entrevistados por tipo de empresa.

Para dar consistencia y poder triangular la información obtenida a través de las entrevistas, también fueron aplicadas entrevistas a actores que están fuera del mercado de biomasa, pero que ejercen influencia. Estos son: la gerencia del Viceministerio de Recursos Forestales del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Junta Agroempresarial Dominicana, la Superintendencia de Electricidad y la dirección de una generadora de electricidad.

La muestra para la línea base fue de 25 entrevistas a actores dentro del mercado de biomasa y tres actores fuera del mismo.

Figura 1. Regiones del país según la definición del Ministerio de Agricultura



Fuente: Plan Operativo 2012. Ministerio de Agricultura de República Dominicana.

Tabla 2. Marco muestral por tipo de empresa, región y biomasa.

Tipo de Empresa	Región	Tipo de Biomasa	Especies de Biomasa
Productor 1	Este	Forestal	Acacia Mangium
Productor 2	Este	Forestal	Eucalipto y Leucaena
Productor 3	Norcentral	Forestal	Acacia Mangium
Productor 4	Norcentral	Forestal	Acacia Mangium
Productor 5	Este	Forestal	Acacia Mangium
Productor 6	Central	Residual	Residuos de fibra de Algodón
Productor 7	Norcentral	Forestal	Acacia Mangium y Eucalipto
Intermediario 1	Central	Forestal	Acacia Mangium
Intermediario 2	Central	Residual	Poda urbana, residuos de aserraderos, costanera
Intermediario 3	Central	Residual	Aserrín
Intermediario 4	Norcentral	Forestal	Acacia Mangium y Pino Caribe
Intermediario 5	Central	Forestal, Herbácea, Residual	Acacia Mangium, Jícara de coco, Coco entero, King Grass, Poda, Aserrín, Paletas
Intermediario 6	Norte	Forestal	Acacia Mangium, Samán
Intermediario 7	Central	Forestal	Acacia Mangium, Eucalipto, Caya Senegalense, Raleos de Pinos y Raleos de Teca
Prod e Inter 1	Nordeste	Forestal	Acacia Mangium
Prod e Inter 2	Central	Forestal	Acacia Mangium y Pino Caribe
Prod y Auto 1	Central	Residual	Racimos
Prod y Auto 2	Nordeste	Residual	Cascarilla de arroz
Comprador 1	Norcentral	Forestal, Residual	Acacia Mangium, Jícara de coco, Aserrín, Bagazo de caña
Comprador 2	Este	Forestal	Acacia Mangium
Comprador 3	Este	Forestal, Herbácea, Residual	Bagazo de Caña, Leucaena, Eucalipto, King Grass
Comprador 4	Central	Residual	Aserrín y Residuos de Madera
Comprador 5	Central	Forestal y Residual	Residuos de Madera y Paletas
Comprador 6	Central	Forestal	Acacia Mangium
Comprador 7	Norte	Forestal	Acacia Mangium

Tabla 3. Número de entrevistados por región y tipo de empresa.

Región	Productor	Intermediario	Comprador	Prod e Inter	Prod y Auto	Entrevistados
Central	1	5	3	1	1	11
Este	3	0	2	0	0	5
Norcentral	3	1	1	0	0	5
Nordeste	0	0	0	1	1	2
Norte	0	1	1	0	0	2
Total	7	7	7	2	2	25

2.6 Proceso de entrevistas

A una parte de los entrevistados se les envió cartas formales de la Comisión Nacional de Energía y firmadas por su director ejecutivo. A todos los entrevistados se les garantizó el uso confidencial de la información provista y se les solicitó su consentimiento para grabar, hacer filmicas, tomar fotos y registrar datos de georreferenciación como parte del muestreo de procesos. Las entrevistas y muestreo de procesos tuvieron una duración mínima de 90 minutos y hasta tres horas.

3 Resultados

3.1 Distribución de los actores del mercado de biomasa en República Dominicana

El mercado de biomasa en el país para la generación industrial de calor y energía eléctrica está distribuido en cinco de las ocho regiones del país definidas por el Ministerio de Agricultura (fig.1): Central, Este, Norcentral, Nordeste y Norte (tabla 2). En las regiones Noroeste, Sur y Suroeste no se encontraron actores relevantes.

El 44 % de los actores entrevistados (11 de 25) se encuentran en la región Central del país, comprendida por las provincias de Santo Domingo, Monte Plata, Peravia y Ocoa. Específicamente, este 44 % se ubica en las provincias de Santo Domingo y Monte Plata. El 40 % de los actores entrevistados están en las regiones Este y Norcentral. En la zona Norte fueron identificados un intermediario y un comprador, y en el Nordeste a dos actores (tabla 3).

La concentración de actores en la región Central del país está condicionada a que la mayoría de los compradores operan en esta región. A través de los mismos suplidores o por contacto directo, identificamos a 14 empresas compradoras de biomasa (tabla 4). Un 57 %, correspondiente a ocho compradores (tres de estos entrevistados), están establecidos en la región Central. Tres empresas (dos de estas entrevistadas) están en la región Este, dos empresas (una de estas entrevistadas) están en la región Norcentral, y una empresa entrevistada está en la región Norte (tabla 4).

Aclaración: de las 14 empresas compradoras de biomasa identificadas, siete fueron las entrevistadas. Para el resto, se obtuvo información a través de triangulación de fuentes o por acceso directo (tabla 4).

Como resultado de que la mayor concentración de empresas compradoras se ubica en la región Central, encontramos que el 67 % de los intermediarios formales (incluyendo los productores-intermediarios) del país operan desde la misma región,

específicamente en las provincias Santo Domingo y Monte Plata. Las empresas intermediarias con centros de acopio de biomasa en estas áreas tienen mejor acceso a los compradores.

Contrario a los intermediarios, los productores de biomasa forestal y/o agrícola en el país están en su mayoría concentrados en las regiones Este (42 %) y Norcentral (42 %), dadas las condiciones edafoclimáticas y de disponibilidad de especies en las provincias San Pedro de Macorís y La Altagracia (Este) y en las provincias Monseñor Nouel y La Vega (Norcentral). Algunas empresas intermediarias tienen acuerdos con estas fincas para procesar directamente la biomasa *in situ* y transportarla al consumidor final.

En resumen, la línea base del mercado de biomasa entre productores, intermediarios y compradores, se circunscribe mayormente a las regiones Central, Norcentral y Este. La concentración de compradores en la región Central, permite una interacción adyacente, tanto para intermediarios con centros de acopio en la misma región Central, o para el transporte entre las tres regiones.

3.2 Áreas sembradas o explotadas para especies forestales

La figura número dos muestra las áreas sembradas y disponibles de los seis productores de biomasa forestal y de los dos productores-intermediarios. Excepto por el productor número dos que tiene sembrados eucalipto y leucaena, los demás tienen sus fincas sembradas de *Acacia mangium* (tabla 2).

Un 24 % de toda la superficie disponible está sembrada o explotada. Es decir, que las ocho empresas analizadas tienen un total de 18,075 hectáreas, de las cuales 4,359 están sembradas o explotadas. Seis de esas ocho empresas productoras tienen un amplio margen de crecimiento para el desarrollo sostenible de especies maderables.

3.3 *Acacia mangium* como especie dominante entre los productores de biomasa

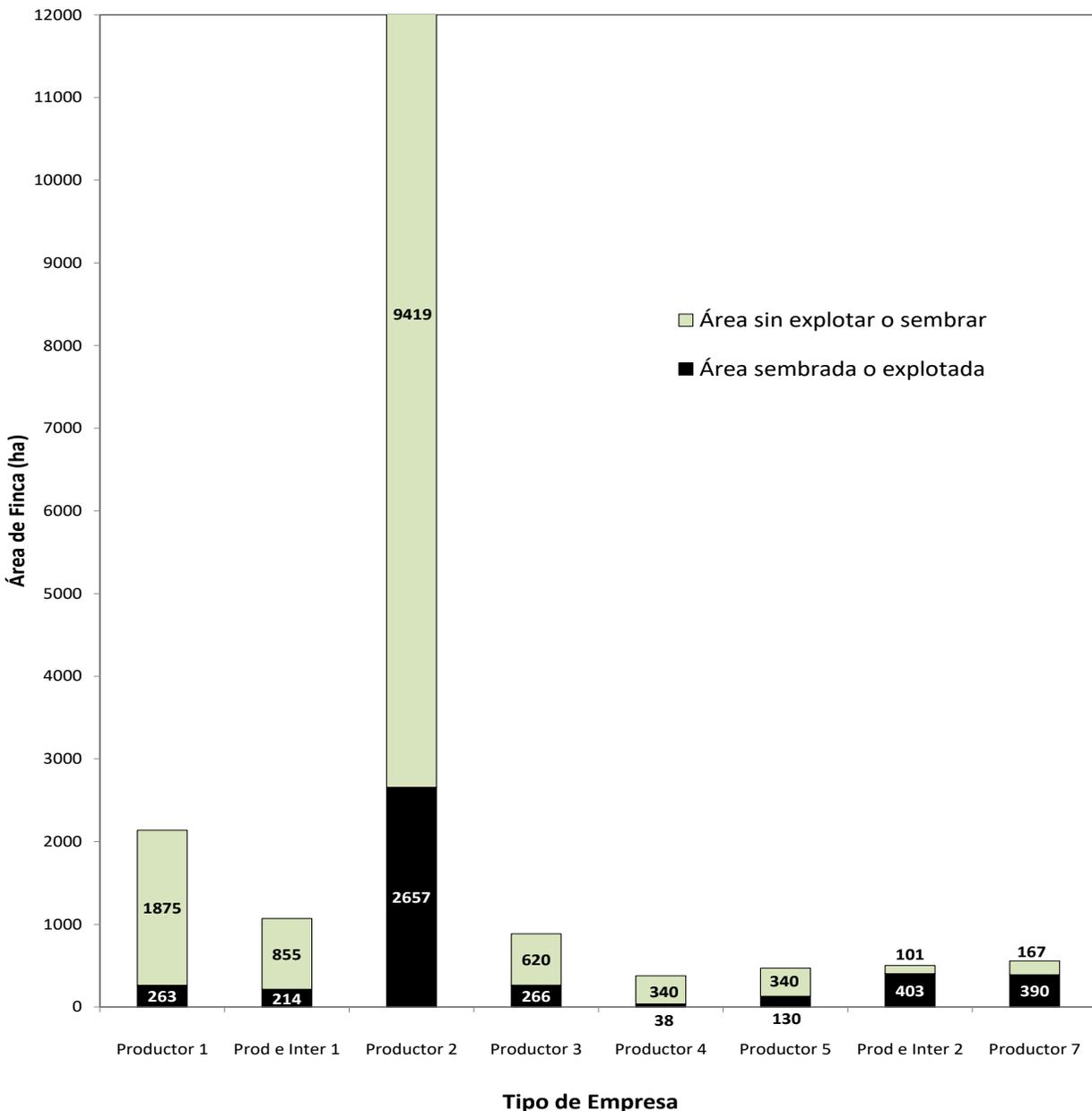
La *Acacia mangium* es la especie dominante entre todos los productores (excepto el productor número dos, ya que es una especie arbórea de rápido crecimiento y de alto poder calorífico como combustible biomásico. Además, es una especie adaptable a los diferentes tipos de suelos marginales presentes en las regiones Central, Norcentral y Este, el epicentro del mercado de biomasa en el país hasta la fecha.

En la provincia San Pedro de Macorís (región Este), los suelos son rocosos, no rotulables (baja capacidad de arado), y con baja pluviometría (<800 mm). Más al este, en la provincia La Altagracia, los suelos son ácidos, aunque con buen

contenido de materia orgánica. En la región Norcentral, los suelos son arcillosos y ácidos (pH = 3 – 4.2).

Las empresas entrevistadas tienen especies de *Acacia mangium* de 0 a 20 años de edad y, en general, llevan turnos de rotación de 4 a 6 años. Todas las empresas cortan durante todo el año con modalidad de corte a tala rasa. La densidad de árboles varía entre 110 y 300 árboles por tarea (629 m²) y 2.5 árboles de *Acacia mangium* (de 8 a 10 años de edad) equivalen aproximadamente a una tonelada de biomasa.

Figura 2. Área de fincas sembradas o explotadas y áreas sin explotar o sembrar.



3.4 Cadena de suministro de la biomasa

A. *Biomasa forestal*

La figura número tres muestra los cuatro pasos para procesar la biomasa forestal que fueron recopilados durante el muestreo de procesos de los productores e intermediarios.

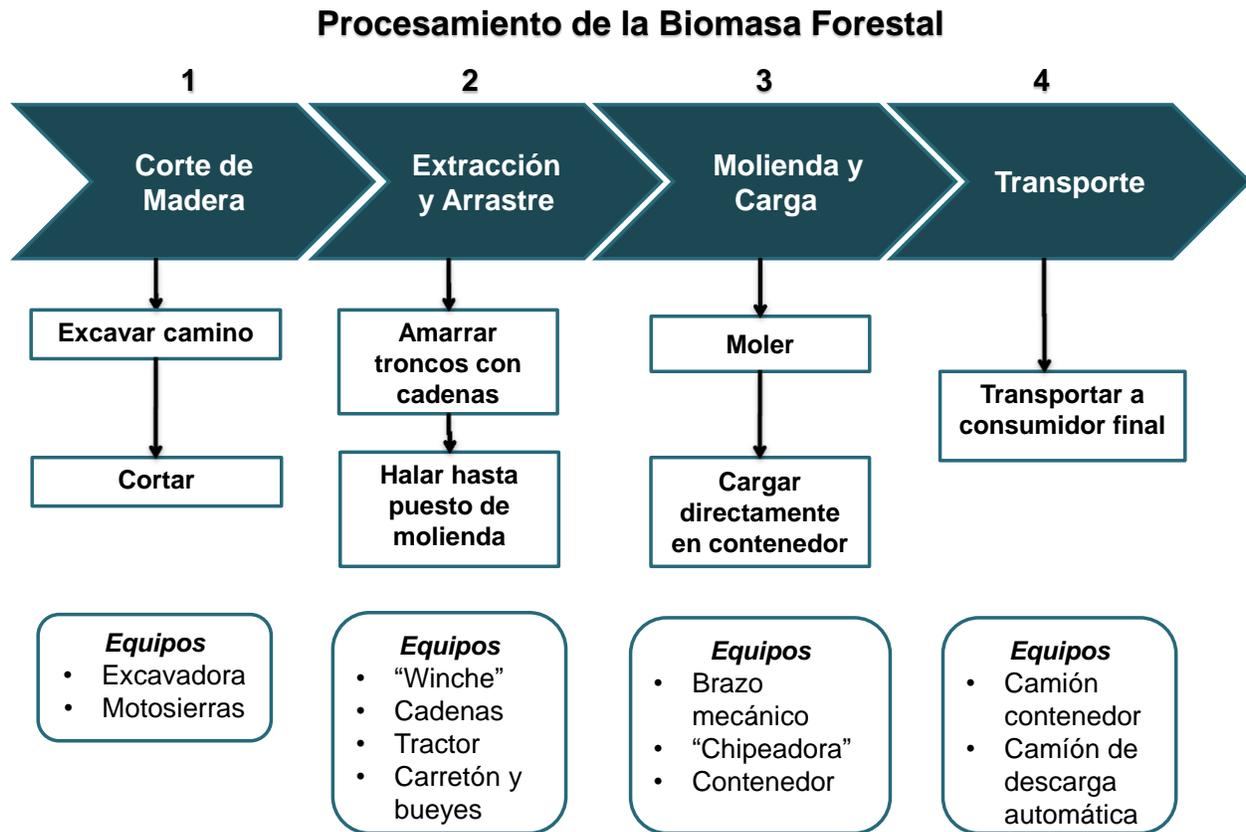
1. **Corte de madera.** Primero se opera una excavadora para crear el camino entre el centro de acopio donde ocurre la molienda y los árboles en pie. En el centro de corte, un grupo de operadores realiza el corte de los árboles mediante el uso de motosierras.
2. **Extracción y arrastre.** En operaciones mecanizadas, se utiliza un *winche* o cabrestante para mover y organizar los troncos. Esta madera se amarra por medio de un sistema de cadenas para luego ser halados mediante un tractor hasta el centro de molienda. En las operaciones manuales, se usan carretones y bueyes para transportar la madera.
3. **Molienda y carga.** Un *chipper* o trituradora es alimentado con madera a través de un brazo mecánico o un grupo de operadores lo hace de forma manual. El *chipper* está adjunto al contenedor que será cargado de las trozas de madera, y se regula para que la madera salga troceada a un tamaño de partícula de una pulgada. Algunos compradores reciben la biomasa entera ya que tienen sus propios sistemas de conversión física.
4. **Transporte.** Finalmente, un camión lleva la carga de madera troceada al consumidor final.

B. *Biomosas herbáceas y residual*

Para la biomasa herbácea, aplicarían los pasos 3 y 4, molienda y carga, y transporte, respectivamente. Para algunos tipos de biomasa herbácea, aplicaría una etapa de secado de hasta 20 días, ya que tienden a tener exceso de humedad.

En el caso de la biomasa residual, como el bagazo de caña, estas salen de sus procesos industriales con un tamaño de partícula pequeño y solo requeriría carga y transporte. Estos mismos pasos los requeriría el aserrín de madera, de baja humedad y tamaño de partícula pequeño.

Figura 3. Procesamiento de la biomasa forestal.



C. Densificación de la biomasa

Hasta agosto de 2016 no existían en República Dominicana procesos de densificación de biomasa. Dos de los intermediarios entrevistados tienen proyectos futuros para densificar la biomasa en forma de **briquetas o pellets**.

Este proceso consiste en producir un combustible biomásico homogéneo de alta densidad energética a partir de fuentes de baja densidad como la biomasa herbácea o residual. Los *pellets* son cilindros de 6 a 10 milímetros de diámetro y las briquetas de 30 a 100 milímetros de diámetro. Estas últimas son usadas en la mayoría de los casos como fuente de calefacción, mientras que los *pellets* son usados en calderas de biomasa, dada su buena fluidez y uniformidad en tamaño y en contenido de humedad (Van Loo y Koppejan, 2010).

Las etapas de producción de *pellets* son:

1. **Secado.** Secar la biomasa a un contenido de humedad de 8-12 %, ya que la humedad en la pelletizadora (prensa) no puede escapar y causa un aumento en el volumen del producto.
2. **Molienda.** Reducir y homogenizar el tamaño de partícula.
3. **Adición de vapor.** Esta acción permite que las partículas estén cubiertas de una delgada capa de líquido que mejora la adhesión durante el pelletizado.
4. **Pelletizar.** Densificar la biomasa mediante una pelletizadora (prensa), que puede tener rangos de productividad desde 100 kilogramos por hora hasta 10 toneladas métricas por hora.
5. **Enfriado.** Enfriar los *pellets* desde que salgan de la prensa, ya que salen a altas temperaturas producto del proceso de densificación. Esto asegura la durabilidad del producto.

D. Control de calidad de la biomasa recibida por el consumidor final

Una vez llega la biomasa a las instalaciones del consumidor final, se pesa el contenedor, se despacha y se determina el contenido de humedad de la misma, el cual no debe superar el 50 %. Esto así porque altos contenidos de humedad en la biomasa disminuyen la eficiencia de la combustión y el volumen de gases producidos en la caldera, pues se consume mucha energía secando la biomasa antes de iniciar la combustión (Worley y Yale, 2012).

Respecto al tamaño de partícula de la biomasa, algunos consumidores tienen sistemas que no permiten el paso de partículas mayores de una pulgada. Otros admiten un rango mayor de partículas de hasta dos pulgadas y media. Un tamaño de partícula pequeño posibilita una combustión más rápida de la biomasa (Van Loo y Koppejan, 2010).

E. Almacenamiento

La mayoría de los productores e intermediarios no tienen sistemas de almacenamiento, porque es más rentable procesar la biomasa y enviarla de inmediato al comprador. Con esto se evita hacer una descarga y carga adicional, lo que aumentaría los costos.

Aquellos actores que deben almacenar su producción de biomasa lo hacen para disminuir su contenido de humedad a menos del 50 %, el máximo aceptado por los compradores. Los consumidores de biomasa forestal tienden a alimentar sus calderas con *chips* de biomasa a 45 % de humedad o menos.

En general, las biomásas maderables salen molidas a menos del 50 %, pero las biomásas herbáceas y agrícolas pueden superar el 50 % de humedad. Por ejemplo, el coco necesita hasta 20 días de almacenamiento a cielo abierto para bajar su contenido de humedad. El *king grass* (yerba merker) necesita de dos a siete días en el campo para secarse.

Son los compradores quienes tienen sistemas de almacenamiento, ya sea soterrado o bajo techo, para asegurar tener niveles de biomasa constantes para sus operaciones. Los períodos de almacenamiento varían entre los compradores, entre una semana y hasta cuatro meses. A medida que se consume la biomasa, algunos consumidores hacen rotaciones de sus provisiones como sistema de control de humedad.

F. Distancias entre los actores

Para los productores, las distancias entre sus centros de molienda y los árboles en pie van desde los 0.1 km hasta los 2 km.

La distancia entre los centros de acopio de biomasa procesada y los consumidores no debe pasar de los 150 km para que toda la operación sea factible, según varios de los productores e intermediarios entrevistados. La excepción es uno de los consumidores que recibe biomasa residual desde centros de acopio a 170 km. En general, los actores tratan de mantener una distancia entre proveedor y consumidor de hasta 120 km.

En el caso de los intermediarios que reciben todo tipo de biomasa (comprada o donada) para luego procesarla en sus centros de acopio, la distancia máxima de trabajo es de 70 km. Por lo tanto, estos intermediarios no pueden trabajar con consumidores finales que excedan los 80 km desde los centros de acopio.

G. Acuerdos de suministro

Entre los actores del mercado de biomasa existen diferentes modalidades de acuerdos, como se detalla a continuación:

1. Contratos entre productores o intermediarios y compradores finales, desde uno a tres años, para el suministro inmediato de biomasa.
2. Órdenes diarias de compradores a productores-intermediarios bajo ningún acuerdo formal.

3. Contrato donde se establecen los precios en función del contenido de humedad de la biomasa recibida por el comprador. Es decir, a menor contenido de humedad, se paga la tonelada de biomasa a un mayor precio.
4. Acuerdos verbales entre intermediarios y productores, para que los intermediarios puedan dejar sus equipos de biomasa directamente en la finca y pagarle a los productores por el árbol en pie. Los mismos intermediarios llevan los camiones para el transporte a los consumidores.
5. Acuerdos separados sin contratos entre el productor dueño de finca y el consumidor por un precio por el árbol en pie. El mismo consumidor puede llegar a acuerdos con el intermediario para procesar la biomasa y le ayuda con la provisión de los equipos de procesamiento. También le ayuda a llegar a acuerdos con transportistas especializados.

H. *Ventajas y desventajas entre los tipos de biomasa*

Aunque la biomasa forestal requiere mayor procesamiento que los demás tipos, es la más demandada en el mercado. La biomasa forestal tiene mayor contenido de carbono elemental y por ende mayor poder calorífico y produce menos cenizas en las calderas de biomasa (Van Loo y Koppejan, 2010).

Por otro lado, a pesar de que la biomasa residual, como el bagazo de caña, tiene propiedades inferiores como combustible biomásico, su uso se justifica si el consumidor se encuentra adyacente a la fuente de biomasa. Este es el caso del comprador número tres, y que tiene una alta demanda de bagazo de hasta 1,250 toneladas por día.

3.5 Autorizaciones ambientales

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de República Dominicana, existen diferentes niveles de autorizaciones ambientales disponibles:

1. *Lista de exclusión.* Proyectos que no requieren autorización ambiental. Para iniciativas forestales, no debe pasar de 20 hectáreas de plantación. Solo requiere comunicación al Ministerio para el seguimiento de lugar.
2. *Certificado de plantación con derecho a corte.* Es una garantía y un reconocimiento del Ministerio de que la plantación en cuestión será aprovechada. Es un requisito para obtener el nivel más básico de autorización ambiental: Certificado de registro de impacto mínimo.

3. *Certificado de registro de impacto mínimo (categoría D)*. Para proyectos forestales, corresponden a plantaciones de 20 a 100 hectáreas. El Ministerio verifica la cantidad de árboles y áreas sembradas y se otorga de 6 a 12 meses después del certificado de plantación con derecho a corte. Este certificado se puede entregar a nivel provincial.
4. *Constancia ambiental (categoría C)*. Esta autorización no requiere estudios ambientales. Aplica a iniciativas forestales que sobrepasan las 100 hectáreas. Son proyectos que el Ministerio califica como de bajo impacto, tomando en cuenta la fragilidad del ambiente, fuentes hidrográficas cercanas, etc.
5. *Permiso ambiental (categoría B)*. Proyectos que requieren una declaración de impacto ambiental de parte de los interesados.
6. *Licencia ambiental (categoría A)*. Proyectos que demandan la presentación de un estudio de impacto ambiental por parte de los interesados.

Además de estas autorizaciones, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales exige un **plan de manejo** de cada emprendimiento. Para los proyectos forestales, este plan detalla la cantidad de madera que será sacada y la cantidad de hectáreas que se van a reforestar en cinco años. Para asegurar el éxito de este plan, el Ministerio exige un **plan operativo anual** como mecanismo de seguimiento al plan de manejo.

Todos los productores de biomasa entrevistados indicaron tener Certificado de Plantación con Derecho a Corte, plan de manejo y plan operativo anual. Uno de los productores reportó tener el Certificado de Registro de Impacto Mínimo (cat. D), otro reportó tener Constancia Ambiental (cat. C) y una productora-autoconsumidora reportó tener Licencia Ambiental (cat. A).

A los intermediarios, el Ministerio no les exige autorizaciones ambientales para el procesamiento de la biomasa. En cambio, el transporte sí requiere que los camiones que transporten biomasa o madera lleven visible un rótulo emitido por el Ministerio.

Todas las empresas compradoras-consumidoras de biomasa entrevistadas están autorizadas por el Ministerio con un Permiso Ambiental (cat. B).

3.6 Consumo y producción formal de biomasa en República Dominicana

La tabla número cuatro muestra el consumo de biomasa por día de 13 compradores de biomasa para uso como combustible de caldera. Está organizada por tipo de empresa, uso, región y la fuente de la información obtenida. No están incluidas las empresas que se autoabastecen de biomasa para sus operaciones, como los ingenios de azúcar o algunas destilerías.

Tampoco se incluye a todos los compradores-consumidores de biomasa activos en el país, debido a que algunas empresas se rehusaron a ser entrevistadas o a dar información y otras dejaron de usar biomasa en sus operaciones, dada la baja en los precios del *fuel oil*.

De acuerdo a lo contabilizado en este estudio, el consumo de biomasa adquirida en el mercado local es de **2,219 toneladas por día**. Este número está dentro del rango estimado por la Junta Agroempresarial Dominicana sobre el consumo de biomasa en República Dominicana entre 2,000 y 3,000 toneladas por día.

La producción de biomasa de los productores e intermediarios formales establecidos en el país se muestra en la tabla número cinco, en la que están organizados por el tipo de empresa, región y especie de biomasa. En esta tabla consta que el total de biomasa producido por los actores formales es de **992 toneladas de biomasa por día**.

Esta discrepancia aparente entre las toneladas consumidas y producidas reportadas en este estudio es justificable. El comprador número tres es el principal consumidor de biomasa en el país con 1,250 toneladas por día, y consiste principalmente de bagazo de caña proveniente del ingenio adyacente. Entre el comprador y el suplidor existe un acuerdo de intercambio de vapor y electricidad por biomasa. Si añadimos esta cantidad a las producidas por los actores formales del país, suman 2,242 toneladas de biomasa, muy cerca del consumo de biomasa determinado por este estudio.

Tabla 4. Consumo de biomasa comprada o adquirida en el mercado en República Dominicana.

Comprador	Tipo de Empresa	Uso	Región	Biomasa Utilizada (TM/día)	Fuente de Información
Comprador 1	Textil	Térmica	Norcentral	300	<i>Entrevista</i>
Comprador 2	Generador de Energía Eléctrica	Térmica	Este	20	<i>Entrevista</i>
Comprador 3	Generador de Energía Eléctrica	Eléctrica y Térmica	Este	1250	<i>Entrevista</i>
Comprador 4	Alimentos	Térmica	Central	56	<i>Entrevista</i>
Comprador 5	Alimentos	Térmica	Central	20	<i>Entrevista</i>
Comprador 6	Plástico	Térmica	Central	30	<i>Entrevista</i>
Comprador 7	Textil	Eléctrica y Térmica	Norte	25	<i>Entrevista</i>
Comprador 8	Textil	Térmica	Central	300	<i>Triangulación</i>
Comprador 9	Hotelera	Térmica	Central	20	<i>Triangulación</i>
Comprador 10	Lavandera	Térmica	Este	43	<i>Triangulación</i>
Comprador 11	Alimentos	Térmica	Norcentral	5	<i>Triangulación</i>
Comprador 12	Plastico	Térmica	Central	60	<i>Triangulación</i>
Comprador 13	Destilería	Térmica	Central	50	<i>Fuente directa</i>
Comprador 14	Destilería	Térmica	Central	40	<i>Triangulación</i>
14 Empresas	TOTAL			2219	

Tabla 5. Biomasa producida en República Dominicana por los productores e intermediarios activos del país.

Tipo de Empresa	Región	Especie de Biomasa	Biomasa Producida (TM/día)
Productor 1	Este	Acacia Mangium	20
Productor 2	Este	Eucalipto y Leucaena	145
Productor 3	Norcentral	Acacia Mangium	120
Productor 5	Este	Acacia Mangium	100
Productor 7	Norcentral	Acacia y Eucalipto	5
Prod y Auto 1	Central	Racimos	35
Prod e Inter 2	Central	Acacia Mangium y Pino	120
Intermediario 2	Central	Poda y Residuos de Madera	6
Intermediario 5	Central	Acacia Mangium, Jícara de Coco, Coco Entero, King Grass, Poda, Aserrín, Paletas	250
Intermediario 6	Norte	Acacia Mangium, Samán	135
Intermediario 7	Central	Acacia Mangium, Eucalipto, Caya Senegalense, Raleos de Pinos, Raleos de Teca	56
TOTAL			992

3.7 Costos y precio de Acacia mangium como combustible biomásico

La tabla número seis muestra un desglose de los costos de triturar Acacia *mangium* para ser usada como combustible biomásico. Las dos últimas columnas de la tabla muestran el precio de venta y las utilidades. La información obtenida de forma directa de siete productores o intermediarios consiste en los siguientes aspectos y está basada en el envío de al menos 60 toneladas de biomasa por día (aprox. dos contenedores):

1. Costo por tonelada de biomasa del árbol en pie
2. Costo por tonelada de biomasa del corte, extracción y arrastre
3. Costo por tonelada de biomasa de la operación del *chipper*
4. Costo por tonelada de biomasa de transporte
5. Precio de venta por tonelada de biomasa

En promedio, el costo total de la *Acacia mangium* triturada para ser usada como combustible de caldera es de **\$43 dólares la tonelada**. Con un precio de venta promedio de **\$48 dólares la tonelada**, las utilidades para los productores o intermediarios es de **\$5 dólares**.

Los costos operacionales expresados en los *ítems* 2, 3 y 4 pueden ser determinados de forma clara por los actores en función de los costos de recursos humanos, equipos, combustibles, etc. Aunque la depreciación de las máquinas y los altos costos de mantenimiento de equipos como el *chipper* han resultado ser más altos de lo esperado.

Con respecto al costo por tonelada de biomasa del árbol en pie (*ítem* 1), a \$12 dólares en promedio, es el único costo al que se arribó producto de años de especulación y de algunas experiencias negativas en el aspecto de factibilidad. Actores que llegaron a pagar hasta \$18 dólares la tonelada por el árbol en pie tuvieron que afrontar la quiebra temporal de sus operaciones.

Productores o intermediarios, en su mayoría, expresaron que las utilidades reportadas son absorbidas por la depreciación y los costos de mantenimiento de los equipos, especialmente del *chipper*. El costo de esta máquina ronda entre \$50,000 y \$60,000 dólares y requiere mantenimiento frecuente, que incluye afilar las cuchillas (\$54 dólares) o reponerlas (\$540 dólares por juego). En adición, las piezas movibles requieren reparaciones o cambios frecuentes. Varios actores reportaron que cualquier paro del *chipper* puede costar en total hasta \$6,000 dólares.

Todos los actores expresaron que el costo real de la biomasa triturada está cerca de los \$50 dólares la tonelada y que actualmente el precio de la biomasa en el mercado no cubre los costos y no permite beneficios.

Tabla 6. Desglose de costos y precio de *Acacia mangium* triturada para ser usada como combustible de calderas.

Costos de <i>Acacia Mangium</i> Triturada (US\$ / TM)							
Productor o Intermediario	Arbol en Pie	Operación de Corte y Arrastre hasta "Chipper"	Operación del "Chipper"	Transporte (< 150 km)	Costo Total puesta en Cliente	Precio de Venta	Utilidades
A	12	14	10	15	51	55	4
B	13	7	13	12	45	52	7
C	11	7	10	12	40	44	4
D	13	7	10	10	40	43	3
E	10	9	9	12	40	45	5
F	12	8	10	10	40	45	5
G	12	12	6	12	42	50	8
Promedio	12 ± 1	9 ± 3	10 ± 2	12 ± 2	43 ± 4	48 ± 5	5 ± 2

3.8 Costos y precio del proceso de densificación de biomasa para la producción de pellets

Uno de los intermediarios entrevistados con proyectos futuros de densificación de biomasa en República Dominicana, ha proyectado los costos y precio de venta de *pellets* a partir de biomasa molida (tabla 7). La última fila muestra el precio de venta de *pellets* importados al país por al menos una empresa de capital extranjero.

La información obtenida de uno de los intermediarios de forma directa consiste en:

1. Costo por tonelada de la biomasa molida
2. Costo por tonelada del transporte al centro de producción
3. Costo por tonelada del proceso de densificación (pelletización)
4. Precio de venta por tonelada de *pellets* producidos

El precio de venta de *pellets* producidos en el país proyectado por el intermediario a **\$85 dólares la tonelada** podría ser conservador dado los altos costos de densificar la biomasa. Esto, en comparación con el precio de los *pellets* en el mercado internacional, que ronda los **\$200 dólares la tonelada**, indica que República Dominicana podría ser competitiva en relación a los *pellets* importados.

Al menos una empresa extranjera está actualmente importando *pellets* a República Dominicana y tiene por lo menos un cliente al cual le vende biomasa pelletizada a más de **\$200 dólares la tonelada** (información triangulada).

El costo-beneficio para compradores de *pellets* se justificaría por su mayor densidad energética en comparación con la biomasa molida y por un manejo logístico más simple y homogéneo en las plantas de biomasa.

Tabla 7. Desglose de costos proyectado por uno de los intermediarios y precio de biomasa densificada (producción local e importada) para ser usada como combustible de caldera.

Costos de Biomasa Densificada (Pellets) (US\$ / TM)	
Biomasa molida	28
Transporte a centro de producción	3
Pelletización	29
Costo total puesta en Cliente	60
Precio de Venta - <i>Producción Local</i>	85
Precio de Venta - <i>Importada</i>	200

3.9 Dificultades actuales de los actores del mercado de biomasa

Las siguientes preocupaciones fueron externadas por los actores del mercado de biomasa:

1. La oferta formal de biomasa es menor que la demanda, lo que ha aumentado la oferta informal de biomasa y es lo que provoca que los precios se mantengan bajos.
2. Acceso deficiente a fincas forestales y poco apoyo gubernamental en el aspecto logístico y de vías de acceso. Esto provoca que los costos de transporte sean más altos.
3. El impacto de la veda impuesta por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de noviembre de 2015 fue muy notable y provocó la quiebra de algunos actores.
4. Falta de regulación para los precios por tonelada de biomasa del árbol en pie.
5. El sector financiero no apoya con préstamos a los proyectos de biomasa.
6. Bajo precio de la biomasa en el mercado.
7. Alta incertidumbre con la fiabilidad de los sindicatos de transporte.

3.10 Recomendaciones de los actores del mercado de biomasa

1. Aplicar exoneraciones para los equipos de corte, tala y molienda.
2. Disponer exención de impuestos para los equipos que usen electricidad en los procesos de densificación de biomasa.
3. Permitir subsidio de combustibles para los productores e intermediarios de biomasa.
4. Los incentivos fiscales a las energías renovables al 40 % son insuficientes y deben llegar al 75 %. Se deben aplicar los mismos incentivos para los equipos de corte, tala y molienda.
5. Actualmente las utilidades de \$5 dólares la tonelada no son tales, ya que son absorbidas por la depreciación y los costos de mantenimiento de los equipos.
6. El costo real de la biomasa triturada producida por los actores formales debe estar cerca de \$50 dólares la tonelada.

7. La distancia entre los centros de acopio de biomasa procesada y los consumidores no debe pasar los 150 km para una operación rentable.
8. El costo de transporte es un factor limitante en la factibilidad del mercado de biomasa y la proximidad entre las fuentes de biomasa y el consumidor final es clave para la sostenibilidad del mercado a largo plazo.

4 Conclusiones

1. Se estableció la línea base del mercado de biomasa en República Dominicana a través de una metodología robusta de investigación cualitativa, con un marco muestral definido. La data fue recopilada a través de entrevistas a los actores formales en el mercado, muestreo de procesos, grabaciones, filmicas, fotos y métodos de triangulación de información.
2. Se determinó que el mercado de biomasa en el país está circunscrito mayormente en tres de las ocho regiones definidas por el Ministerio de Agricultura: Central, Norcentral y Este.
3. La *Acacia mangium* es la especie de biomasa dominante entre los productores e intermediarios del mercado de biomasa.
4. Los cuatro pasos para procesar la biomasa forestal son: corte de madera, extracción y arrastre, molienda y carga, y transporte.
5. El consumo diario de biomasa, adquirida en el mercado local, y determinado para un total de 13 compradores de biomasa en todo el territorio nacional, es de 2,219 toneladas métricas por día. Este número está dentro del rango estimado por el clúster de biomasa de la Junta Agroempresarial Dominicana entre 2,000 y 3,000 toneladas por día.
6. El total de biomasa producida por los productores e intermediarios formales establecidos en el país es de 992 toneladas por día. A esta cantidad se deben añadir las 1,250 toneladas de bagazo de caña exclusivas para el principal consumidor de biomasa con fines energéticos.
7. El costo total de la *Acacia mangium* triturada para ser usada como combustible de caldera es de \$43 dólares la tonelada. El precio de venta promedio es de \$48 dólares la tonelada, con utilidades para los productores o intermediarios de \$5 dólares la tonelada.

Referencias

1. Cresswell, J. W. (2007). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing among Five Traditions*. Third Edition. Thousand Oaks, CA: Sage.
2. Denzin, N. K. (2009). *The Research Act*. New Brunswick, NJ: Aldine Transaction.
3. Denzin, N. K.; Lincoln, Y. S. (1994). *Handbook of Qualitative Research* Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
4. Guba, E. G.; Lincoln, Y. S. (1994). "Entering the Field of Qualitative Research" In N. K. Denzin and Y.S. Lincoln (Eds.) *Handbook of Qualitative Research* (pp. 105-117). Thousand Oaks, CA: Sage.
5. Kuzel, A. J. (1992). *Sampling in Qualitative Inquiry*. In B. F. Crabtree & W. L. Miller, *Doing Qualitative Research* (pp. 33-46) Newbury Park, CA: Sage.
6. Ramírez, F., Carazo, E., Roldán, C., Villegas, G. (2006). *Encuesta de Oferta y Consumo Energético Nacional a Partir de la Biomasa en Costa Rica, Año 2006*. Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección Sectorial de Energía. San José, Costa Rica.
7. Rodríguez Sosa, J., Rotondo Dall'Orso, E., Vela Mantilla, G. (2007). *Los Estudios de Base: Fundamentos de una Gestión por Resultados*. PREVAL-FIDA. Perú. Ed.: Rotondo Dall'Orso, E y Rodríguez Sosa, J.
8. Van Loo, S., Koppejan, J. (2010). *The handbook of biomass combustion and co-firing*, Earthscan–Taylor & Francis Group, New York, NY, USA.
9. Víctor, S. (2012). *Ethics in advertising and marketing in the Dominican Republic: interrogating universal principles of truth, human dignity and corporate social responsibility*. Ph.D. Dissertation. University of Illinois at Urbana-Champaign.
10. Worley, M. and Yale, J., (2012). *Biomass gasification technology assessment. Consolidated report*. NREL/SR-5100-57085. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, USA.

Anexos

A.1. Cuestionario de las entrevistas

Aplicación de encuestas y/o entrevistas a empresas compradoras de biomasa para calderas en operación, intermediarios y productores de biomasa

Entrevista a productores de biomasa

A) Demográficos

1. Nombre de la empresa
2. Contacto (nombre, puesto, teléfono y correo electrónico)
3. Lugar de operación (ciudad y provincia)
4. Número de empleados

B) Características de la biomasa

5. ¿Qué tipo(s) de biomasa producen? (forestal, agrícola o industrial)
6. Si la biomasa es de tipo forestal, ¿cuáles son las variedades y especies cultivadas? (Distintas especies tienen composiciones químicas diferentes que influirán en la eficiencia de la caldera).

C) Prácticas de cultivo y suelos

7. ¿Cuál es el tipo de suelo?
8. ¿Cuál es el área de la finca?
9. ¿Qué área tienen sembrada y que área bajo explotación?
10. ¿Cuál es la composición de la plantación (especies en % según área ocupada por cada una)?
11. Clasifique la plantación por edades y el turno de rotación de cada especie.
12. ¿Cuál es el plan de manejo?

13. ¿Cuáles fertilizantes utiliza (nitrógeno, fósforo y potasio)? (El uso de nitrógeno aumentará el contenido elemental de este en la biomasa y, por ende, influenciará desfavorablemente el proceso de combustión debido a las emisiones de óxidos de nitrógeno al ambiente).
14. Defina sus prácticas agrícolas para la producción sostenible de biomasa.
15. ¿Cuáles tipos de pesticidas usa y en qué cantidad?
16. ¿Cuál es el ciclo de cosecha de la biomasa y variaciones estacionales (época de corte, estacionalidad)?
17. ¿Cuál es la modalidad de corte (raleo o tala rasa)?

D) Producción y logística

18. ¿Desde cuándo están en operación para la producción de biomasa?
19. Esbozar los pasos para el procesamiento de la biomasa.
20. ¿La producción de biomasa se mantiene durante todo el año o es variable?
21. ¿Cuál es la producción actual (mensual o anual) en toneladas métricas (o kilogramos) por tipo de biomasa?
22. ¿Cuál es la fracción de biomasa producida que es vendida, donada, utilizada y/o desechada?
23. Describir su equipamiento y nivel de conversión física de la biomasa primaria (troceado, *chipping*, secado, densificación, etc.), y fracciones procesadas (hojas, tallos, etc).
24. Describir su proceso de almacenamiento (tipo, período y capacidad), y tiempo transcurrido entre recepción y procesamiento.
25. ¿Cuál es la distancia entre el centro de producción y almacenamiento de biomasa, y qué medio de transporte es utilizado?
26. ¿Cuál es la distancia entre ustedes y sus clientes, y qué medio de transporte es utilizado?
27. Describir el proceso de manejo y entrega de la biomasa procesada a empresas compradoras o a intermediarios.
28. ¿Cuál es el costo por tonelada de biomasa en finca y puerta de planta (“costo de generación”)?

29. ¿Cuál es su proyección de producción de biomasa a 10 años?
30. Describir si tiene planes de expansión en la producción de biomasa o de actualizar la tecnología.
31. ¿Algunas fuentes adicionales de biomasa que no son aprovechadas?
32. ¿Conoce la composición inmediata, elemental, poder calorífico inferior y de cenizas de la biomasa recibida?
33. ¿Tienen fichas técnicas de la biomasa recibida?
34. ¿Hacen algún tipo de análisis a la biomasa recibida?

E) Mercados

35. ¿Cuáles son sus tipos de clientes (intermediarios y/o compradores) y qué aplicación tienen para la biomasa (generación de energía eléctrica, calderas de vapor, cogeneración, biocombustibles, secado, etc.)?
36. ¿Qué cantidad de biomasa es vendida y/o donada a clientes por año?
37. Esbozar las modalidades de los acuerdos de suministro (i.e., contratos, tiempo de entrega).
38. ¿Cuáles medidas externas (públicas o privadas) considera que promoverían su producción de biomasa y aumentarían su mercado local? (i.e., incentivos financieros, transferencia de tecnología, cooperación con otras organizaciones, actualización de Ley 57-07, capacitación, institucionales).
39. ¿Cuáles son sus dificultades actuales como productor de biomasa (financieras, logísticas, ambientales, legales, recursos humanos)?
40. ¿Qué tipo de licencia ambiental tiene (permiso, plan de manejo, plan de corta o plan operativo anual)?
41. ¿Cuáles son sus temores o reparos para continuar produciendo biomasa con fines energéticos de forma sostenible? (mercado, jurídicos, legales, etc)?
42. ¿Cuáles son los principales aportes de su empresa como productor de biomasa a la economía del país (fuente de energía renovable, empleos, desarrollo social y rural, etc.)?

Entrevista a intermediarios de biomasa

A) Demográficos

1. Nombre de la empresa
2. Contacto (nombre, puesto, teléfono y correo electrónico)
3. Lugar de operación (ciudad y provincia)
4. Número de empleados

B) Características, producción y logística

5. ¿Cuál es el tipo de biomasa adquirida? Si es forestal, variedades.
6. ¿Cuál o cuáles empresas le proveen biomasa? Cuáles tipos?
7. ¿Desde cuándo utiliza biomasa en sus operaciones?
8. ¿Cuál es la cantidad anual de biomasa adquirida?
9. ¿Cuál es el precio de adquisición de la biomasa?
10. Describir su equipamiento y el procesamiento de la biomasa recibida (secado, pretratamiento, disminución del tamaño de las partículas o densificación a través de briquetas o *pellets*)
11. ¿La producción de biomasa se mantiene durante todo el año o es variable?
12. ¿Tiene análisis físicos y químicos de la biomasa?
13. ¿Conoce la composición inmediata, elemental, poder calorífico inferior y de cenizas de la biomasa recibida?
14. Tienen fichas técnicas y certificación de la biomasa recibida?
15. ¿Hacen algún tipo de análisis a la biomasa recibida?
16. Describir su proceso de almacenamiento (tipo, período, cantidad, antes y después de procesar la biomasa).
17. Describir el proceso de manejo y entrega de la biomasa procesada a empresas compradoras.

18. ¿Cuál es la distancia entre la fuente de suministro de biomasa y su empresa, y qué modo de transporte utiliza? Enumerar los casos específicos, así como también las distancias entre los centros de producción y los centros de consumo finales.
19. ¿Cuál es el costo por tonelada de biomasa procesada?
20. ¿Cuál es el costo por tonelada de biomasa en finca y puerta de planta (“costo de generación”)?
21. Describir sus planes de expansión en el procesamiento de biomasa o de actualizar la tecnología.
22. Describir sus planes de aumentar, mantener o disminuir la cantidad de biomasa adquirida.

De la entrevista a los productores (si aplica)

23. ¿Cuál es la producción actual (mensual o anual) en toneladas métricas (o kilogramos) por tipo de biomasa?
24. ¿Cuál es la fracción de biomasa producida que es vendida, donada, utilizada y/o desechada?
25. Describir su equipamiento y nivel de conversión física de la biomasa primaria (troceado, chipping, secado, densificación, etc.), y fracciones procesadas (hojas, tallos, etc).
26. Describir su proceso de almacenamiento (tipo, período y capacidad), y tiempo transcurrido entre recepción y procesamiento.
27. ¿Cuál es la distancia entre el centro de producción y almacenamiento de biomasa, y qué medio de transporte es utilizado?
28. Describir el proceso de manejo y entrega de la biomasa procesada a empresas compradoras o intermediarios.
29. ¿Cuál es su proyección de producción de biomasa a 10 años?
30. Describir si tiene planes de expansión en la producción de biomasa o de actualizar la tecnología.
31. ¿Algunas fuentes adicionales de biomasa que no son aprovechadas?

C) Mercados

32. ¿Cuáles son sus tipos de clientes y qué aplicación tienen para la biomasa (generación de energía eléctrica, calderas de vapor, cogeneración, biocombustibles, secado, etc.)?
33. ¿Qué cantidad de biomasa procesada es vendida a clientes por año?
34. Esbozar las modalidades de los acuerdos de suministro (i.e., contratos, tiempo de entrega).
35. ¿Cuáles medidas externas (públicas o privadas) considera que promovería su empresa como intermediario de biomasa y aumentaría su mercado local (i.e., incentivos financieros, transferencia de tecnología, cooperación con otras organizaciones, actualización de la Ley 57-07, capacitación, institucionales)?
36. ¿Cuáles son sus dificultades actuales como intermediario (financieras, logísticas, ambientales, legales, recursos humanos)?
37. ¿Qué tipo de licencia ambiental tiene (permiso, plan de manejo, plan de corta o plan operativo anual)?
38. ¿Cuáles son sus temores o reparos para continuar ejerciendo como intermediario (mercado, jurídicos, legales, etc.)?
39. ¿Cuáles son los principales aportes de su empresa como intermediario de biomasa a la economía del país (fuente de energía renovable, empleos, desarrollo social y rural, etc.)?

Entrevista a compradores de biomasa

A) Demográficos

1. Nombre de la empresa
2. Contacto (nombre, puesto, teléfono y correo electrónico)
3. Lugar de operación (ciudad y provincia)
4. Número de empleados

B) Características y logística

5. ¿Cuáles tipos de biomasa adquiere para sus operaciones (forestal, agrícola o industrial), y especies? ¿Producen parte de la biomasa en fincas propias?
6. ¿Cuál o cuáles empresas (productor y/o intermediario) le proveen biomasa? Cantidad de suplidores. Tipo de acuerdo de suministro.
7. Describa su proceso de abastecimiento de biomasa (logístico). Describir el proceso de manejo y entrega de la biomasa procesada de empresas compradoras o intermediarios.
8. ¿Desde cuándo utiliza biomasa en sus operaciones?
9. ¿Cuál es la cantidad anual de biomasa adquirida en general por tipo (comprada y donada)? Cantidad (mensual o anual) en toneladas métricas (o kilogramos) por tipo de biomasa.
10. ¿Cuál es el precio de adquisición de la biomasa por tipo y productor? Si aplica.
11. ¿Qué se hace con la biomasa cuando se recibe?
12. ¿Les exigen algún tipo de licencia o certificación a sus suplidores? ¿Solo trabajan con empresas establecidas o con cooperativas? ¿Cuáles son?
13. Describir el proceso, equipamiento y logística de recepción de la biomasa.
14. ¿Reciben biomasa durante todo el año, o es variable? ¿Tiene paradas de planta?
15. ¿Qué fracción de la biomasa recibida es procesada, desechada y almacenada?
16. ¿Conoce la composición inmediata, elemental, poder calorífico inferior y de cenizas de la biomasa recibida?
17. ¿Tienen fichas técnicas de la biomasa recibida?
18. ¿Hacen algún tipo de análisis a la biomasa recibida?
19. Describir si existe algún procesamiento-conversión de la biomasa recibida (secado, pretratamiento, disminución del tamaño de las partículas, troceado, *chipping*, o densificación a través de briquetas o "*pellets*")
20. Describir su proceso de almacenamiento (tipo, período, cantidad –si aplica-) y tiempo transcurrido entre recepción y procesamiento.

21. ¿Cuál es la distancia entre la fuente de suministro de biomasa y su empresa, y qué modo de transporte es utilizado?
22. ¿Cuál es la distancia entre el centro de producción y almacenamiento de biomasa, y qué medio de transporte es utilizado?
23. ¿Algunas fuentes adicionales de biomasa que pudiesen ser usadas?
24. Describir sus planes de aumentar, mantener o disminuir la cantidad de biomasa adquirida de ahora a 10 años.
25. Describir si tiene planes de expansión en el uso de la biomasa o de actualizar la tecnología.
26. ¿Cuál es su proyección de producción de energía a partir de biomasa de acá a 10 años?

C) Sistemas de calderas o gasificadores de biomasa

27. ¿Cuál es el consumo mensual o anual de biomasa para el sistema de caldera o gasificación?
28. Describir el equipamiento y la operación del sistema de calderas y con cuáles fines se utiliza (vapor, electricidad, cogeneración, secado).
29. ¿Cuáles son las características del fluido a calentar?
30. ¿Cuál es la eficiencia de la combustión de la biomasa en el sistema de caldera o gasificación? Explicar controles de entrada de aire y/u oxígeno.
31. ¿Cuál es el contenido de emisiones (monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas)?
32. ¿Tiene sistemas de control de emisiones (frecuencia de análisis y control de combustión)?
33. ¿Cuál es la cantidad de cenizas generadas después del proceso de combustión? ¿Qué hace con las cenizas?
34. ¿Usa otras fuentes energéticas alternas a la biomasa (*fuel oil*, diésel, GLP, solar).
35. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de utilizar la biomasa como combustible (logístico y/u operacional)?

36. ¿Cuántos galones de combustibles fósiles diarios se ahorran por utilizar sistemas de biomasa?
37. ¿Cuál es el precio de la energía producida en su sistema de caldera o gasificación?
38. ¿Cuál es la producción mensual o anual de vapor (kilogramos) y/o energía (watt) del sistema de caldera o gasificación?
39. Describir sus planes de expansión en el uso de biomasa para la generación de energía o planes de actualizar la tecnología.
40. Planes de sustituir otras fuentes no renovables de energía, con biomasa.
41. ¿Cuenta con procesos de mantenimiento en su planta de biomasa, y cuántas veces al año?

D) Mercados

42. ¿Cuáles son sus tipos de proveedores y qué aplicación tienen para la biomasa (generación de energía eléctrica, calderas de vapor, cogeneración, biocombustibles, secado, etc.)?
43. ¿Hay parte de la biomasa recibida que no se usa, que se desecha? ¿Encuentra impurezas u objetos extraños en la biomasa recibida?
44. Esbozar las modalidades de los acuerdos de suministro con su proveedor de biomasa (i.e., contratos, tiempo de entrega).
45. ¿Cuáles medidas externas (públicas o privadas) considera que promovería su empresa como comprador de biomasa y aumentaría su mercado local (i.e., incentivos financieros, transferencia de tecnología, cooperación con otras organizaciones, actualización de la Ley 57-07, capacitación, institucionales)?
46. ¿Cuáles son sus dificultades actuales como comprador de biomasa para su uso con fines energéticos (financieras, logísticas, ambientales, legales, recursos humanos, capacitación, entrenamiento)?
47. ¿Qué tipo de licencia ambiental tiene (permiso, plan de manejo, plan de corta o plan operativo anual)?
48. ¿Cuáles son sus temores o reparos para continuar utilizando biomasa con fines energéticos (mercado, jurídicos, legales, etc.)?

49. ¿Cuáles son los principales aportes de su empresa como comprador de biomasa a la economía del país (fuente de energía renovable, empleos, desarrollo social y rural, etc.)?

A2. Modelo de carta enviada a los actores del mercado de biomasa en República Dominicana.





"Año de la Atención Integral a la Primera Infancia"

En vista de que usted forma parte de ese selecto grupo, nos gustaría saber si estaría de acuerdo en colaborar con su participación en este proceso, concediéndonos una entrevista, para lo cual visitaríamos sus instalaciones. La entrevista en cuestión abarcará preguntas relacionadas con su producción actual y potencial de biomasa, preferencias del mercado, y prospectivas de demanda. Con su aprobación, la visita a sus instalaciones incluirá un muestreo de procesos así como la toma de muestras de biomasa. La duración de la entrevista y la visita será de aproximadamente noventa (90) minutos. Toda la información obtenida será manejada de forma estrictamente confidencial, y su nombre o el de su empresa no aparecerán en los productos.

Los resultados de este análisis serán un valioso insumo para la formulación de la normativa del mercado de biomasa, la cual podrá proveer mayores incentivos que los existentes. Además, redundará en beneficios para todos los actores del mercado de la biomasa, y para nuestro país.

Quedamos a la espera de su respuesta, sin otro particular nos despedimos con sentimientos de consideración y estima,

Atentamente,

Lic. Juan Rodríguez Nina
Director Ejecutivo



JRN/fg/mp



Capítulo 2

Estudio de base de biomasa disponibles para la generación industrial de calor y energía eléctrica

Capítulo 2

1. Alcance y objetivo.....	47
2. Biomasa.....	47
2.1 Biomasa en el contexto de República Dominicana.....	47
2.2 Composición de la biomasa lignocelulósica.....	49
3. Metodología.....	50
3.1 Línea base.....	51
3.2 Análisis químico de las muestras de biomasa.....	53
3.3 Análisis químico inmediato.....	54
3.4 Determinación del poder calorífico.....	56
4. Resultados y discusión.....	56
4.1 Relación entre composición de la biomasa y su caracterización.....	56
4.2 Efecto de las propiedades físico-químicas de la biomasa en su combustión.....	57
4.3 Caracterización de muestras de biomasa tomadas en República Dominicana.....	59
4.4 Disponibilidad sostenible de las especies de biomasa analizadas en República Dominicana.....	63
5. Resumen.....	64
6. Recomendaciones.....	65
Glosario.....	66
Referencias.....	67

1 Alcance y objetivo

El producto número dos, “Estudio de base de biomasa disponibles para la generación industrial de calor y energía”, es el segundo componente de un total de cinco que completarán el “Estudio de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana y su plan de aprovechamiento para la generación de energía.”

En sentido general, el estudio “abarcará la cuantificación de la producción de biomasa de origen forestal, agrícola e industrial en todo el territorio de República Dominicana, la fracción disponible para el aprovechamiento energético de dicha biomasa dentro de un marco de sostenibilidad, incluyendo la caracterización de la biomasa bajo utilización”. (Pliego de condiciones específicas CCC-CNE-LPN-2014-0003).

Específicamente, el producto número dos continuará la línea base trazada en el producto número uno para el mercado de biomasa en República Dominicana. En ese sentido, el objetivo de este producto es “convertir biomasa disponibles en oferta para el mercado de biomasa para calderas para generar energía eléctrica y calor (...) y debe incluir una caracterización de los tipos de biomasa bajo explotación”.

2 Biomasa

2.1 Biomasa en el contexto de República Dominicana

Producir energía a partir de fuentes renovables es una realidad *in crescendo* a nivel mundial, sobre todo en países no productores de combustibles fósiles como República Dominicana. La biomasa es una de esas fuentes de energía con un gran potencial a partir de un mercado en definición, evaluado en el producto número uno.

Biomasa es todo material vegetal u orgánico que pueda ser usado como fuente de energía térmica, energía eléctrica, químicos o combustibles (NREL, 2017). Para el alcance de este estudio, su fin es la generación de calor y energía eléctrica. Dentro de un marco de sostenibilidad, el uso de biomasa aportará a la diversificación de la matriz energética dominicana mientras se minimiza la emisión de gases invernadero.

La Comisión Europea, parte de la Unión Europea, emitió algunos criterios de sostenibilidad para biomasa con fines de energía eléctrica o térmica, y que podrían ser referencia en República Dominicana. Ver a continuación (Comisión Europea, 2010):

- Monitorear de forma consistente el origen de la biomasa consumida para asegurar que la fuente sea sostenible a largo plazo.
- Favorecer esquemas logísticos de apoyo para el uso de fuentes biomásicas locales.
- Establecer el porcentaje de disminución en la emisión de gases invernadero, comparado con los combustibles fósiles.

A grandes rasgos, hay dos tipos de biomasa: **comestibles** y **no comestibles**. La energía a partir de biomasa **comestible**, como el maíz o la caña de azúcar, no es una solución a largo plazo por la competencia con la producción de alimentos y el consecuente aumento de precios.

En cambio, las fuentes de biomasa **no comestible**, como la *Acacia mangium*, son sostenibles ya que no interfieren con la cadena alimenticia y pueden crecer en terrenos de baja fertilidad (Huber y Dale, 2009). En ese sentido, los residuos de la biomasa comestible pueden aprovecharse para la generación energética, como el bagazo de caña, la cascarilla de arroz, el raquis de la hoja del coco, raquis del racimo de palma, etc.

En el caso de República Dominicana, en el ámbito de la sostenibilidad, la biomasa comestible y las algas marinas quedan fuera del contexto para fines energéticos o productos de valor agregado.

La biomasa no comestible, lignocelulósica, que entra en el contexto dominicano como fuente de energía renovable, son las siguientes (fig.1), como se definió en el capítulo 1:

A. Biomasa forestal

Consiste en especies arbóreas. Conocidas también como biomasa leñosas, tienen más concentración de carbono elemental que las biomasa herbáceas, lo que implica un mayor poder calorífico. Dentro de este grupo están la *Acacia mangium*, *Pino caribea*, eucalipto, leucaena, etc.

B. Biomasa herbácea

Son especies herbáceas. Dentro de este grupo están las hierbas como el *king grass* (yerba merker), *super king grass* (híbrido), bambú, *Arundo donax*, etc.

C. Biomasa residual

Se trata de los residuos lignocelulósicos del procesamiento de especies comestibles y no comestibles. Dentro de este grupo están la jícara de coco, el bagazo de caña, cascarilla de arroz, endocarpio (cascarilla), raquis del racimo de la palma aceitera, cáscara del café, paja de arroz y paja de caña de azúcar, el aserrín de madera, corteza, astillas, cachazos y costanera.

Figura 1. Tipos de biomasa lignocelulósica, no comestible.



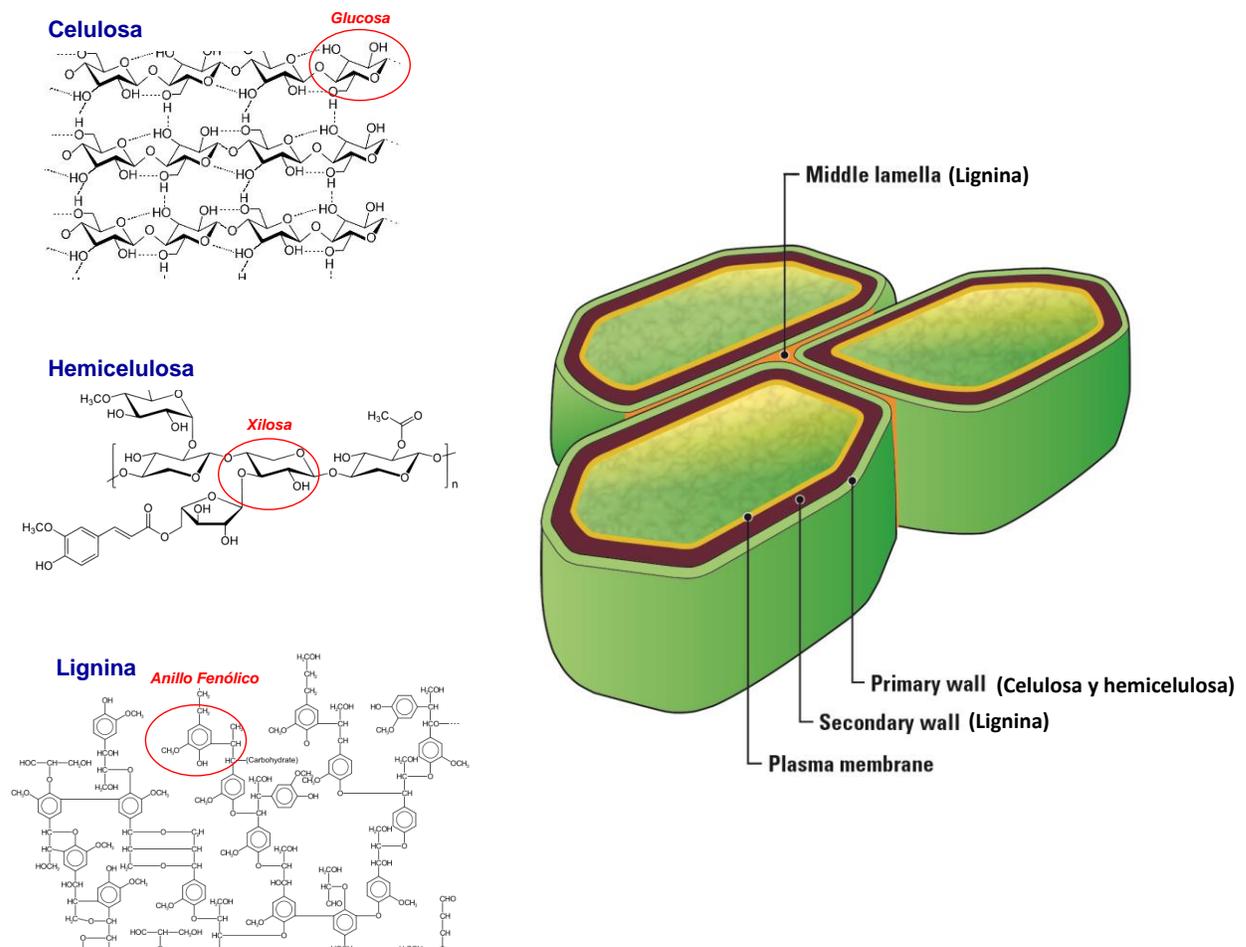
2.2 Composición de la biomasa lignocelulósica

La biomasa no comestible es lignocelulósica y tiene tres componentes principales: celulosa, hemicelulosa y lignina (fig. 2). La celulosa y hemicelulosa son carbohidratos poliméricos y representan hasta un 80 % de la composición de la pared celular (30-50 % celulosa y 20-30 % hemicelulosa). La celulosa consiste en monómeros de glucosa (hexosa) y su función es proveer estructura a la planta (de Frías, 2013).

Contrario a la estructura cristalina de la celulosa, la hemicelulosa es amorfa y consiste principalmente en monómeros de pentosas (ej., xilosa y arabinosa), entrelazados con las fibras de celulosa. La lignina, el tercer componente en importancia en la biomasa, no es carbohidrato como los otros dos, sino que consiste en polímeros fenólicos.

De modo ilustrativo, si vemos la pared de la biomasa como una fibra de vidrio, la lignina es el pegamento que une las fibras, que serían celulosa y hemicelulosa.

Figura 2. Estructura de la pared celular de la biomasa lignocelulósica.



Fuente: Adaptado de <http://genomicscience.energy.gov/roadmap/#page=news>

3 Metodología

Los términos de referencia del estudio establecen que el objetivo del producto número dos se alcanzará mediante la “metodología de los estudios de línea base, análisis inmediato y elemental y determinación del poder calorífico inferior de la biomasa para la caracterización de la misma”.

El criterio establecido por la Comisión Nacional de Energía consiste en que los “productores de las especies seleccionadas invierten en su disposición final o destrucción de las biomásas consideradas”, y la no objeción en su aprovechamiento por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Ministerio de Agricultura.

3.1 Línea base

En la línea base trazada en el producto número uno para el estudio del mercado de biomasa en República Dominicana, se emplearon indicadores cualitativos y cuantitativos agrupados en seis temas:

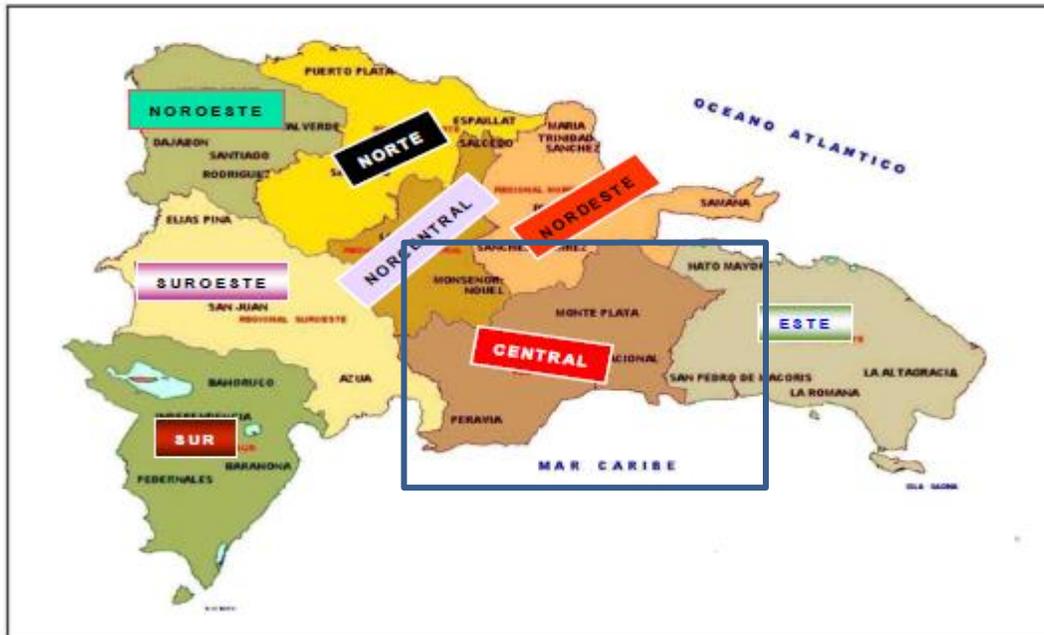
- Empresas
- Característica de la biomasa
- Cultivos y suelos
- Producción y logística
- Mercados
- Sistema de generación de energía

Aunque se evaluaron ocho regiones para el estudio de línea base, la mayoría de los entrevistados se encuentran en tres de las ocho regiones, según la distribución del Ministerio de Agricultura: Central, Norcentral y Este (fig. 3). En el producto número uno se determinó que estas tres regiones forman el epicentro del mercado de biomasa en el país.

La *Acacia mangium* es la especie dominante entre todos los productores (excepto el productor número dos), y están concentrados en las regiones Central (ej., Monte Plata) y Norcentral (ej., Monseñor Nouel). La principal fuente de biomasa residual (i.e., bagazo de caña) está en la región Este, específicamente en la provincia San Pedro de Macorís (tabla 1).

La región Central, específicamente el Gran Santo Domingo y Monte Plata, son los principales centros de acopio para biomasa residual (i.e., aserrín). La cascarilla de arroz tiene una presencia importante en la región Nordeste por las arroceras presentes en la zona.

Figura 3. Regiones del país según la definición del Ministerio de Agricultura. En el encuadro se encuentran las tres regiones del país que forman el epicentro del mercado de biomasa: Central, Norcentral y Este.



Fuente: Adaptado del producto número uno, Plan Operativo 2012. Ministerio de Agricultura de República Dominicana.

3.1.1 Toma de muestras

Durante la recopilación de información en las visitas y entrevistas a los actores del mercado de biomasa, se tomaron muestras representativas de nueve especies de biomasa, como parte del muestreo de procesos.

Cada muestra fue seleccionada *in situ*, ya molida o “chipeada”, y llevada en fundas ZipLoc® el mismo día al Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI) de República Dominicana para su caracterización.

La tabla 1 es el marco muestral evaluado en el producto número uno. Están sombreados los actores donde se tomaron las muestras de biomasa que fueron analizadas. La muestra tomada está identificada con un recuadro y fueron las siguientes:

- *Acacia mangium* Monte Plata
- *Acacia mangium* Bonao
- Leucaena
- Bagazo de caña
- Jícara de coco
- Paja de coco
- Yerba merker (*king grass*)
- Cascarilla de arroz

- Aserrín

Tabla 1. Identificación de los **siete** actores donde se tomaron las **nueve** muestras de biomasa dentro del marco muestral definido en el producto número uno. (Los actores están sombreados y las muestras tomadas en recuadro).

Tipo de Empresa	Región	Tipo de Biomasa	Especies de Biomasa
Productor 1	Este	Forestal	Acacia Mangium
Productor 2	Este	Forestal	Eucalipto y Leucaena
Productor 3	Norcentral	Forestal	Acacia Mangium
Productor 4	Norcentral	Forestal	Acacia Mangium
Productor 5	Este	Forestal	Acacia Mangium
Productor 6	Central	Residual	Residuos de fibra de Algodón
Productor 7	Norcentral	Forestal	Acacia Mangium y Eucalipto
Intermediario 1	Central	Forestal	Acacia Mangium
Intermediario 2	Central	Residual	Poda urbana, residuos de aserraderos, costanera
Intermediario 3	Central	Residual	Aserrín
Intermediario 4	Norcentral	Forestal	Acacia Mangium y Pino Caribe
Intermediario 5	Central	Forestal, Herbácea, Residual	Acacia Mangium, Jícara de coco, Coco entero, King Grass, Poda, Aserrín, Paletas
Intermediario 6	Norte	Forestal	Acacia Mangium, Samán
Intermediario 7	Central	Forestal	Acacia Mangium, Eucalipto, Caya Senegalense, Raleos de Pinos y Raleos de Teca
Prod e Inter 1	Nordeste	Forestal	Acacia Mangium
Prod e Inter 2	Central	Forestal	Acacia Mangium y Pino Caribe
Prod y Auto 1	Central	Residual	Racimos
Prod y Auto 2	Nordeste	Residual	Cascarilla de arroz
Comprador 1	Norcentral	Forestal, Residual	Acacia Mangium, Jícara de coco, Aserrín, Bagazo de caña
Comprador 2	Este	Forestal	Acacia Mangium
Comprador 3	Este	Forestal, Herbácea, Residual	Bagazo de Caña, Leucaena, Eucalipto, King Grass
Comprador 4	Central	Residual	Aserrín y Residuos de Madera
Comprador 5	Central	Forestal y Residual	Residuos de Madera y Paletas
Comprador 6	Central	Forestal	Acacia Mangium
Comprador 7	Norte	Forestal	Acacia Mangium

3.2 Análisis químico de las muestras de biomasa

Los pliegos de condiciones del presente estudio indican la realización del “análisis inmediato y elemental y determinación del poder calorífico inferior de la biomasa para la caracterización de la misma”. Para este trabajo se hizo el análisis inmediato y el poder calorífico superior de las muestras.

En el transcurso de la elaboración de este estudio se acordó con la Comisión Nacional de Energía solo la realización del análisis inmediato y el poder calorífico, ya que el Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI) no tiene la capacidad para realizar los otros análisis requeridos. A la fecha, no existe un

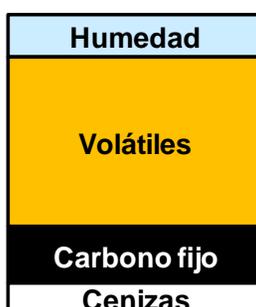
laboratorio en República Dominicana que pueda realizar el análisis elemental de la biomasa.

3.3 Análisis químico inmediato

Para el análisis químico inmediato y determinación de poder calorífico de las muestras de biomasa, el laboratorio del IIBI utiliza los procedimientos descritos en las normas ASTM (*American Society for Testing Materials*).

Este análisis consiste en la determinación del contenido de humedad, cenizas, elementos volátiles y carbono fijo en la muestra de biomasa. La figura número cuatro presenta la proporción aproximada de estos elementos en la biomasa.

Figura 4. Proporción aproximada del contenido de humedad, cenizas, elementos volátiles y carbono fijo en la biomasa.



Fuente: Adaptado de Arthur J. Ragauskas, Ph.D. (Georgia Tech, Atlanta, GA, USA)

3.3.1 *Análisis de humedad*

El contenido de humedad se define como el porcentaje de agua presente en la biomasa. Para el análisis de humedad en biomasa, se utilizó el método gravimétrico descrito en las normas ASTM (norma E871-82, 2013). Este método es relativamente sencillo y consiste en establecer la pérdida de peso de la muestra después de estar en un horno a 103 °C y 16 horas.

Terminado el análisis, el porcentaje de humedad se calcula, en base húmeda, con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{m_i - m_s}{m_i} \times 100$$

En esta fórmula, m_i es la masa inicial en gramos de la muestra de biomasa y m_s es la masa en gramos de la biomasa después de secar a 103 °C hasta un peso constante.

3.3.2 Análisis de elementos volátiles

Los elementos volátiles a partir de la biomasa se forman durante el proceso de combustión y consisten en gases de bajo peso molecular, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), etc. (Rosendahl, 2013).

Para el análisis de volátiles en biomasa, según ASTM (norma ASTM E872-82, 2013), se determinó el porcentaje de productos gaseosos, excepto vapor de agua, que se liberó durante el calentamiento de la biomasa. La pérdida de peso estableció el contenido de volátiles:

$$\text{Volátiles (\%)} = \text{pérdida de peso de biomasa (\%)} - \text{humedad (\%)}$$

3.3.3 Determinación del contenido de carbono fijo

El carbono fijo es el residuo sólido combustible después de la remoción de volátiles durante el proceso de combustión y se calcula por diferencia a partir de las composiciones de humedad, cenizas y volátiles. El carbono fijo se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Carbono fijo (\%)} = 100 - \text{volátiles (\%)} - \text{humedad (\%)} - \text{cenizas (\%)}$$

3.3.4 Análisis de cenizas

Las cenizas son el residuo remanente de la completa oxidación de la biomasa a 600 °C (norma ASTM D1102-84, 2013).

Para el análisis de cenizas en biomasa, según ASTM, se oxidó completamente la muestra de biomasa en un horno mufla a 600 °C para entonces determinar el porcentaje de cenizas en la muestra de biomasa inicial:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{m_{\text{cenizas}}}{m_{\text{biomasa en base húmeda}}} \times 100$$

En este caso, m_{cenizas} es la masa en gramos de cenizas y $m_{\text{biomasa en base húmeda}}$ es la masa en gramos de la biomasa inicial.

3.4 Determinación del poder calorífico

El poder calorífico inferior (PCI) de la biomasa es una medida del calor aprovechable en la caldera y se define como el calor liberado durante la combustión por unidad de biomasa. El PCI debe determinarse tomando en cuenta que el agua formada durante la combustión esté en fase gaseosa. Se hace necesario que la biomasa tenga el menor contenido de humedad posible, ya que el PCI disminuye a medida aumenta la humedad.

Para determinar el PCI, es necesario determinar en principio el poder calorífico superior (PCS). Contrario al PCI, el PCS se determina tomando en cuenta que el vapor de agua formado durante la combustión retorne a la fase líquida. Es decir, la determinación del PCS incluye el calor latente de vaporización del agua, mientras que el PCI no lo incluye.

Durante la elaboración de este estudio, se encontró que el Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI) tiene la capacidad de determinar el poder calorífico superior (PCS), pero no el inferior (PCI). Esto así porque el PCI es un valor calculado que necesita el porcentaje de hidrógeno elemental en la muestra, y el laboratorio no tiene los equipos para realizar análisis elemental de biomasa. A la fecha, no existe un laboratorio en República Dominicana con esta capacidad.

El PCS se determina experimentalmente, mediante el método ASTM, utilizando una bomba calorimétrica (norma ASTM D5468-02, 2007).

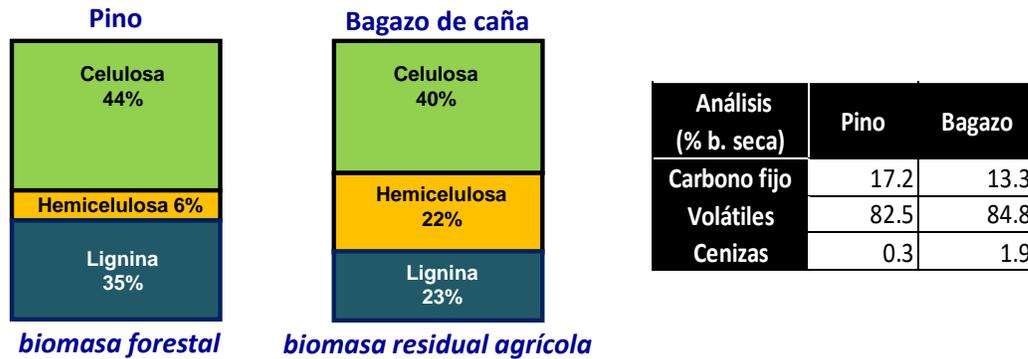
4 **Resultados y discusión**

4.1 Relación entre composición de la biomasa y su caracterización

Estudios anteriores han demostrado que la celulosa y hemicelulosa presente en la biomasa influyen en el contenido de volátiles (fig. 5), lo que indica que la biomasa enciende y quema rápido, contrario a otras fuentes como el carbón mineral (L.K. Li et al., 2016) que tiene menor contenido de volátiles.

La lignina, en cambio, influye en el contenido de carbono fijo de la biomasa (fig. 5), el cual puede calcularse a partir del contenido de lignina en la muestra. (Demirbas 2003). La figura número cinco muestra cómo un mayor contenido de lignina en el pino implica un mayor contenido de carbono fijo, comparado con los contenidos de lignina y carbono fijo del bagazo de caña. El carbono fijo, remanente después de la combustión de volátiles, determina la velocidad de combustión, ya que las reacciones de combustión del carbono fijo son más lentas (Basu, 2010).

Figura 5. Relación entre la composición química de pino y bagazo de caña con su caracterización (análisis químico inmediato).



Fuente: Adaptado de Sluiter et al. (2010); Dekker et al. (1998) y Anukam et al. (2016).

4.2 Efecto de las propiedades físico-químicas de la biomasa en su combustión

El contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en biomasa tiene una relación directa con propiedades inherentes de la biomasa y que van a determinar su proceso de conversión a calor y energía (López González, 2013). Es decir, el tipo de biomasa y sus propiedades físicas y químicas tienen una influencia primaria en el proceso de combustión.

Para fines de uso de la biomasa como combustible de calderas o gasificadores, las propiedades más importantes son los contenidos de humedad, carbono fijo, volátiles y cenizas. Este análisis químico inmediato provee información vital sobre el comportamiento de la biomasa durante el proceso de combustión (tabla 2).

4.2.1 Humedad

La humedad es el contenido de agua en la muestra de biomasa y puede variar considerablemente dependiendo del tipo de biomasa y las condiciones de almacenamiento entre 15 % y 63 % (base húmeda) (Rosendahl, 2013). Para fines de combustión, la humedad no puede ser muy alta ya que la energía usada en su evaporación no se recupera (Basu, 2010).

Determinar el contenido de humedad en la biomasa es fundamental para elegir el tipo de caldera y asegurar su óptimo funcionamiento. Contenidos altos de humedad en la biomasa disminuirán la eficiencia de la combustión y el volumen de gases producidos en la caldera, ya que se consumirá mucha energía secando la biomasa antes de iniciar la combustión (Worley y Yale, 2012). Por esto, es recomendable invertir en una caldera que sea eficiente usando tipos de biomasa con un alto contenido de humedad sin necesidad de un secado externo de la biomasa (Van Loo y Koppejan, 2010).

4.2.2 Volátiles y carbono fijo

Los volátiles y el carbono fijo representan la energía química de la biomasa que será transformada en energía térmica.

Contrario al carbón mineral, la biomasa tiene un alto contenido de volátiles que oscila entre 70 % - 86 % (base seca). Esto hace que la biomasa sea un combustible altamente reactivo que va a influenciar de gran manera la descomposición térmica de la misma (Van Loo y Koppejan, 2010).

El contenido de carbono fijo en biomasa varía entre 6 % y 20 % (base seca). Un óptimo funcionamiento de la caldera requiere la descomposición completa de este carbono fijo en dióxido de carbono (CO_2) y H_2O .

4.2.3 Cenizas

Las cenizas son el residuo que resulta de la combustión de la biomasa y su contenido afecta todo el proceso de conversión energética (McKendry 2002). El contenido de cenizas en la biomasa varía entre 0.1 %, como en algunas biombras leñosas, hasta un 15 % para algunas biombras herbáceas o agroindustriales.

Este análisis es una medida del contenido mineral y de otras materias inorgánicas enlazadas a la estructura de carbono de la biomasa. Ese contenido mineral, determinado a través del análisis de cenizas, aumenta si la muestra presenta impurezas minerales producto del procesamiento de la biomasa (Van Loo y Koppejan, 2010).

El diseño de la caldera de biomasa y su óptimo funcionamiento depende del contenido de cenizas en las muestras. Es preferible utilizar biomasa con un bajo componente de este residuo para disminuir las emisiones durante el proceso de combustión, así como para simplificar el proceso de remoción de cenizas de la caldera después de la quema de la biomasa (Worley y Yale, 2012). Un alto contenido de cenizas en la biomasa también puede afectar la limpieza de los intercambiadores de calor de la caldera.

4.2.4 Poder calorífico

En diferentes tipos de biomasa el poder calorífico varía entre 6 y 16 megajulios por kilogramo de biomasa (MJ/kg en base seca) (Van Loo y Koppejan, 2010). Los valores más bajos corresponden a biombras herbáceas o agroindustriales, mientras que los valores más altos corresponden a biombras leñosas.

En este estudio se utiliza el PCS para la determinación del poder calorífico de las muestras de biomasa (sección 3.4).

Tabla 2. Efectos de las propiedades físico-químicas de la biomasa en la combustión.

Efectos de las propiedades físico-químicas de la biomasa	
Características	Efectos
Humedad	Almacenamiento, Poder Calorífico, Ignición espontánea, Diseño de planta
Poder Calorífico	Uso de la biomasa, Diseño de planta
Volátiles	Comportamiento de la descomposición térmica
Cenizas	Emisiones, Manejo de cenizas, Tecnología de combustión, Depósitos

4.3 Caracterización de muestras de biomasa tomadas en República Dominicana

La tabla número tres muestra los resultados del análisis químico inmediato de las muestras de biomasa tomadas como parte de este estudio. Los porcentajes son reportados en *base húmeda*, lo que quiere decir que es el porcentaje de los componentes de la muestra tal como fue recibida.

4.3.1 *Humedad en las muestras de biomasa dominicana*

Todos los consumidores de biomasa en República Dominicana solo utilizan biomasa con un contenido de humedad menor al 50 %. Es el máximo contenido de humedad aceptado por los compradores de biomasa en el país para usarla como combustible de caldera. En las biomosas analizadas, el contenido de humedad de las muestras varía entre el 8 % y el 62 %, dependiendo de la especie.

Mientras las especies maderables, molidas o “chipeadas”, tienen un contenido de humedad menor del 50 % en finca, lo que permite su uso inmediato, algunas especies residuales o herbáceas están cerca o sobrepasan este límite (tabla 3). En estos casos aplicaría una etapa de secado al aire libre para reducir su humedad a menos del 50 %.

Cabe destacar que la mayoría de los productores e intermediarios del mercado de biomasa no tienen sistemas de almacenamiento, ya que no es rentable debido a la descarga y carga adicional que requiere. En cambio, todos los compradores tienen sistemas soterrados o bajo techo para garantizar los niveles de humedad que necesitan.

Tabla 3. Análisis químico inmediato (base húmeda) de las muestras de biomasa dominicana tomadas durante el muestreo de procesos en República Dominicana.

Análisis Inmediato de Biomasa Dominicana (% base húmeda)					
Biomasa Analizada	Tipo de Biomasa	Humedad	Carbono fijo	Materia Volátil	Cenizas
<i>Acacia Monte Plata</i>	Forestal	30.4	16.4	52.0	1.2
<i>Acacia Bonao</i>	Forestal	38.4	14.4	45.7	1.5
<i>Leucaena</i>	Forestal	29.2	16.4	51.8	2.6
<i>Bagazo de caña</i>	Residual	62.6	7.1	28.4	1.9
<i>Jícara de coco</i>	Residual	8.4	18.2	72.7	0.7
<i>Paja de coco</i>	Residual	49.8	9.8	39.2	1.2
<i>Yerba Merker</i>	Herbácea	41.1	11.0	44.1	3.8
<i>Cascarilla de arroz</i>	Residual	8.0	15.2	60.7	16.1
<i>Aserrín</i>	Residual	25.6	14.8	59.2	0.4

4.3.2 *Carbono fijo y material volátil en las muestras de biomasa dominicana*

Como el contenido de humedad de la muestra afecta los porcentajes relativos de carbono fijo, volátiles y cenizas, la tabla número cuatro incluye estas composiciones en base seca. La última columna es el poder calorífico superior determinado a las muestras.

Las muestras analizadas tienen porcentajes comparables de carbono fijo (16-19 %) y de materia volátil (65-79 %). Un alto contenido de volátiles, como en el caso de la biomasa, permite que la misma pueda encenderse con más facilidad, (ver 4.2.2) (McKendry, 2002). Otro hallazgo es que todas las muestras de biomasa dominicana tienen aproximadamente la misma proporción de volátiles y carbono fijo (aprox. 80/20), y por tanto tienen la misma alta capacidad de combustión.

Comparando las composiciones de las biomásas dominicanas con las mismas especies en otras partes del mundo, se estableció que la proporción entre carbono fijo y material volátil es muy similar (tabla 5).

Por otro lado, en el caso del carbón mineral, la proporción entre volátiles y carbono fijo es inversa, por lo que el proceso de ignición y gasificación tomaría más tiempo (tabla 6), dado el menor contenido de volátiles. Al mismo tiempo, al tener mayor contenido de carbono elemental, su poder calorífico es mayor que en todas las especies de biomasa (tablas 4 y 5).

Tabla 4. Análisis químico inmediato (en base seca) de las muestras de biomasa dominicana tomadas durante el muestreo de procesos.

Análisis Inmediato de Biomasa Dominicana (% base seca) y PCS (base seca)					
Biomasa Analizada	Tipo de Biomasa	Carbono fijo	Materia Volatil	Cenizas	PCS (MJ/kg)
<i>Acacia Monte Plata</i>	Forestal	19.7	78.6	1.7	18.2
<i>Acacia Bonaó</i>	Forestal	18.6	79.0	2.4	17.8
<i>Leucaena</i>	Forestal	19.8	76.4	3.8	17.1
<i>Bagazo de caña</i>	Residual	18.9	75.9	5.2	16.9
<i>Jícara de coco</i>	Residual	19.8	79.4	0.8	17.9
<i>Paja de coco</i>	Residual	19.7	77.9	2.4	17.7
<i>Yerba Merker</i>	Herbácea	19.5	73.7	6.8	15.8
<i>Cascarilla de arroz</i>	Residual	16.5	65.9	17.6	14.8
<i>Aserrín</i>	Residual	19.9	79.5	0.6	18.1

Tabla 5. Análisis químico inmediato (en base seca) de biomasa americana y europea analizada por otras fuentes.

Análisis inmediato de Biomasa Americana y Europea				
Biomasa	Carbono fijo (% b.seca)	Materia Volatil (% b.seca)	Cenizas (% b.seca)	PCS (MJ/kg) (b.seca)
<i>Acacia Mangium</i> ¹	16.8	82.4	0.8	16.9
<i>Leucaena</i> ²	17.5	80.9	1.5	19.8
<i>Bagazo de caña</i> ²	16.9	75.1	8.0	19.5
<i>Aserrín</i> ²	16.4	82.3	1.3	20.2
<i>Jícara de coco</i> ²	17.7	81.8	0.5	20.5
<i>Cascarilla de arroz</i> ²	19.9	60.6	19.5	13.4
<i>Corteza de coníferas</i> ³	14.8 - 25.4	69.6 - 77.2	5.0 - 8.0	20.2
<i>Miscanthus</i> ³	14.0 - 20.4	77.6 - 84.0	2.0 - 8.0	19.1
<i>Forestal chipeada</i> ³	11.5 - 23.0	76.0 - 86.0	1.0 - 2.5	19.8

Fuentes: ¹Montesino et al., 2015

²Centro de Investigación Energética de Holanda (<https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse>)

³Van Loo and Koppejan, 2008

Tabla 6. Análisis químico inmediato (en base seca) de tipos de carbón mineral.

Carbon mineral (% b. seca)		
Análisis	Lignita	Hulla
Carbono fijo	46.9	65.6
Volátiles	49.2	27.9
Cenizas	3.8	6.5
PCS (MJ/kg) (b.seca)	24.6	30.1

Fuente: Centro de Investigación Energética de Holanda

<https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse>

4.3.3 Cenizas en las muestras de biomasa dominicana

Mientras el contenido de carbono fijo y de volátiles representa la energía química almacenada en la biomasa que será liberada en su combustión, el contenido de humedad y de cenizas tiene un efecto adverso en la calidad de la misma.

Los análisis realizados a la biomasa dominicana confirman que las especies maderables (acacia, leucaena) contienen un menor contenido de cenizas que muestras herbáceas como la yerba merker, de origen herbáceo, o como el bagazo de caña (tabla 4).

La muestra de cascarilla de arroz resultó con un contenido muy alto de cenizas (17.6 %), hasta ocho veces el contenido de las muestras de *Acacia mangium* (1.7 – 2.4 %). Los análisis realizados por otras fuentes confirman esta diferencia en contenido de cenizas entre acacia (0.8 %) y cascarilla de arroz (19.5 %) (tabla 5).

Como se describe en la sección 4.2.3, un alto contenido de cenizas aumenta las emisiones, dificulta el proceso de remoción de cenizas de la caldera y puede afectar los componentes de la misma. En adición, las cenizas se pueden fusionar y formar conglomerados a altas temperaturas, lo que dificulta aún más la limpieza de las calderas (Van Loo & Koppejan).

El contenido de cenizas en la cascarilla de arroz presenta un problema adicional a las calderas que no ocurre con las demás especies de biomasa. Las cenizas de la cascarilla de arroz tienen un alto contenido de óxido de silicio (SiO₂) que causa problemas de abrasión y erosión para los componentes de la caldera. Los problemas de erosión y abrasión son típicos en calderas que usan carbón mineral, algo que no ocurre con la mayoría de las especies de biomasa, excepto con la cascarilla de arroz, por su alto contenido de cenizas y de SiO₂ en las mismas.

4.3.4 Poder calorífico en las muestras de biomasa dominicana

La tabla número cuatro muestra que el poder calorífico superior de las especies de biomasa analizadas varía entre 14.8 y 18.2 MJ/kg en base seca, siendo la cascarilla de arroz la de menor poder calorífico y la *Acacia mangium* de Monte Plata la de mayor poder calorífico. En relación a especies de biomasa analizadas por otras fuentes, el poder calorífico superior varía entre 13 y 20 MJ/kg, siendo en estos casos la cascarilla la de menor poder calorífico.

Estos resultados muestran que los valores más altos de poder calorífico corresponden a las biomásas leñosas y los más bajos a las biomásas herbáceas o agroindustriales. La explicación es que las biomásas leñosas tienen mayor contenido de carbono elemental.

En sentido amplio, las diferencias en los valores de poder calorífico entre las muestras de biomasa no son significativas, si las comparamos todas en base seca. La diferencia es importante si se hace la comparación con el poder calorífico del carbón mineral que puede llegar a 30 MJ/kg (tabla 6).

Como estas mediciones son en base seca, el factor limitante lo representa el contenido de humedad de la muestra, el cual tiene una relación inversa con el poder calorífico. Es decir, a mayor contenido de humedad, el poder calorífico disminuye.

4.4 Disponibilidad sostenible de las especies de biomasa analizadas en República Dominicana

En el producto número uno reportamos que las empresas productoras de biomasa tienen un total de 13,176 hectáreas con potencial para especies de biomasa. Actualmente solo un 32 % de estos terrenos están siendo sembrados o explotados.

La totalidad de los productores entrevistados proyectan usar estos suelos para especies maderables (*Acacia mangium*, eucalipto o leucaena), como vía sostenible para su uso como combustible de calderas en todo el país. Además, estos productores se encuentran en las regiones Central, Norcentral y Este, el epicentro del mercado de biomasa.

Las especies residuales presentan soluciones más locales, ya que son sub-productos de rubros agrícolas o industriales. La prioridad actual de los productores de cascarilla de arroz, por ejemplo, es el autoconsumo. Al menos dos productores de arroz tienen gasificadores instalados para usar cascarilla de arroz.

Los aserraderos distribuidos principalmente en las regiones Norcentral, Norte, Nordeste y Noroeste, no son actualmente una fuente importante de aserrín como combustible biomásico. Debido a que los consumidores de biomasa están concentrados en las regiones Central, Norcentral y Este, solo el aserrín producido en la región Norcentral es factible a ser usado por consumidores dada la cercanía. En lo concerniente a la regional Noroeste, cabe resaltar la zona de Restauración como un proveedor potencial de aserrín. Por tanto, la CNE considera pertinente la inclusión de esta zona.

En relación a la sostenibilidad, la excepción dentro de las biomásas residuales es el caso de San Pedro Bioenergy, que utiliza bagazo de caña del ingenio Colón adyacente, para la producción de 30 MW de energía eléctrica y que será inyectada al sistema eléctrico nacional interconectado.

5 Resumen

1. Se caracterizaron químicamente nueve muestras de biomasa dominicana como parte de la línea base trazada en el producto número uno para el estudio del mercado de biomasa y su disponibilidad en República Dominicana.
2. La caracterización de las especies de biomasa consistió en la determinación de los contenidos de humedad, material volátil, carbono fijo, cenizas y poder calorífico superior. Los primeros cuatro análisis constituyen el análisis químico inmediato y fueron realizados en el Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI) en República Dominicana.
3. El contenido de carbono fijo y de material volátil representan la energía química almacenada en la biomasa y que se liberará durante la combustión. Por otro lado, altos contenidos de humedad y cenizas tienen consecuencias adversas en la calidad del combustible biomásico.
4. Las muestras de biomasa fueron escogidas *in situ* durante el muestreo de procesos como parte del establecimiento de la línea base y marco muestral, y son las siguientes: *Acacia mangium* Monte Plata, *Acacia mangium* Bonao, leucaena, bagazo de caña, jícara de coco, paja de coco, yerba merker y cascarilla de arroz.
5. Las muestras fueron tomadas de las regiones Central, Norcentral y Este, el epicentro del mercado de biomasa en el país. La muestra de cascarilla de arroz fue la excepción, ya que fue tomada en el Nordeste.
6. El contenido energético (PCS) de las muestras de biomasa dominicana varió entre 14.8 y 18.2 MJ/kg, siendo la cascarilla de arroz la de menor poder

calorífico y la Acacia *mangium* Monte Plata la de mayor poder calorífico (base seca).

7. Las determinaciones de poder calorífico se hicieron en base seca para fines de comparación. Como los consumidores usan biomasa húmeda, esta debe ser lo menor posible (< 50 %), ya que a mayor humedad, menor poder calorífico de las muestras.
8. A pesar de que los valores más altos de poder calorífico corresponden a las biomasa leñosas y los más bajos a las biomasa herbáceas o agroindustriales, en sentido amplio, las diferencias en poder calorífico entre las muestras de biomasa no son significativas (en base seca). Esto así porque su contenido total de carbono fijo y material volátil son comparables.
9. Los poderes caloríficos entre las muestras de biomasa son parecidos (en base seca). Por tanto, como criterio de selección para usar un tipo de biomasa versus otra como combustible, se deben tomar en cuenta otros aspectos como la logística, facilidad de manejo, rendimiento y el contenido de humedad y cenizas.
10. El contenido de humedad y cenizas afecta las características operacionales de la planta. Aunque el contenido de humedad se puede reducir mediante secado, el contenido de cenizas es intrínseco a la biomasa. Las especies maderables tienen un menor contenido de cenizas que las muestras herbáceas. La cascarilla de arroz resultó con un alto contenido de cenizas (17.6 %) comparado con la Acacia *mangium* (1.7 % - 2.4 %).

6 Recomendaciones

1. Utilizar los estándares internacionales ASTM (*American Society for Testing Materials*) para el análisis físico, análisis químico inmediato y elemental y el poder calorífico de la biomasa. Estas normas son el referente principal para el análisis de biomasa (ver lista en la sección “Referencias”).
2. Incorporar normas de análisis de calidad de biomasa en República Dominicana a través del Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL) usando como referencia estándares internacionales (ej., ASTM).

La calidad del suministro formal de biomasa en República Dominicana es actualmente impuesta por los suplidores de calderas y/o los consumidores. Estos actores ayudan a formalizar a sus suplidores de biomasa a nivel de permisos, y establecen lineamientos sobre tamaño físico, almacenaje y contenido de humedad.

3. Instalar la capacidad para el análisis químico inmediato y el poder calorífico inferior (PCI) de la biomasa en el Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI).

A la fecha, no existe un laboratorio en República Dominicana que pueda realizar el análisis elemental de la biomasa ni determinar el poder calorífico inferior (PCI).

4. Establecimiento en el país de criterios de sostenibilidad para el uso de biomasa, similares a los establecidos por la Comisión Europea. Estos incluyen el monitoreo constante del origen de la biomasa consumida, fortalecimiento de los esquemas logísticos locales para apoyar las fuentes de biomasa y monitoreo en la reducción de gases invernadero.

Glosario y abreviaturas

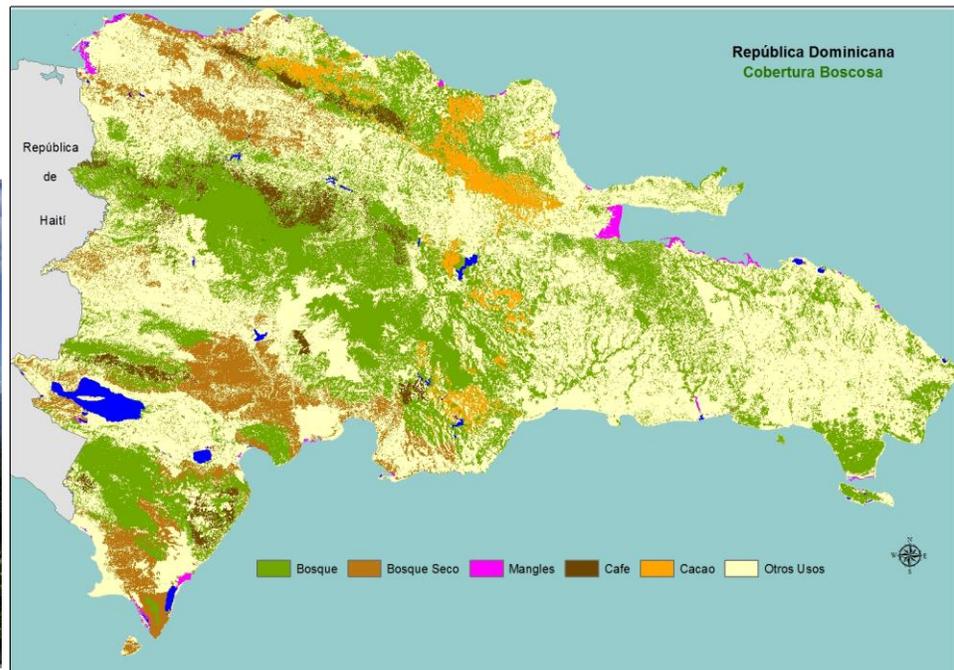
Biomasa	Biomasa es todo material vegetal u orgánico que pueda ser usado como fuente de energía térmica, energía eléctrica, químicos o combustible.
Caldera de biomasa	Dispositivo o sistema cerrado destinado a la producción de vapor mediante la acción del calor generada a partir de biomasa.
Biomasa lignocelulósica	Biomasa no comestible constituida por celulosa, hemicelulosa lignina. Entre estas están las especies forestales y herbáceas.
Carbohidrato	Compuesto orgánico y biológico que consiste en átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno.
Celulosa	Principal componente de la pared celular de las plantas. Es un carbohidrato de estructura cristalina que consiste en monómeros de glucosa (hexosa), y su función es proveer estructura a la planta.
Hemicelulosa	Segundo componente en importancia de la pared celular de las plantas. Es un carbohidrato de estructura amorfa que consiste en monómeros de hexosa y pentosa, entrelazados entre las fibras de celulosa.
Lignina	Tercer componente en importancia de la pared celular de las plantas, y consiste en compuestos fenólicos.
Hexosa	Carbohidrato simple que consiste en seis átomos de carbono. Su fórmula general es $C_6H_{12}O_6$ (ej., glucosa).
Pentosa	Carbohidrato simple que consiste en cinco átomos de carbono. Su fórmula general es $C_5H_{10}O_5$ (ej., xilosa).
Análisis químico inmediato	Consiste en la determinación del contenido de humedad, cenizas, elementos volátiles y carbono fijo en la muestra de biomasa.

Línea base	Establece la situación actual del mercado de biomasa y su disponibilidad en República Dominicana. Esta metodología se lleva a cabo a través de indicadores cualitativos y cuantitativos que definirán el estado basal de las proyecciones para el uso de biomasa como fuente sostenible de energía.
PCI	Poder calorífico inferior. Calor liberado durante la combustión por unidad de biomasa, tomando en cuenta que el agua formada durante la combustión esté en fase gaseosa.
PCS	Poder calorífico superior. Calor liberado durante la combustión por unidad de biomasa, tomando en cuenta que el vapor de agua formado durante la combustión retorne a la fase líquida. Es decir, la determinación del PCS incluye el calor latente de vaporización del agua, mientras que el PCI no lo incluye.

Referencias

1. Anukam, A., Mamphweli, S., Reddy, P., Meyer, E., Okoh, O., (2016). Pre-processing of sugarcane bagasse for gasification in a downdraft biomass gasifier system: A comprehensive review. 66: 775-801.
2. ASTM E871-82. (2013). Standard method for moisture analysis of particulate wood fuels. Designation: E871-82 (Reapproved 2013). ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
3. ASTM D1102-84. (2013). Standard test method for ash in wood. Designation: D1102-84 (Reapproved 2013). ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
4. ASTM E872-82. (2013). Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels. Designation: E872-82 (Reapproved 2013). ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
5. ASTM D5468-02. (2007). Standard test method for Gross Calorific Value and Ash Value of Waste Materials. Designation: D5468-02 (Reapproved 2007). ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
6. Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis. Academic Press (Elsevier) Burlington, MA, USA.
7. Centro de Investigación Energética de Holanda. Base de datos Phyllis 2. <https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse>. Se extrajo la información el 17 de enero de 2017.
8. Comisión Europea. Uso de biomasa en la Unión Europea. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biomass>. Se extrajo la información el 7 de abril de 2017.
9. De Frías, J.A. (2013). Switchable Butadiene Sulfone Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. PhD Dissertation. Urbana, IL. University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Agricultural and Biological Engineering.

10. Demirbas, A. (2003). Relationships between lignin contents and fixed carbon contents of biomass samples. *Energy Conversion and Management*. 44 (9): 1481-1486.
11. Francisco Márquez-Montesino, Fermín Correa-Méndez, Caio Glauco-Sánchez, Rolando Zanzi-Vigouroux, José Guadalupe Rutiaga-Quiñones, Leonardo Aguiar-Trujillo (2015). Pyrolytic Degradation Studies of *Acacia mangium* Wood. *BioResources*. 10(1): 1825-1844.
12. Gaur, S., Reed, T., Dekker, M. (1998). Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels. <http://drtlud.com/BEF/proximat.htm>. Se extrajo la información el 17 de enero de 2017.
13. Huber, G. W. and B. E. Dale. (2009). Grassoline at the pump. *Scientific American* 301(1): 52-59.
14. Li, L.K., Zhou, Y., Hwang, J.Y., Liu, J.X., Mao, X.P., Zhou, G.F., Suo, J.P. (2016). Thermogravimetric analysis of the combustion of hemicellulose, cellulose and lignin. *Material Science and Engineering – Chen* (Ed.). Taylor & Francis Group, London.
15. López González, D. (2013). Valorización de biomasa de origen vegetal mediante procesos térmicos y termoquímicos. Tesis Doctoral. Ciudad Real, España. Universidad de Castilla-La Mancha. Departamento de Ingeniería Química.
16. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*. 83 (2002): 37-46.
17. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, USA. Biomass Energy Basics. <https://www.nrel.gov/workingwithus/re-biomass.html>. Se extrajo la información el 17 de enero de 2017.
18. Rosendahl, L. (2013). Biomass combustion science, technology and engineering, Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
19. Sluiter, J., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, A., Templeton, D. (2010). Compositional Analysis of Lignocellulosic Feedstocks. 1. Review and Description of Methods. *J. Agric. Food Chem.*, 2010, 58 (16): 9043–9053.
20. Van Loo, S., Koppejan, J. (2010). The handbook of biomass combustion and co-firing, Earthscan–Taylor & Francis Group, New York, NY, USA.
21. Worley, M. and Yale, J., (2012). Biomass gasification technology assessment. Consolidated report. NREL/SR-5100-57085. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, USA.



Capítulo 3

Sistema de información geográfica de zonas y potencial de producción de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica

Capítulo 3

1. Resumen.....	71
2. Motivación.....	71
3. Alcance y objetivo.....	72
4. Experiencias nacionales en biomasa.....	72
4.1 Potencial.....	72
4.2 Mercado.....	73
5. Criterios.....	73
6. Metodología.....	74
7. Potencial para la producción de gramíneas y forrajes en República Dominicana.....	76
8. Importancia de la <i>Acacia mangium</i> en República Dominicana.....	79
9. Potencial para la producción de <i>Acacia mangium</i> y otras maderables.....	80
10. Otras especies forestales con potencial para la producción de biomasa en República Dominicana.....	82
11. Conclusiones y recomendaciones.....	85
Anexos digitales.....	86
Referencias.....	86

1. Resumen

Este producto número tres, “Sistema de información geográfica de zonas y potencial de producción de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica” presenta un análisis sobre la capacidad de los suelos de República Dominicana para la producción de gramíneas y árboles de rápido crecimiento para la generación de energía.

Los resultados del mismo indican que existen 476,071 hectáreas para la producción de gramíneas y 449,248 hectáreas adecuadas para el fomento de especies forestales de alto valor para la producción de energía (i.e., *Acacia mangium*, eucalipto, casuarina).

De las hectáreas totales para fomento de especies forestales, 446,938 hectáreas corresponden solo a *Acacia mangium*.

2. Motivación

El país ha mostrado interés en una matriz energética diversificada y renovable, al aprobar la Ley 57-07, sobre “*Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales*”, la cual permite incentivos para el desarrollo de proyectos energéticos de fuentes eólicas, solares y biomásicas. A la fecha, existen en República Dominicana proyectos de energía renovable a gran escala que aprovechan estas fuentes gracias a los beneficios que ofrece la Ley 57-07.

Entre estos proyectos que aportan energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional Interconectado, está San Pedro Bioenergy, con una capacidad instalada para generar 30 MW usando bagazo de caña como combustible (Mercado, 2016). También, el proyecto Monte Plata Solar tiene la capacidad de generar 30 MW (El Caribe, 2017), y los parques eólicos Los Cocos y Larimar, de la empresa EGE Haina, pueden aportar hasta 126.5 MW (EGE Haina, 2017).

Dicho esto, existen retos importantes para una oferta energética renovable y sostenible, como acceso a financiamiento local, mejores incentivos fiscales que cubran un mayor espectro de la cadena de producción, formalización del mercado, subsidios, calidad de la oferta energética, protección al productor y la generación de información técnico-científica. Este estudio pretende ser una contribución en este último aspecto.

3. Alcance y objetivo

El producto número tres, “Sistema de información geográfica de zonas y potencial de producción de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica”, es el tercer componente de un total de cinco que completarán el “Estudio de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana y su plan de aprovechamiento para la generación de energía”.

El estudio “abarcará la cuantificación de la producción de biomasa de origen forestal, agrícola e industrial en todo el territorio de República Dominicana, la fracción disponible para el aprovechamiento energético de dicha biomasa dentro de un marco de sostenibilidad, incluyendo la caracterización de las biomásas bajo utilización” (pliego de condiciones específicas CCC-CNE-LPN-2014-0003).

Específicamente, el producto número tres tiene como objetivo “identificar y cuantificar las superficies nacionales georreferenciadas con vocación para la producción sostenible de especies forestales y forrajeras de rápido crecimiento y los actores públicos y del sector privado que serían claves en su desarrollo”. Se utilizaron programas y herramientas de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que facilitará la integración con otros datos.

4. Experiencias nacionales en biomasa

4.1. Potencial

El país ha exhibido tradicionalmente un modelo no sostenible sobre el aprovechamiento de los bosques para producir leña y el carbón. Esta práctica cambia de tiempo en tiempo, según sea el costo del gas propano y otros combustibles domésticos e industriales. La agropecuaria dominicana genera sin embargo, grandes cantidades de biomasa residual, la cual tiene un alto potencial energético. Por igual existe una alta capacidad en nuestro territorio para producir biomasa a partir de desechos de gramíneas, pastos, maíz, arroz, coco y café, así como también de la producción avícola, bovina y porcina, algunos de los cuales producen cantidades moderadas de biogás para su propio consumo.

Estudios recientes han determinado que en el país existe un potencial para producir alrededor de 1.6 millones de toneladas por año de biomasa, del cual solo se está actualmente aprovechando un 37 % para la generación de energía (~600,000 toneladas métricas por año) (Valerio, M. 2015).

4.2. Mercado

El producto número uno del “Estudio de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana y su plan de aprovechamiento para la generación de energía” estableció la línea base del mercado de biomasa en el país. Se determinó que ese mercado está concentrado en las regiones Central, Norcentral y Este, siendo la *Acacia mangium* la especie dominante.

De igual forma, en el mismo estudio se cuantificó el consumo diario de biomasa en 2,219 toneladas métricas por día, lo que está dentro del rango estimado por la Junta Agroempresarial Dominicana (2,000 – 3,000 toneladas métricas por día. Capítulo 1).

El dato anualizado realizado en el año 2016 para el producto número uno (capítulo 1), sería de ~720,000 toneladas métricas por año (en base a 330 días de producción por año). Esta cantidad, aunque mayor, es comparable a la determinada por M. Valerio (~600,000 toneladas métricas por día en el año 2015) (sección 4.1). Era de esperarse un aumento en el consumo de biomasa en el 2016 comparado con el año anterior, dada la incorporación de nuevos actores en el mercado.

El precio de venta promedio de *Acacia mangium* triturada en el mercado dominicano es de \$48 dólares por tonelada métrica (capítulo 1). Los productores opinan, en base a su experiencia, que el precio en el mercado no cubre los costos ni permite beneficios.

5. Criterios

Para definir los suelos con potencial para la producción de cultivos con fines energéticos se consideraron los siguientes criterios:

1. Especies sin objeción de fomento por parte de los ministerios de Medio Ambiente y Recursos Naturales y de Agricultura (requerimiento del pliego de condiciones).
2. Sitios con uso actual no productivo.
3. La producción de biomasa es específica para la generación industrial de calor y energía eléctrica (pliego de condiciones, 2014).
4. Las áreas escogidas tienen una precipitación media igual o mayor a 1,200 mm/año para reducir riesgos por sequía en los cultivos.
5. Áreas con posibilidades de mecanización agrícola (pendiente <40 %) (<22 grados).
6. Suelos de productividad garantizada.
7. Suelos fuera de las áreas protegidas, a una distancia no menor de 30 metros de sistemas viales ni aguadas.

8. Áreas indicadas en mapas de alta resolución con las condiciones requeridas para la producción de biomasa (pliego de condiciones, 2014).

Los suelos de vocación para el cultivo de gramíneas tropicales son muy similares a los requeridos para el cultivo de la *Acacia mangium*. En algunos casos los promotores de proyectos toman en consideración algunas especificaciones como las pendientes, la pluviometría y los grados de acidez para la escogencia de una u otra alternativa. La experiencia en el cultivo de gramíneas y de *Acacia mangium* en República Dominicana ha sido sumamente exitosa.

Es importante señalar que aunque las coníferas (*Pinus spp.*) son también especies de rápido crecimiento, no es recomendable considerarlas como fuente primaria de producción de biomasa con fines energéticos. Esto así, por la oposición que por aspectos culturales, políticos y económicos, aún persisten en la sociedad dominicana sobre su aprovechamiento masivo.

Específicamente, la insostenibilidad del pino como fuente biomásica se basa en que nuestra especie endémica *Pinus occidentalis*, es consistentemente reemplazada por *Pinus caribea*, ya que tiene una mayor productividad que la *occidentalis* (Bueno, S. 2013). A largo plazo, esto representa un riesgo para la conservación del *Pinus occidentalis*, actualmente considerada especie “en peligro” por la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (Farjon, A. 2013).

En el caso del *Pinus caribea*, el coordinador de gerencias en el Viceministerio de Recursos Forestales del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Eduardo Cipión, indica que esta especie tiene una menor capacidad de regeneración y un crecimiento más lento que la *Acacia mangium*. Por tanto, no se recomienda el uso del árbol completo de la *caribea* como fuente biomásica, cuando la acacia permite una regeneración más rápida después de una tala rasa.

Es más recomendable usar como biomasa con fines energéticos los residuos del aserrío del *Pinus caribea* (un 30 %), y no el árbol completo. Aprovechar la resina de esta especie y su uso maderable con fines de ebanistería o construcción, es de mayor valor.

6. Metodología

Mediante el uso de ARC-GIS y datos de Sistemas de Información Geográficos (SIG), se analizaron y combinaron variables edafológicas, viales, hidrográficas, climáticas, áreas protegidas (SINAP) y de uso actual de suelos de República Dominicana para ubicar, identificar y cuantificadas las mejores superficies del

país que garantizan una producción a gran escala de gramíneas y de especies arbóreas de rápido crecimiento para la generación de biomasa para energía.

Las fuentes consultadas y combinadas mediante ARC-GIS para determinar estas áreas son de dominio público, por lo que los mapas generados pueden ser compartidos y publicados libremente:

- ✓ Capacidad productiva de los suelos. OEA, 1967.
- ✓ Mapa de uso y cobertura de suelo. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011.
- ✓ Datos profesionales del Ing. Pablo Ovalles. Experto SIG. Moca. República Dominicana.
- ✓ Mapa de las áreas protegidas de República Dominicana. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002.
- ✓ Modelo de elevación digital, ASTER, 30 m de resolución.
- ✓ Mapa político-administrativo de República Dominicana. Oficina Nacional de Estadística (ONE), 2010.
- ✓ Mapa de zonas áridas, semi-áridas y subhúmedas de República Dominicana. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- ✓ Mapa de isoyetas o precipitaciones promedio de República Dominicana (1961-90). Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET).
- ✓ Análisis espacial vectorial (*buffers*) para el cálculo de áreas en riberas y vías, con ARC-GIS, entre otras.

Se extrajo con estas herramientas una base de datos digitalizada sobre todo el territorio nacional, identificando y separando la superficie nacional en cuatro grupos:

- Suelos con bosques
- Suelos sin bosques
- Áreas protegidas
- Humedales

Una vez obtenida esta clasificación, se descartó toda superficie cubierta de bosques y se generó una nueva base de datos denominada “Área de Prefactibilidad para el Fomento de Cultivos Energéticos”. Esta base de información fue nuevamente clasificada y se elaboró una tercera generación de información, escogiendo exclusivamente las superficies sin bosques cuyas pendientes fueran menores de 40 % (22 grados).

La base de datos creada fue entonces combinada con el mapa nacional de isoyetas y pluviometría, con el mapa nacional de clases productivas de suelos y con el mapa nacional de áreas protegidas citados. Todo esto a fines de crear la vinculación y generar una cuarta base de datos que indicara de forma exclusiva los sitios con alta posibilidad de fomento industrial de gramíneas tropicales.

Para garantizar el éxito de los proyectos, se han escogido solo lugares con precipitaciones anuales entre 1,200 y 1,500 mm, ya que las sequías prolongadas son el mayor factor de riesgo en República Dominicana, tanto para el establecimiento como para el logro de un rendimiento sostenido en las plantaciones de árboles y de gramíneas para la producción de biomasa.

Las gramíneas exigen una precipitación igual o mayor a 1,200 mm/año, para terrenos con posibilidades de mecanización agrícola (pendiente de <40 %, <22 grados), suelos de productividad garantizada, suelos que no estén en áreas protegidas, humedales ni a distancias menores de 30 metros de sistemas viales ni de cursos de agua. Este análisis generó la cuarta base de datos del estudio.

Una vez obtenidas las áreas indicadas, se realizó una nueva especificación al mapa de “pre-factibilidad” que consistió en determinar exclusivamente las superficies cuyo uso actual fueran pastizales, matorrales, barbechos o cultivos secanos no intensivos. Se evitaron las áreas con cultivos, vías, presas, áreas inundadas, zonas urbanas, humedales o cualquier otra circunstancia adversa a la producción de gramíneas tropicales o especies arbóreas de rápido crecimiento, caracterizadas especialmente por la *Acacia mangium*.

Por último se hizo una comprobación digital de los polígonos resultantes por la clasificación SIG, que consistió en verificar con *Google Earth* y visitas de campo, el uso reportado por las imágenes satelitales, verificando la existencia o desarrollo de alguna infraestructura mayor que representara alguna amenaza a corto plazo, resultando en todos los casos similar a lo percibido en la imagen.

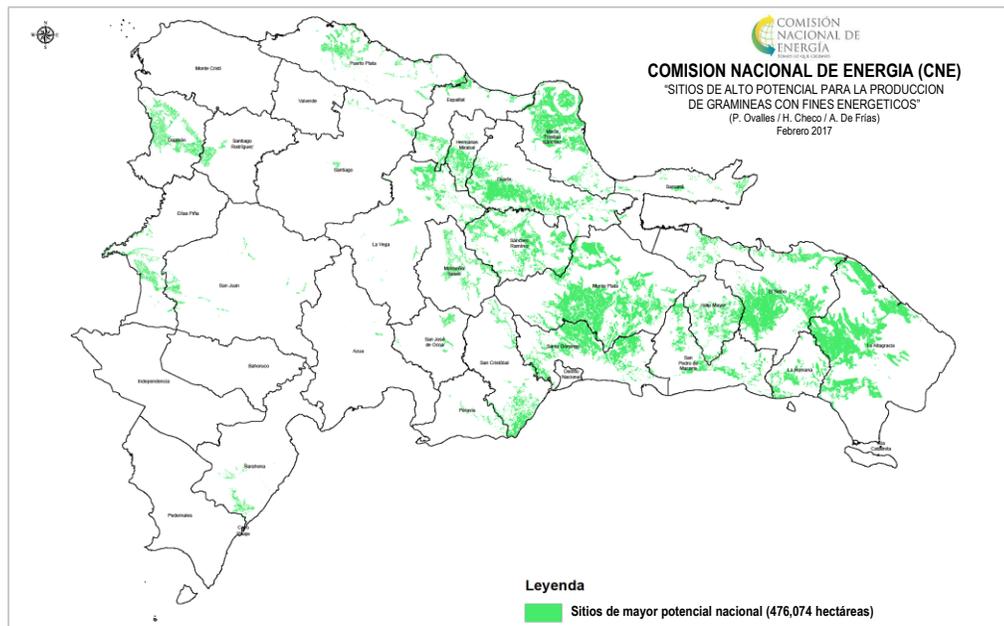
Finalmente, se generó el mapa potencial para la producción de gramíneas y el mapa potencial de producción de *Acacia mangium*, ambos relacionados y cuantificados superficialmente con los territorios provinciales.

Esta base de información es la primera de este género en el país y permitirá en el siguiente informe de este estudio, el producto número cuatro, elaborar un plan a diez años de fomento nacional de biomasa para uso en calderas, aplicando las mejores prácticas internacionales de cultivo y *post-cosecha* de las especies consideradas de interés, determinando a la vez la inversión requerida y el retorno esperado de la misma.

7. Potencial para la producción de gramíneas y forrajes en República Dominicana

Los resultados de este estudio arrojan una extensión nacional de tierras con alta vocación y disponibilidad para el fomento de gramíneas y forrajes para la producción de energía, de 476,071 hectáreas distribuidas principalmente en tres de las cinco regiones del país, según se muestra en la próxima figura:

Figura 1. Mapa provincial sobre áreas potenciales para la plantación de gramíneas y cultivos de alto valor energético en República Dominicana.



Las superficies consideradas para este análisis, son exclusivamente aquellas que cuentan con condiciones ideales para el cultivo de gramíneas y forrajes para la producción de energía en forma de vapor y electricidad. Son las siguientes:

- Sitios donde llueve al menos nueve meses al año
- Pluviometría mayor a los 1,200 mm
- Altura sobre el nivel del mar <400 metros
- Topografía ligeramente ondulada
- Buen drenaje natural
- Suelos tipos III, IV y V
- Superficie identificada bajo el uso de pastos naturales, barbechos o matorrales
- Ninguna amenaza inmediata de expansión urbana o infraestructuras mayores

La provincia con la mayor superficie actual de tierras altamente adecuadas y disponibles para estos propósitos es Monte Plata, con 73,755 hectáreas, lo cual representa el 15.5 % del potencial nacional. Le siguen en orden de importancia La Altagracia, con 72,264 hectáreas y El Seibo, con 48,982 hectáreas. Estas provincias junto a las otras cinco que conforman la región Sureste, representan el 57 % de los suelos nacionales con alta vocación para la producción de gramíneas y cultivos energéticos, con una extensión de 272,496 hectáreas.

La segunda zona de mayor importancia para un plan nacional de producción de energía a partir de gramíneas y cultivos energéticos es el Norte o Cibao con 172,383 hectáreas, lo que representa el 36 % del potencial nacional. Las provincias con mayores suelos disponibles para estos fines en la región Norte son María Trinidad Sánchez, con 36,503 hectáreas; Duarte, con 33,739 hectáreas y Dajabón, con 14,413 hectáreas.

Por último, se indica como sitio potencial la región Suroeste con 31,192 hectáreas, distribuidas principalmente entre las provincias de San Cristóbal, Elías Piña y San Juan, como se indica en la tabla 1, que se presenta a continuación.

Tabla 1. Potencial por provincias para la plantación de gramíneas (hectáreas).

Región	Hectáreas	%	Provincia	Hectárea	%	Subregión de Desarrollo
Norte o Cibao	172,383	36%	Duarte	33,769	7.1%	Cibao-Nordeste
			María Trinidad Sánchez	36,503	7.7%	Cibao-Nordeste
			Hermanas Mirabal	8,395	1.8%	Cibao-Nordeste
			Samaná	4,421	0.9%	Cibao-Nordeste
			Dajabón	14,413	3.0%	Cibao-Noroeste
			Santiago Rodríguez	2,973	0.6%	Cibao-Noroeste
			Puerto Plata	12,634	2.7%	Cibao-Norte
			Españillat	8,651	1.8%	Cibao-Norte
			Santiago	1,661	0.3%	Cibao-Norte
			Sánchez Ramírez	26,993	5.7%	Cibao-Sur
			La Vega	12,479	2.6%	Cibao-Sur
			Monseñor Nouel	9,491	2.0%	Cibao-Sur
Sureste	272,496	57%	San Pedro de Macorís	14,592	3.1%	Higuamo
			Monte Plata	73,755	15.5%	Higuamo
			Hato Mayor	19,285	4.1%	Higuamo
			Santo Domingo	34,111	7.2%	Ozama
			El Seibo	48,982	10.3%	Yuma
			La Altagracia	72,264	15.2%	Yuma
			La Romana	9,507	2.0%	Yuma
Suroeste	31,192	7%	Elías Piña	6,866	1.4%	El Valle
			San Juan	3,530	0.7%	El Valle
			Barahona	3,018	0.6%	Enriquillo
			Pedernales	70	0.0%	Enriquillo
			Azua	214	0.0%	Valdesia
			San Cristóbal	13,446	2.8%	Valdesia
			San José de Ocoa	2,414	0.5%	Valdesia
			Peravia	1,634	0.3%	Valdesia
3 Regiones	476,071	100%	27 Provincias	476,071	100.0%	10 Subregiones

La producción de biomasa mediante cultivos tradicionales, como con nuevas especies, ha sido altamente investigada en otras latitudes tanto por organismos públicos como privados, por lo que la escogencia de las especies y variedades más propicias como cultivos energéticos, no es una limitante.

Entre las especies más promisorias para estos fines se encuentran la yerba *merker* (*king grass*, *merker* enano y *merker* morado) y otras plantas anuales que han sido cultivadas con el objetivo de utilizar sus frutos y semillas para la alimentación humana, animal y para la industria textil y química. La implementación de un programa masivo de fomento vegetal, debe validar previamente las mejores especies a escoger.

En este punto, es importante destacar la necesidad de considerar en cada proyecto a ser desarrollado, las exigencias agronómicas de los cultivos, así como la productividad esperada y la rentabilidad de los mismos. Es también imperativo en cada caso considerar todos los aspectos medioambientales, sociales, energéticos y económicos que este tipo de desarrollo requiere.

8. Importancia de la *Acacia mangium* en República Dominicana

La *Acacia mangium* es una especie de gran valor energético, que cultivada adecuadamente, resulta en una excelente alternativa para la restauración de ecosistemas degradados de República Dominicana y del Caribe (FAO, 2014).

Es una especie originaria de Papúa, Nueva Guinea, y el este de Indonesia, que produce 25,000 semillas/kg pudiendo alcanzar hasta 110,000 semillas/kg. La tasa de germinación es de 75-90 % si se le trata con agua hirviendo durante 30 segundos y se dejar reposar a temperatura ambiente por 24 horas. Crece bien sobre rocas y en suelos de tipo aluvial. Requiere suelos con buen drenaje y pH bajo. En República Dominicana se han reportado incrementos en altura de 4 metros/año e incremento en el diámetro de 4 cm/año y volúmenes de 300 m³/ha a los 12 años. En las zonas secas el crecimiento varía de 3 a 4 metros cúbicos/ha/año (FAO, Simposio Caribeño 2014).

La madera es de color crema a café y moderadamente pesada (0.50 gr/cm^3) y su poder calorífico oscila entre 4,800 y 4,900 Kcal/kg (FAO, 2014).

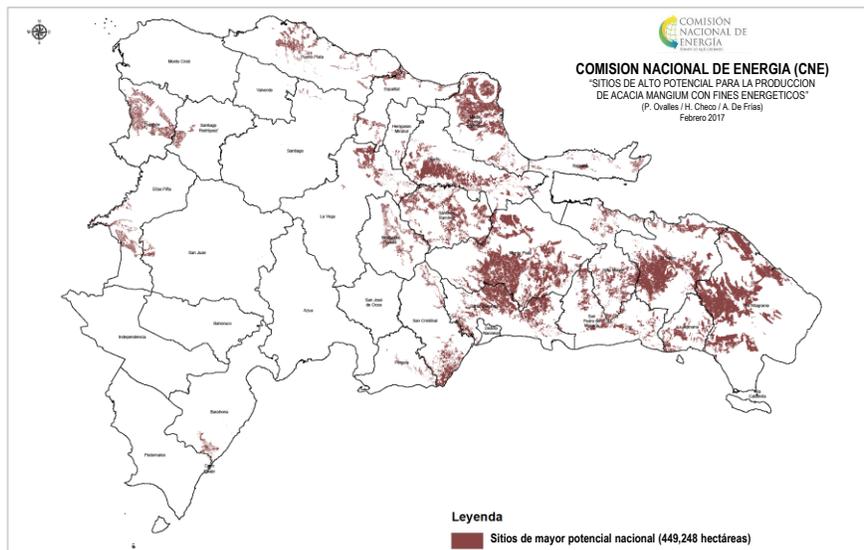


9. Potencial para la producción de *Acacia mangium* y otras maderables

Al igual que para las gramíneas y forrajeras, los resultados de este estudio indican que República Dominicana cuenta con una extensión de 449,248 hectáreas adecuadas para el fomento de especies forestales de alto valor para la producción de energía (i.e., *Acacia mangium*, eucalipto, casuarina). Esta extensión representa el 10 % del territorio nacional y su distribución está indicada en la figura 2.

Del total de las áreas adecuadas para el fomento de especies forestales con fines energéticos, la mayoría corresponde a *Acacia mangium* con un total de 446,938 hectáreas

Figura 2. Potencial provincial para la plantación de *Acacia mangium* y otras especies forestales en República Dominicana.



Las superficies consideradas para este análisis no excluyen las antes consideradas para la producción de gramíneas y forrajes. El análisis es similar, pero considera a diferencia del anterior, los siguientes aspectos:

- Pluviometría de 1,500 mm
- Altura sobre el nivel del mar hasta 500 metros
- Topografía ondulada y suelos tipos III, IV y V
- Superficies que no pertenecen al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP)
- Superficies que no presentan amenazas de construcción de grandes infraestructuras

La provincia con la mayor superficie actual de tierras altamente adecuadas y disponibles para estos propósitos es Monte Plata, con 72,991 hectáreas, lo cual representa el 16.2 % del potencial nacional. Le siguen en orden de importancia La Altagracia, con 71,981 hectáreas y El Seibo, con 48,318 hectáreas. Estas provincias, junto a las otras cinco que conforman la región Sureste, representan el 60 % de los suelos nacionales con alta vocación para la producción de *Acacia mangium* y otras especies forestales con fines energéticos, con una extensión de 269,894 hectáreas (tabla 2).

Tabla 2. Potencial por provincias para la plantación de *Acacia mangium* y otras especies forestales (hectáreas).

Región	Hectáreas	%	Provincia	Hectárea	%	Subregión de Desarrollo
Norte o Cibao	154,627	34%	Duarte	29,579	6.6%	Cibao-Nordeste
			María Trinidad Sánchez	36,235	8.1%	Cibao-Nordeste
			Hermanas Mirabal	1,170	0.3%	Cibao-Nordeste
			Samaná	4,316	1.0%	Cibao-Nordeste
			Dajabón	14,500	3.2%	Cibao-Noroeste
			Santiago Rodríguez	2,969	0.7%	Cibao-Noroeste
			Puerto Plata	12,533	2.8%	Cibao-Norte
			Valverde	33	0.0%	Cibao-Norte
			Españillat	6,619	1.5%	Cibao-Norte
			Santiago	688	0.2%	Cibao-Norte
			Sánchez Ramírez	26,775	6.0%	Cibao-Sur
			La Vega	9,858	2.2%	Cibao-Sur
			Monseñor Nouel	9,352	2.1%	Cibao-Sur
Sureste	269,894	60%	San Pedro de Macorís	14,190	3.2%	Higuamo
			Monte Plata	72,991	16.2%	Higuamo
			Hato Mayor	19,047	4.2%	Higuamo
			Distrito Nacional	17	0.0%	Higuamo
			Santo Domingo	33,869	7.5%	Ozama
			El Seibo	48,318	10.8%	Yuma
			La Altagracia	71,981	16.0%	Yuma
			La Romana	9,481	2.1%	Yuma
Suroeste	24,727	6%	Elias Piña	5,981	1.3%	El Valle
			San Juan	1,527	0.3%	El Valle
			Barahona	2,274	0.5%	Enriquillo
			Pedernales	62	0.0%	Enriquillo
			San Cristóbal	13,321	3.0%	Valdesia
			Peravia	1,562	0.3%	Valdesia
3 Regiones	449,248	100%	27 Provincias	449,248	100.0%	10 Subregiones

La segunda región de mayor importancia para un plan nacional de producción de energía a partir de madera de plantaciones es el Norte o Cibao con 154,627 hectáreas, lo que representa el 34 % del potencial nacional. Las provincias con mayores suelos disponibles para estos fines en la región Norte son María Trinidad Sánchez, con 36,235 hectáreas y Duarte, con 29,579 hectáreas.

Por último, se indica como sitio potencial, la región Suroeste con 24,727 hectáreas, distribuidas principalmente entre las provincias de San Cristóbal, Elías Piña y San Juan, como se indica en la tabla 2.

10. Otras especies forestales con potencial para la producción de biomasa en República Dominicana

A pesar de que el sector forestal nacional cuenta casi exclusivamente con el conocimiento técnico y financiero sobre el manejo de la *Acacia mangium* como especie de alto valor para la producción de biomasa, también se han realizado en el país algunas prácticas, ensayos y proyectos con otras especies forestales como eucalipto, nim y leucaena, primordialmente.

Falta sin embargo, seguir probando y analizando de forma localizada el potencial de muchas otras especies nativas y exóticas, que probablemente tengan un desarrollo especial en sitios específicos.

En las tablas 3 y 4 se presenta un análisis indicativo sobre algunas opciones para el fomento de especies forestales y de gramíneas para cada una de las provincias en las cuales existen importantes extensiones con condiciones favorables para el fomento forestal.

La prioridad en la escogencia de estas especies potenciales se realizó atendiendo a los siguientes criterios: grado de aridez de cada provincia, precipitación media anual, altitud sobre el nivel del mar, la recomendación de fuentes consultadas y la propia experiencia nacional vivida y consultada con colegas sobre con el fomento y manejo de dichas especies.

Esta indicación no representa una recomendación definitiva, sino un potencial, por lo que deben profundizarse los estudios correspondientes, antes de emprender inversiones importantes al respecto.

Tabla 3. Potencial de especies arbóreas por provincia con datos edafoclimáticos.

Provincia	Hectáreas	%	Aridez ¹	Precipit. (mm/año) ²	Altitud (msnm)	Especie potencial 1	Especie potencial 2	Especie potencial 3
Monte Plata	72,991	16.25%	Húmedo y Semi-húmedo	1,836	200	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
La Altagracia	71,981	16.02%	Húmedo-seco	1,140	100	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
El Seibo	48,318	10.76%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,600	300	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
María Trinidad Sánchez	36,235	8.07%	Semi-húmedo	2,654	50	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Santo Domingo	33,869	7.54%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,400	50	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
Duarte	29,579	6.58%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	2,103	100	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Sánchez Ramírez	26,775	5.96%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,700	150	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Hato Mayor	19,047	4.24%	Húmedo, Semi-húmedo y Húmedo-seco	2,340	200	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Dajabón	14,500	3.23%	Húmedo-seco	1,300	300	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
San Pedro de Macorís	14,190	3.16%	Húmedo-seco	1,300	50	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
San Cristóbal	13,321	2.97%	Húmedo y Semi-húmedo	1,507	200	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Puerto Plata	12,533	2.79%	Húmedo-seco	1,747	100	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
La Vega	9,858	2.19%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,242	200	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
La Romana	9,481	2.11%	Húmedo-seco	1,244	75	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
Monseñor Nouel	9,352	2.08%	Semi-húmedo	2,900	200	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Españillat	6,619	1.47%	Húmedo-seco	1,746	250	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Elias Piña	5,981	1.33%	Semi-húmedo	1,500	400	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
Samaná	4,316	0.96%	Semi-húmedo	1,175	300	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
Santiago Rodríguez	2,969	0.66%	Semi-árido y Húmedo-seco	1,233	300	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
Barahona	2,274	0.51%	Semi-árido, Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,900	250	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Peravia	1,562	0.35%	Árido y Semi-árido	1,100	150	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
San Juan	1,527	0.34%	Semi-árido y Húmedo-seco	700	600	Eucalyptus camaldulensis	Azadirachta indica	Casuarina equisetifolia
Hermanas Mirabal	1,170	0.26%	Húmedo-seco	1,846	200	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus robusta
Santiago	688	0.15%	Semi-árido y Húmedo-seco	986	150	Eucalyptus camaldulensis	Azadirachta indica	Casuarina equisetifolia
Pedernales	62	0.01%	Semi-árido y Húmedo-seco	700	50	Eucalyptus camaldulensis	Azadirachta indica	Casuarina equisetifolia
Valverde	33	0.01%	Árido	637	150	Eucalyptus camaldulensis	Azadirachta indica	Casuarina equisetifolia
Distrito Nacional	17	0.004%	Húmedo-seco	1,400	75	Acacia mangium	Eucalyptus grandis	Eucalyptus camaldulensis
27 Provincias	449,248	100.0%	5 índices	Prom. 1,516	Prom. 191	2 Especies	2 Especies	3 Especies

Fuentes consultadas:

1986. Gil, P y King, F. La repoblación forestal en República Dominicana: Especies recomendadas. IICA. Costa Rica.

¹2012. Atlas de biodiversidad y recursos naturales de República Dominicana. MIMARENA.

²Mapa de Isoyetas o Precipitaciones Promedio de República Dominicana (1961-90). ONAMET

Tabla 4. Potencial de gramíneas por provincia con datos edafoclimáticos.

Provincia	Hectáreas	%	Aridez ¹	Precipit. (mm/año) ²	Altitud (msnm)	Especie potencial 1	Especie potencial 2
Monte Plata	73,755	15.49%	Húmedo y Semi-húmedo	1,836	200	King Grass	Merker Enano
La Altagracia	72,264	15.18%	Húmedo-seco	1,140	100	Merker Enano	Merker Morado
El Seibo	48,982	10.29%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,600	300	King Grass	Merker Enano
María Trinidad Sánchez	36,503	7.67%	Semi-húmedo	2,654	50	Merker Enano	Merker Morado
Santo Domingo	34,111	7.17%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,400	50	Merker Enano	Merker Morado
Duarte	33,769	7.09%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	2,103	100	Merker Enano	Merker Morado
Sánchez Ramírez	26,993	5.67%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,700	150	Merker Enano	Merker Morado
Hato Mayor	19,285	4.05%	Húmedo, Semi-húmedo y Húmedo-seco	2,340	200	King Grass	Merker Enano
San Pedro de Macorís	14,592	3.07%	Húmedo-seco	1,300	50	Merker Enano	Merker Morado
Dajabón	14,413	3.03%	Húmedo-seco	1,300	300	King Grass	Merker Enano
San Cristóbal	13,446	2.82%	Húmedo y Semi-húmedo	1,507	200	King Grass	Merker Enano
Puerto Plata	12,634	2.65%	Húmedo-seco	1,747	100	Merker Enano	Merker Morado
La Vega	12,479	2.62%	Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,242	200	King Grass	Merker Enano
La Romana	9,507	2.00%	Húmedo-seco	1,244	75	Merker Enano	Merker Morado
Monseñor Nouel	9,491	1.99%	Semi-húmedo	2,900	200	King Grass	Merker Enano
Españat	8,651	1.82%	Húmedo-seco	1,746	250	King Grass	Merker Enano
Hermanas Mirabal	8,395	1.76%	Húmedo-seco	1,846	200	King Grass	Merker Enano
Elías Piña	6,866	1.44%	Semi-húmedo	1,500	400	King Grass	Merker Enano
Samaná	4,421	0.93%	Semi-húmedo	1,175	300	King Grass	Merker Enano
San Juan	3,530	0.74%	Semi-árido y Húmedo-seco	700	600	Merker Morado	King Grass
Barahona	3,018	0.63%	Semi-árido, Húmedo-seco y Semi-húmedo	1,900	250	King Grass	Merker Enano
Santiago Rodríguez	2,973	0.62%	Semi-árido y Húmedo-seco	1,233	300	King Grass	Merker Enano
San José de Ocoa	2,414	0.51%	Húmedo-seco	1,400	75	Merker Enano	Merker Morado
Santiago	1,661	0.35%	Semi-árido y Húmedo-seco	986	150	Merker Morado	King Grass
Peravia	1,634	0.34%	Árido y Semi-árido	1,100	150	Merker Enano	Merker Morado
Azua	214	0.04%	Árido, Semi-árido y Húmedo-seco	700	50	Merker Morado	King Grass
Pedernales	70	0.01%	Semi-árido y Húmedo-seco	700	50	Merker Morado	King Grass
27 Provincias	476,071	100.0%	5 índices	Prom. 1,518	Prom. 187	3. Especies	3 Especies

Fuentes consultadas:

2014. SODIAF. Revista Agropecuaria y Forestal APF 3(1): 61-66. 2014 Comportamiento forrajero de tres Pennisetum purpureum Schumach. Wagner, B. y Colón, R.

¹2012. Atlas de biodiversidad y recursos naturales de República Dominicana. MIMARENA.

²Mapa de Isoyetas o Precipitaciones Promedio de República Dominicana (1961-90). ONAMET

11. Conclusiones y recomendaciones

1. La georreferenciación y análisis geospaciales realizados muestran un área total de 476,071 hectáreas de alta calidad para la producción de gramíneas y 449,248 hectáreas adecuadas para el fomento de *Acacia mangium* y otras especies maderables, como eucalipto y casuarina. Un total de 446,938 hectáreas corresponde solo a *Acacia mangium*.
2. Los proyectos forestales y de producción de gramíneas, dependen más de la escogencia de sitios con suelos y patrón de lluvias indicados, que de las especies escogidas para reducir el riesgo natural de los mismos.
3. Existe un alto potencial en el país para el fomento y manejo sostenible de extensas zonas de cultivos herbáceos y arbóreos para la producción sostenible de biomasa con fines energéticos.
4. El desarrollo de proyectos privados de biomasa, requiere en estos momentos del respaldo político y técnico de las autoridades dominicanas y de los organismos internacionales para integrar voluntades, ciencia, inversión y experiencias en favor de una de las mejores oportunidades que tiene el país en materia energética y ambiental.
5. Dado el potencial de gramíneas existente en República Dominicana, es necesario recopilar información técnica y experiencias sobre producir energía a partir de esta especie.
6. La *Acacia mangium* tiene un potencial de explotación como fuente energética a corto y mediano plazo dadas las experiencias existentes en República Dominicana (ver capítulos 1 y 4). En cambio, las gramíneas tienen un potencial de explotación como biomasa a largo plazo debido a la inexistencia de información técnica y de experiencias locales. Ni el Ministerio de Medio Ambiente, ni los organismos nacionales de investigación forestal cuentan con datos sistematizados sobre gramíneas.
7. Dado el alto potencial de gramíneas en República Dominicana identificado en el presente estudio, es necesario desarrollar investigaciones para determinar los aspectos técnicos y logísticos que permitan aprovechar las gramíneas como combustible. Esto permitiría un fomento mixto pues los turnos de rotación para la acacia con fines biomásicos pueden ser extensos, de 4 a 6 años.
8. A partir de la georreferenciación, se realizó un solapamiento de las zonas potenciales de acacia y gramíneas en el país para establecer áreas comunes. Tanto las capas comunes como las capas individuales en todo el territorio nacional son parte del aporte de este estudio al sistema interactivo desarrollado por la Comisión Nacional de Energía: “Mapas Energéticos de República Dominicana”. Se pueden visualizar en este enlace: <http://mapas.cne.gob.do/>

Anexos digitales

1. Datos espaciales en formato vectorial de almacenamiento digital (*Shapefile*) para ser introducidos en sistema ARC GIS
<https://www.dropbox.com/sh/cqijqpoa7amqjcc/AAB8xQrGqJjs80SSzciPYewra?dl=0>
2. Mapa de biomasa 24 x 36. Gramíneas.
<https://www.dropbox.com/s/esnvhndkc37m9o3/Mapa%20de%20Biomasa%2024x36%20gramineas.pdf?dl=0>
3. Mapa de biomasa 24 x 36. Acacia *mangium*.
<https://www.dropbox.com/s/1ug74fn17ov9qin/Mapa%20de%20Biomasa%2024x36%20Acacia%20mangium.pdf?dl=0>

Referencias

1. Atlas de biodiversidad y recursos naturales de República Dominicana. 2012. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/10/ATLAS-2012.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
2. Bueno, S. El holocausto del pino criollo en República Dominicana. 2013. <http://swbueno-sciences.blogspot.com/2013/01/el-holocausto-del-pino-criollo-en.html>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
3. Capacidad productiva de los suelos de República Dominicana. Base de datos y reporte digital. 1967. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales <http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/12/Capacidad-Productiva-de-los-Suelos.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
4. Disponibilidad de biomasa para la generación de energía en República Dominicana: un análisis sobre de la información existente. 2015. Valerio M. En proceso de publicación.
5. Estudio de uso y cobertura del suelo de República Dominicana. Base de datos. Informe metodológico y resultados. 2012. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/12/uso-cobertura-suelo-2012.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
6. Farjon, A. *Pinus occidentalis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T34192A2850209. <http://www.iucnredlist.org/details/34192/0>.
7. Gil, P y King, F. 1986. La repoblación forestal en República Dominicana: especies recomendadas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA. Publicaciones misceláneas, No. A1/DO – 86 – 002.

8. Inauguran central energética San Pedro Bioenergy. 2016.
<http://www.revistamercado.do/app2/inauguran-central-energetica-san-pedro-bio-energy/>
Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
9. Mapa administrativo político de República Dominicana. 2009. Oficina Nacional de Estadística (ONE). Secretaría de Estado de Economía Planificación y Desarrollo.
<http://www.educando.edu.do/Userfiles/P0001%5CFile%5CMapa%20Politico%20Administrativo%202009.pdf.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018
10. Mapa de Isoyetas de República Dominicana. Base de datos y reporte digital 2010.
<http://www.bachillere.com/2010/08/mapa-de-isoyetas-o-precipitaciones-promedio/>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
11. Mapa de las Áreas Protegidas de República Dominicana. 2015. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2017/04/Sistema-Nacional-de-Areas-Protegidas.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
12. Primer Simposio Caribeño sobre *Acacia mangium*. 2014. Boca Chica, República Dominicana. FAO. Enda Dominicana. Barrick Pueblo Viejo. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.fao.org/forestry/42644-06e078ee7380d5e17db6bb92130963bcb.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
13. Verbist, K., Santibañez, F., Gabriels, D., Soto, G. 2010. Atlas de zonas áridas de América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216333s.pdf> Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
14. Wagner, B., Colón, R. 2014. Comportamiento forrajero de tres *Pennisetum purpureum* Schumach. SODIAF. Revista Agropecuaria y Forestal APF 3(1): 61-66. 2014.



Capítulo 4

Plan preliminar de fomento de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica

Capítulo 4

1. Resumen.....	90
2. Motivación.....	90
3. Alcance y objetivo general.....	91
4. Objetivos específicos.....	91
5. Supuestos.....	91
6. Metodología.....	93
7. Escenarios posibles de un Plan Nacional de Producción de Biomasa Forestal.....	95
8. Proyección de 13,717 hectáreas identificadas como potenciales por productores entrevistados.....	100
9. Conclusiones y recomendaciones.....	102
10. Referencias.....	104

1. Resumen

Este producto número cuatro, “Plan preliminar de fomento de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica” presenta un plan de fomento a partir de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana.

Los resultados del producto número cuatro indican que en un escenario de alto rendimiento (40, 30 y 20 ton/ha/año de acacia molida, según la calidad de sitio) se pueden producir 12.6 millones de toneladas anuales de biomasa, cuya energía equivale a 8,524 GWh por año o **1,076 MW** de potencia, a un 25 % de eficiencia eléctrica.

En un escenario de rendimiento moderado (30, 20 y 10 ton/ha/año de acacia molida, según la calidad de sitio) podría producir ocho millones de toneladas anuales de biomasa, cuya energía equivale a 5,485 GWh por año o **693 MW** de potencia, a un 25 % de eficiencia eléctrica.

Para estos escenarios, se usó el potencial biomásico total determinado para *Acacia mangium* de **446,938** hectáreas.

Se realizó también una proyección dentro de un escenario sin incentivos, tomando como base 13,717 hectáreas identificadas con potencial a corto/mediano plazo a partir de fuentes forestales (Producto 1). De esta extensión de terreno se puede conseguir una producción media anual de entre 159 y 296 mil toneladas anuales de biomasa, cuya energía equivale a una generación eléctrica de 54 a 201 GWh por año y una potencia de **7 a 25 MW**, a un 25 % de eficiencia eléctrica.

2. Motivación

La Ley 57-07, sobre “*Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales*”, ha estimulado el desarrollo de proyectos energéticos a partir de fuentes eólicas, solares y biomásicas, quedando aún pendiente un programa de incentivos para el fomento forestal, considerado necesario para dicho desarrollo. En la actualidad el país cuenta con una capacidad instalada de 30 MW de energía eléctrica a partir de biomasa, 30 MW a partir de energía solar, y 126.5 MW generados por fuentes eólicas.

Dado el gran potencial biomásico existente en territorio dominicano, el momento es crucial para diversificar la matriz energética con fuentes renovables, lo cual minimizaría la importación de combustibles fósiles. Es por esto que la actualización de la Ley 57-07 antes de su vencimiento en el año 2020 es de vital importancia para el desarrollo energético del país.

Así mismo, solo con mayores y mejores incentivos fiscales, acceso a financiamiento local, formalización del mercado, subsidios y protección a inversionistas y productores, la contribución creciente y sostenible a la matriz energética a partir de fuentes biomásicas será una realidad.

3. Alcance y objetivo general

El producto número cuatro, “Plan preliminar de fomento de biomasa para la generación industrial de calor y energía eléctrica”, es el cuarto componente de un total de cinco que completarán el “Estudio de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana y su plan de aprovechamiento para la generación de energía”.

Este cuarto producto tiene como objetivo “plantear un escenario de aprovechamiento del potencial nacional, con estimado de cantidades de biomasa producidas, estrategia de suministro y plazo previsible para su logro” (pliego de condiciones específicas CCC-CNE-LPN-2014-0003).

4. Objetivos específicos

La capacidad de producción de biomasa forestal en República Dominicana, se proyecta bajo este producto número cuatro, cuantificada para los primeros veinte años de un Plan Nacional de Producción de Biomasa a partir de plantaciones establecidas en 23 provincias determinadas con alto potencial para *Acacia mangium* (determinado a partir del producto número tres de este estudio).

El plan hace un estimado de las balanzas financieras para cada provincia en dicho período, calcula el potencial de generación de empleos y la energía eléctrica equivalente en generación de electricidad por año y potencia eléctrica.

5. Supuestos

Para elaborar este plan se han tomado en cuenta los siguientes criterios y consideraciones:

- A) El plan de potencial de biomasa se proyectó a 20 años para cubrir los primeros 10 años que conlleva el ciclo de vida de la *Acacia mangium* antes de ser aprovechada a partir del décimo año. Luego del año diez empieza el **plan preliminar decenal** para el cual se determinó el potencial de biomasa en República Dominicana.
- B) Según se estableció en el capítulo 3, el área total del “Plan Nacional de Producción de Biomasa Forestal”, asciende a 449,153 hectáreas distribuidas en 27 provincias.

- C) Para el Plan Preliminar Decenal contemplado en este capítulo, se consideró solo el potencial de *Acacia mangium*, ya que es la especie de la cual se tienen datos precisos para hacer proyecciones.
- D) Del potencial total de especies forestales determinadas en el capítulo 3, **446,938 hectáreas** nacionales son zonas “de muy alto potencial para la producción de *Acacia mangium*” distribuidas en 23 provincias. Las provincias de mayor extensión en este plan son Monte Plata, con 72,991 hectáreas; La Altagracia, con 71,981 hectáreas; El Seibo, con 48,318 hectáreas y María Trinidad Sánchez, con 36,235 hectáreas.
- i. Esta proyección estima el desarrollo de un clima atractivo para las inversiones del sector forestal privado y el respaldo decidido del Gobierno dominicano mediante incentivos legales y fiscales de largo plazo. Sin estos, es de poca probabilidad contar a corto plazo con una expansión masiva de plantaciones forestales en el país;
 - ii. Las zonas consideradas de alto potencial fueron previamente georreferenciadas y confirmadas como poseedoras de condiciones edafoclimáticas apropiadas para la producción de especies arbóreas de rápido crecimiento (producto 3);
 - iii. Sería plausible contar con un escenario a mediano plazo, dado el esfuerzo actual que hacen los organismos legislativos, ambientales y de desarrollo de contar con una ley de incentivos forestales, la cual está siendo estudiada en ambas cámaras del Congreso Nacional.
- E) Se proyectaron **13,717 hectáreas** que fueron identificadas en la línea base establecida en el producto número uno con potencial biomásico a corto/mediano plazo, según los objetivos de los dueños de estos terrenos (producto 1). Estas áreas se encuentran distribuidas en cuatro regiones del país entre ocho productores formales de biomasa forestal.
1. Esta proyección se realizó para contemplar un escenario más realista con incentivos público-privados insuficientes que impiden fomentar todas las hectáreas contempladas en el acápite C.
 2. Entre estos escenarios desfavorables se encuentran la inexistencia de una ley forestal, el vencimiento en el año 2020 de los incentivos contemplados en la Ley 57-07 para el desarrollo de fuentes de energía renovable y la ausencia de incentivos para el fomento de fincas energéticas dentro de la misma ley.

F) Los planes en los acápite C y D no incluyen el potencial de biomasa procedente de planes de manejo forestales (PMF) vigentes, ni de la producción de energía a partir de gramíneas, debido a la inexistencia de información confiable y de experiencias reales disponibles en el país que permitieran abordar el tema. Ni el Ministerio de Medio Ambiente, ni los organismos nacionales de investigación forestal cuentan con datos sistematizados al respecto.

G) Los planes están basados en las experiencias nacionales sobre fomento, aprovechamiento y usos de astillas de *Acacia mangium* en ecosistemas denominados como ambientes secos, semisecos y lluviosos.

H) La implementación de un plan nacional de producción de biomasa requiere de estudios y estrategias específicas para cada provincia que no se incluye en esta fase.

6. Metodología

- a. Utilizando el informe generado por el producto número tres sobre la extensión disponible en cada una de las 23 provincias de más alto potencial para la producción de *Acacia mangium* en el país, se asignó (acorde a sus condiciones edafoclimáticas) un valor de crecimiento (A, B o C) para cada provincia. Esta proyección contempla un escenario óptimo de iniciativas público-privadas.
- b. El incremento medio anual (IMA) de *Acacia mangium* ha sido determinado en estudios anteriores (ENDA-FAO, 2014) en toneladas de *chips* por hectárea por año, para sitios de alto, mediano y bajo crecimiento; correspondientes a sitios húmedos, semihúmedos y secos (tabla 3, capítulo 3). El presente estudio consideró escenarios de alto, mediano y bajo rendimiento según la calidad de sitio. El escenario alto corresponde a 40, 30 y 20 ton/ha/año de acacia molida, el mediano a 30, 20 y 10 ton/ha/año y el bajo a 20, 10 y 5 ton/ha/año.
- c. La tabla 1 presenta los valores de conversión para el cálculo de la producción de biomasa molida por año a partir de las hectáreas determinadas previamente en el país. En base a un incremento medio anual dentro de un escenario de mediano rendimiento también se determinaron costos por provincia, ingresos, egresos, energía y potencia eléctrica.
- d. El precio en finca de \$36 dólares por tonelada de *chips* de *Acacia mangium* se fijó en el capítulo 1 y comprende el precio del árbol en pie (\$12 dólares por ton), la operación de corte y arrastre hasta el *chipper* (\$9 dólares por ton), la operación del *chipper* (\$10 dólares por ton) y las utilidades (\$5 dólares por ton).

- e. Los costos de establecimiento, manejo, administración y aprovechamiento de la *Acacia mangium* son los siguientes: \$870 dólares por hectárea por año (establecimiento a 20 años, no supone costos financieros); \$44 dólares (manejo por hectárea por año); \$87 dólares/ha/año (administración) y \$44 dólares/ha/año (aprovechamiento).
- f. Energía y potencia por tonelada de *Acacia mangium*
Muestras de *Acacia mangium* de Bonaó, República Dominicana, presentan un poder calorífico superior (PCS) en base seca de 17.8 MJ/kg, según se determinó experimentalmente en el producto número dos de este estudio. A un 45 % de humedad, el PCS se reduce a 9.8 MJ/kg. Dado que un MJ equivale a 0.000278 MWh (ref. 10), se deduce que una tonelada de *Acacia mangium* a 45 % de humedad equivale a 2.72 MWh.
- g. Generación eléctrica a partir de *Acacia mangium* como combustible de caldera
Para determinar la generación eléctrica en GWh y la potencia eléctrica (MW) se utilizó un factor de 0.25 para contemplar una eficiencia energética de 25 % en plantas de producción de energía que utilicen biomasa como combustible de caldera. Es decir, solo el 25 % de la energía presente en la biomasa se convierte en energía eléctrica (Van Loo y Koppejan, 2008).

Tabla 1. Valores de conversión para el cálculo de IMA (incremento medio anual) en un escenario de mediano rendimiento, por provincia, ingresos, egresos y potencia eléctrica.

Aspecto	Valor	Detalle	Fuente
IMA anual <i>A. mangium</i> (Húmedo)	30.00	T on chips por ha. por año	ENDA-FAO, 2014
IMA anual <i>A. mangium</i> (Semihúmedo)	20.00	T on chips por ha. por año	ENDA-FAO, 2014
IMA anual <i>A. mangium</i> (Semiseco)	10.00	T on chips por ha. por año	ENDA-FAO, 2014
Turno/Rodal	20.00	Años	CFD, 2016
Precio US\$/Ton Chips <i>Acacia</i>	36.00	En finca hasta 50% humedad	Capítulo 1, CNE
Tasa de cambio US\$:RD\$	49.00	Pesos por dólar (\$US)	Banco Central
US\$ Establ (100%) por hectárea	870.00	Preparación y siembra	CFD, 2016
US\$ Manejo (5%) por hectárea	44.00	Silvicultura y caminos	CFD, 2016
US\$ Adm (10%) por hectárea	87.00	RRHH y logística	CFD, 2016
US\$ Aprovech (5%)	44.00	Equipos, saca, transporte	CFD, 2016
Ton de madera (45% húmeda)	2.72	MWh	Cap. 4, CNE
Eficiencia Eléctrica	0.25	25% energía de biomasa se convierte en energía eléctrica	Van Loo y Koppejan, 2008
1 hectárea genera	1.70	Empleos fijos	ENDA-FAO, 2014

- h. Utilizando la línea base establecida en el producto número uno, se proyectaron 13,717 ha con potencial biomásico y pertenecientes a ocho productores formales de biomasa en el país, ubicados en las regiones Central, Este, Norcentral y Nordeste. Esta proyección contempla un escenario de incremento mediano y de incentivos público-privados insuficientes que impidan fomentar el potencial total.
- i. Con los valores de conversión en la tabla 1, se calcularon los costos de establecimiento (plantación, silvicultura, etc.), costos de manejo, costos de administración y costos de aprovechamiento del área provincial, basados en las experiencias nacionales más discutidas y conocidas por el sector forestal nacional (ver referencias).
- j. Los escenarios de cálculo desarrollados para los IMA de alto, medio y bajo rendimiento, por provincia, fueron los siguientes:
 - i. Producción anual de biomasa
 - ii. Ingresos, egresos y balances anuales
 - iii. Número de empleos fijos a generarse por provincia
 - iv. Equivalencia del total de biomasa potencial en energía (GWh) y potencia eléctrica (MW)

7. Escenarios posibles de un Plan Nacional de Producción de Biomasa Forestal.

a. Escenario de alto rendimiento

En la tabla 2 se desglosan las proyecciones de *Acacia mangium* a 20 años (10 años de establecimiento y 10 años de aprovechamiento) considerando rendimientos de 40, 30 y 20 toneladas por hectárea por año para los sitios de calidad A (húmedo), B (semihúmedo) o C (semiseco) respectivamente (tabla 3, capítulo 3).

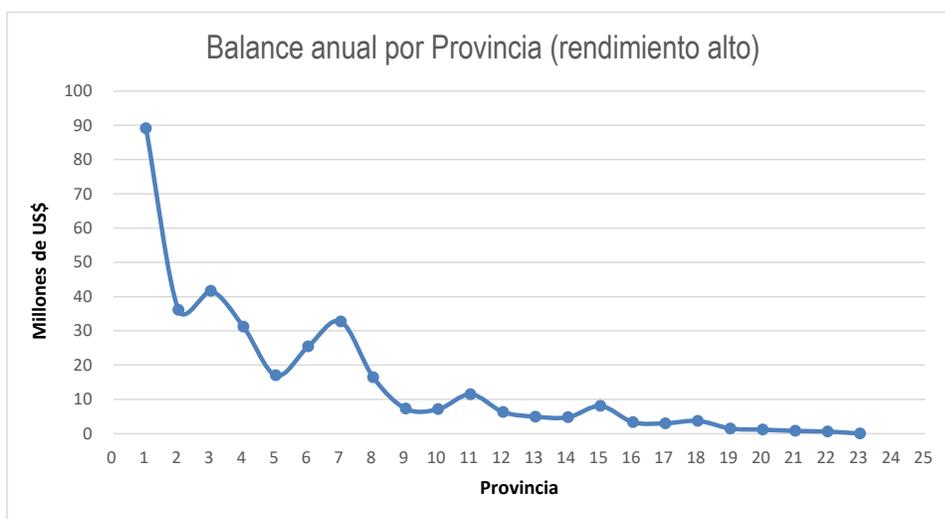
Se determinó una producción anual de biomasa de 12,535,760 toneladas que vendidas a US \$36 dólares en finca, generarían un flujo de caja positivo para todas las provincias (fig. 1). Se estarían creando 759,795 empleos rurales.

La producción anual de 12,535,760 toneladas de *Acacia mangium* molida equivale a una generación eléctrica de 8,524 GWh por año y una potencia de **1,076 MW**.

Tabla 2. Escenario de alto rendimiento.

Provincia	Hectárea	Producción Biomasa Molida Ton/Año	Ingreso Anual (Millones US\$/Año)	Egresos (Millones US\$/Año)	Balance Anual (Millones US\$/Año)	Empleos fijos	GWh / Año	MW
Monte Plata	72,991	2,919,640	105	16	89	124,085	1,985	251
La Altagracia	71,981	1,439,620	52	16	36	122,368	979	124
El Seibo	48,318	1,449,540	52	11	42	82,141	986	124
María Trinidad Sánchez	36,235	1,087,050	39	8	31	61,600	739	93
Santo Domingo	33,869	677,380	24	7	17	57,577	461	58
Duarte	29,579	887,370	32	6	25	50,284	603	76
Sánchez Ramírez	26,775	1,071,000	39	6	33	45,518	728	92
Hato Mayor	19,047	571,410	21	4	16	32,380	389	49
Dajabón	14,500	290,000	10	3	7	24,650	197	25
San Pedro de Macorís	14,190	283,800	10	3	7	24,123	193	24
San Cristóbal	13,321	399,630	14	3	11	22,646	272	34
Puerto Plata	12,533	250,660	9	3	6	21,306	170	22
La Vega	9,858	197,160	7	2	5	16,759	134	17
La Romana	9,481	189,620	7	2	5	16,118	129	16
Monseñor Nouel	9,352	280,560	10	2	8	15,898	191	24
Españillat	6,619	132,380	5	1	3	11,252	90	11
Elias Piña	5,981	119,620	4	1	3	10,168	81	10
Samaná	4,316	129,480	5	1	4	7,337	88	11
Santiago Rodríguez	2,969	59,380	2	1	1	5,047	40	5
Barahona	2,274	45,480	2	0	1	3,866	31	4
Peravia	1,562	31,240	1	0	1	2,655	21	3
Hermanas Mirabal	1,170	23,400	1	0	0.6	1,989	16	2
Distrito Nacional	17	340	0.01	0	0.01	29	0	0
23 Provincias	446,938	12,535,760	451	98	354	759,795	8,524	1,076

Figura 1. Escenario de alto rendimiento.



b. Escenario con rendimiento moderado

En la tabla 3 se desglosan las proyecciones de *Acacia mangium* a 20 años (10 años de establecimiento y 10 años de aprovechamiento) considerando rendimientos de 30, 20 y 10 toneladas por hectárea por año para los sitios de calidad A (húmedo), B (semihúmedo) o C (semiseco), respectivamente (tabla 3, capítulo 3).

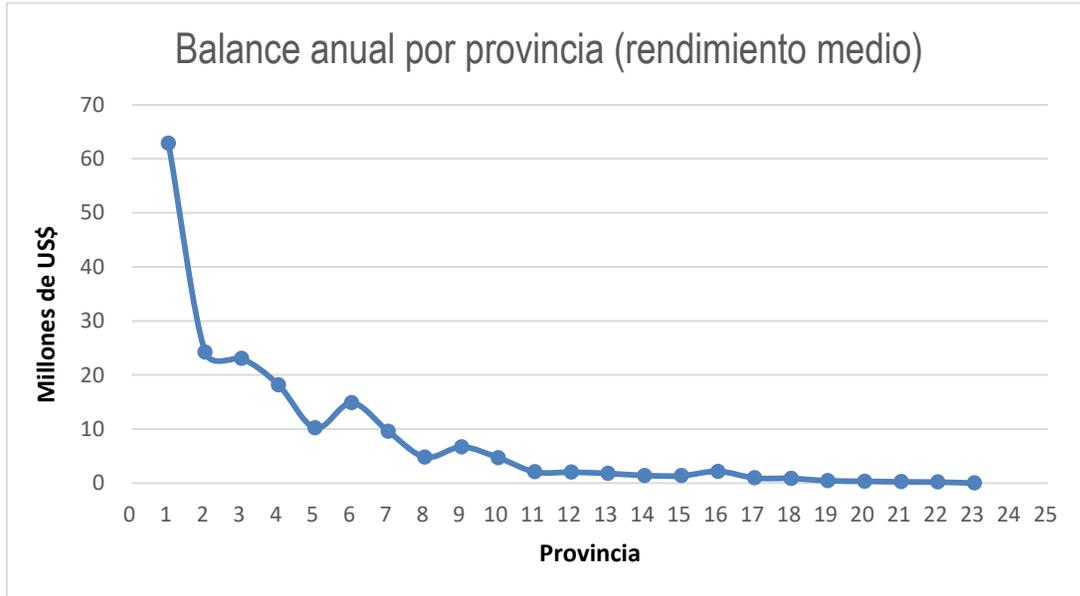
Se determinó una producción anual de biomasa de 8,066,380 toneladas que vendidas a US \$36 dólares en finca, generarían un flujo de caja positivo para todas las provincias (fig. 2).

La producción anual de 8,066,380 toneladas de *Acacia mangium* molida equivale a una generación eléctrica de 5,454 GWh por año y una potencia de **693 MW**.

Tabla 3. Escenario con rendimiento moderado.

Provincia	Hectárea	Producción Biomasa Molida Ton/Año	Ingreso Anual (Millones US\$/Año)	Egresos (Millones US\$/Año)	Balance Anual (Millones US\$/Año)	Empleos fijos	GWh / Año	MW
Monte Plata	72,991	2,189,730	79	16	63	124,085	1,489	188
El Seibo	48,318	966,360	35	11	24	82,141	657	83
Sánchez Ramírez	26,775	803,250	29	6	23	45,518	546	69
María Trinidad Sánchez	36,235	724,700	26	8	18	61,600	493	62
La Altagracia	71,981	719,810	26	16	10	122,368	489	62
Duarte	29,579	591,580	21	6	15	50,284	402	51
Hato Mayor	19,047	380,940	14	4	10	32,380	259	33
Santo Domingo	33,869	338,690	12	7	5	57,577	230	29
San Cristóbal	13,321	266,420	10	3	7	22,646	181	23
Monseñor Nouel	9,352	187,040	7	2	5	15,898	127	16
Dajabón	14,500	145,000	5	3	2	24,650	99	12
San Pedro de Macorís	14,190	141,900	5	3	2	24,123	96	12
Puerto Plata	12,533	125,330	5	3	2	21,306	85	11
La Vega	9,858	98,580	4	2	1	16,759	67	8
La Romana	9,481	94,810	3	2	1	16,118	64	8
Samaná	4,316	86,320	3	0.9	2	7,337	59	7
Españat	6,619	66,190	2	1.4	1	11,252	45	6
Elias Piña	5,981	59,810	2	1.3	1	10,168	41	5
Santiago Rodríguez	2,969	29,690	1.1	0.6	0.4	5,047	20	3
Barahona	2,274	22,740	0.8	0.5	0.3	3,866	15	2
Peravia	1,562	15,620	0.6	0.3	0.2	2,655	11	1.3
Hermanas Mirabal	1,170	11,700	0.4	0.3	0.2	1,989	8	1.0
Distrito Nacional	17	170	0.01	0.004	0.002	29	0.1	0.01
23 Provincias	446,938	8,066,380	290	98	193	759,795	5,485	693

Figura 2. Escenario con rendimiento moderado.



c. Escenario con rendimiento bajo

En la tabla 4 se desglosan las proyecciones de *Acacia mangium* a 20 años (10 años de establecimiento y 10 años de aprovechamiento) considerando rendimientos de 20, 10 y 5 toneladas por hectárea por año para los sitios de calidad A (húmedo), B (semihúmedo) o C (semiseco), respectivamente (tabla 3, capítulo 3).

Se determinó una producción anual de biomasa de 4,532,020 toneladas que vendidas a US \$36 dólares en finca, generarían un flujo de caja positivo para las provincias con mayor potencial biomásico (Monte Plata, Sánchez Ramírez, El Seibo, etc.) (fig. 3). Por otro lado, en las provincias con menor potencial biomásico, el balance anual es negativo.

La producción anual de 4,532,020 toneladas de *Acacia mangium* molida equivale a una generación eléctrica de 3,082 GWh por año y una potencia de **389 MW**.

Tabla 4. Escenario con rendimiento bajo.

Provincia	Hectárea	Producción Biomasa Molida Ton/Año	Ingreso Anual (Millones US\$/Año)	Egresos (Millones US\$/Año)	Balance Anual (Millones US\$/Año)	Empleos fijos	GWh / Año	MW
Monte Plata	72,991	1,459,820	53	16	37	124,085	993	125
Sánchez Ramírez	26,775	535,500	19	6	13	45,518	364	46
El Seibo	48,318	483,180	17	11	7	82,141	329	41
María Trinidad Sánchez	36,235	362,350	13	8	5	61,600	246	31
La Altagracia	71,981	359,905	13	16	(3)	122,368	245	31
Duarte	29,579	295,790	11	6	4	50,284	201	25
Hato Mayor	19,047	190,470	7	4	3	32,380	130	16
Santo Domingo	33,869	169,345	6	7	(1)	57,577	115	15
San Cristóbal	13,321	133,210	5	3	1.9	22,646	91	11
Monseñor Nouel	9,352	93,520	3	2	1.3	15,898	64	8
Dajabón	14,500	72,500	3	3	(0.6)	24,650	49	6
San Pedro de Macorís	14,190	70,950	3	3	(0.5)	24,123	48	6
Puerto Plata	12,533	62,665	2	3	(0.5)	21,306	43	5
La Vega	9,858	49,290	2	2	(0.4)	16,759	34	4
La Romana	9,481	47,405	2	2	(0.4)	16,118	32	4
Samaná	4,316	43,160	1.6	0.9	0.6	7,337	29	4
Espey	6,619	33,095	1.2	1.4	(0.3)	11,252	23	3
Elias Piña	5,981	29,905	1.1	1.3	(0.2)	10,168	20	3
Santiago Rodríguez	2,969	14,845	0.5	0.6	(0.1)	5,047	10	1.3
Barahona	2,274	11,370	0.4	0.5	(0.09)	3,866	8	1.0
Peravia	1,562	7,810	0.3	0.3	(0.06)	2,655	5	0.7
Hermanas Mirabal	1,170	5,850	0.2	0.3	(0.05)	1,989	4	0.5
Distrito Nacional	17	85	0.003	0.004	(0.001)	29	0.1	0.01
23 Provincias	446,938	4,532,020	163	98	65	759,795	3,082	389

Figura 4. Escenario con rendimiento bajo.


8. Proyección de 13,717 hectáreas identificadas como potenciales por productores entrevistados

En el capítulo 1 de este estudio, se identificaron 13,717 hectáreas con potencial a corto/mediano plazo para la producción de biomasa forestal con fines energéticos. Estas áreas potenciales corresponden a ocho productores distribuidos en las provincias San Pedro de Macorís, La Altagracia, María Trinidad Sánchez, Monseñor Nouel y Monte Plata.

Similar a los escenarios anteriores, se contemplaron los tres tipos de rendimientos de producción biomásica: alto (40, 30 y 20 ton/ha/año de *chips* de biomasa); medio (30, 20 y 10 ton/ha/año de *chips* de biomasa) y bajo (20, 10 y 5 ton/ha/año de *chips* de biomasa).

En la tabla 5, se desglosan las proyecciones de biomasa a 10 años, considerando rendimientos de 40, 30 y 20 toneladas por hectárea por año para los sitios de calidad A (húmedo), B (semihúmedo) o C (semiseco), (tabla 3, capítulo 3).

Bajo un rendimiento alto (tabla 5), se proyectó una producción anual de biomasa de 296,180 toneladas, que vendidas a US \$36 dólares en finca, generarían un flujo de caja positivo para los productores. Esta producción anual de biomasa equivale a una generación eléctrica de 201 GWh por año y una potencia de **25 MW**.

Tabla 5. Proyección de 13,717 hectáreas - Escenario con rendimiento alto.

Productor	Provincia	Hectárea	Producción Biomasa Molida Ton/Año	Ingreso Anual (Millones US\$/Año)	Egresos (Millones US\$/Año)	Balance Anual (Millones US\$/Año)	Empleos fijos	GWh / Año	MW
Productor 2	San Pedro de Macorís	9,419	188,380	7	2	4	15,070	128	16
Productor 1	La Altagracia	1,875	37,500	1.4	0.5	0.9	3,000	26	3
Productor 7	María Trinidad	855	25,650	0.9	0.2	0.7	1,368	17	2.2
Productor 3	Monseñor Nouel	620	18,600	0.7	0.2	0.5	992	13	1.6
Productor 4	Monseñor Nouel	340	10,200	0.4	0.1	0.3	544	7	0.9
Productor 5	San Pedro de Macorís	340	6,800	0.2	0.1	0.16	544	5	0.6
Productor 6	Monseñor Nouel	167	5,010	0.2	0.04	0.14	267	3	0.4
Productor 8	Monte Plata	101	4,040	0.1	0.03	0.12	162	3	0.3
8 Productores	5 Provincias	13,717	296,180	11	4	7	21,947	201	25

En la tabla 6 se desglosan las proyecciones de biomasa a 10 años, considerando rendimientos de 30, 20 y 10 toneladas por hectárea por año para los sitios de calidad A (húmedo), B (semihúmedo) o C (semiseco), (tabla 3, capítulo 3).

Bajo un rendimiento medio (tabla 5), se determinó una producción anual de biomasa de 159,010 toneladas, que vendidas a US \$36 dólares en finca, generarían un flujo de caja positivo para los productores. En este caso, la producción anual de referencia equivale a una generación eléctrica de 108 GWh por año y una potencia de **14 MW**.

Tabla 6. Proyección de 13,717 hectáreas - Escenario con rendimiento medio.

Productor	Provincia	Hectárea	Producción Biomasa Molidas Ton/Año	Ingreso Anual (Millones US\$/Año)	Egresos (Millones US\$/Año)	Balance Anual (Millones US\$/Año)	Empleos fijos	GWh / Año	MW
Productor 2	San Pedro de Macorís	9,419	94,190	3	2	1	15,070	64	8
Productor 1	La Altagracia	1,875	18,750	0.7	0.5	0.2	3,000	13	2
Productor 7	María Trinidad	855	17,100	0.6	0.2	0.4	1,368	12	1.5
Productor 3	Monseñor Nouel	620	12,400	0.4	0.2	0.3	992	8	1.1
Productor 4	Monseñor Nouel	340	6,800	0.2	0.1	0.2	544	5	0.6
Productor 5	San Pedro de Macorís	340	3,400	0.1	0.1	0.03	544	2	0.3
Productor 6	Monseñor Nouel	167	3,340	0.1	0.04	0.08	267	2	0.3
Productor 8	Monte Plata	101	3,030	0.1	0.03	0.08	162	2	0.3
8 Productores	5 Provincias	13,717	159,010	6	4	2	21,947	108	14

Las proyecciones de biomasa a 10 años, considerando rendimientos de 20, 10 y 5 toneladas por hectárea por año para los sitios de calidad A (húmedo), B (semihúmedo) o C (semiseco), (tabla 3, capítulo 3), son desglosadas en la tabla 7.

Respondiendo a un rendimiento bajo (tabla 5), se prevé una producción anual de biomasa de 80,010 toneladas, que vendidas a US \$36 dólares en finca, generarían un flujo de caja negativo para los productores con mayor potencial biomásico, situados en San Pedro de Macorís y Monte Plata. Esa producción anual de biomasa es igual a una generación eléctrica de 54 GWh por año y una potencia de **7 MW**.

Tabla 7. Proyección de 13,717 hectáreas - Escenario con rendimiento bajo.

Productor	Provincia	Hectárea	Producción Biomasa Molidas Ton/Año	Ingreso Anual (Millones US\$/Año)	Egresos (Millones US\$/Año)	Balance Anual (Millones US\$/Año)	Empleos fijos	GWh / Año	MW
Productor 2	San Pedro de Macorís	9,419	47,095	2	2	(0.8)	15,070	32	4
Productor 1	La Altagracia	1,875	9,375	0.3	0.5	(0.2)	3,000	6	1
Productor 7	María Trinidad	855	8,550	0.3	0.2	0.1	1,368	6	0.7
Productor 3	Monseñor Nouel	620	6,200	0.2	0.2	0.1	992	4	0.5
Productor 4	Monseñor Nouel	340	3,400	0.1	0.1	0.0	544	2	0.3
Productor 5	San Pedro de Macorís	340	1,700	0.1	0.1	(0.0)	544	1.2	0.1
Productor 6	Monseñor Nouel	167	1,670	0.1	0.04	0.02	267	1.1	0.1
Productor 8	Monte Plata	101	2,020	0.1	0.03	0.05	162	1.4	0.2
8 Productores	5 Provincias	13,717	80,010	3	4	(1)	21,947	54	7

9. Conclusiones y recomendaciones

1. Existen 446,938 hectáreas identificadas y georreferenciadas, las cuales cuentan con un alto potencial para producir biomasa forestal a partir de plantaciones de *Acacia mangium* en República Dominicana. En un escenario moderado, se podrían producir ocho millones de toneladas anuales, equivalente a una generación eléctrica de 5,454 GWh por año y una potencia de **693 MW**.
2. Fueron identificadas ocho zonas con proyectos forestales privados con potencial a corto o mediano plazo y con una extensión de 13,717 hectáreas (capítulo 1), de los cuales se espera obtener una producción de entre 159 y 296 mil toneladas anuales de biomasa, equivalente a una generación eléctrica de 54 a 201 GWh por año y una potencia de **7 a 25 MW**.
3. En República Dominicana se carece de información suficiente y confiable para proyectar una producción extensiva de biomasa forestal con fines energéticos que no sea con *Acacia mangium*.
4. No existen estudios que establezcan diferencias significativas en la producción de biomasa de *Acacia mangium* entre las estaciones anuales.
5. Un Plan Nacional Forestal debe sustentarse en fincas forestales establecidas para ser aprovechadas totalmente como biomasa y evitar la idea de la extracción selectiva de subproductos para ser triturados.
6. La estrategia de suministro de biomasa más defendida hasta el momento en el país plantea que los bosques y las plantaciones forestales requieran de normativas específicas para su manejo debido a su importancia social y ecosistémica.
7. Las plantaciones forestales de *Acacia mangium* que no garanticen un incremento medio anual (IMA) mayor de 30, 20 y 10 toneladas de biomasa molida por hectárea por año, según la calidad de sitios A, B o C, y un precio de venta de astillas en finca mayor a los US \$36/Ton, presentan alto riesgo de rentabilidad.
8. Es conocido y defendido a nivel nacional que sea el Plan de Manejo Forestal (PMF) el instrumento oficial de planificación y de operaciones en la cadena de suministro de biomasa forestal nacional.
9. La industria nacional de la energía está requiriendo contar con altos volúmenes de biomasa forestal para reducir el consumo de combustibles fósiles, favorecer el uso de energías renovables y procurar una mayor competitividad nacional en el sector.

10. Una estrategia nacional de suministro debe plantear nuevos mecanismos que hagan más fáciles la autorización ambiental para el uso de biomasa como fuente de energía, establecer unos sistemas de registros y la generación de estadísticas correspondientes. **De mismo modo**, adoptar medidas de cumplimiento ambiental a lo largo de la cadena y crear reglamentos que auspicien el fomento y aprovechamiento sostenible de biomasa forestal como fuente de energía en todo el país, entre otras consideraciones.
11. Un plan de desarrollo provincial de producción de biomasa requiere de múltiples estudios multidisciplinarios, consideraciones políticas, sociales y empresariales, proceso que debe ser ponderado por la CNE como el paso siguiente a esta fase.
12. Sin una decisión firme y decidida del Gobierno central de República Dominicana, sería muy difícil alcanzar el despegue de un Plan Nacional de Fomento Forestal de esta magnitud.
13. Existen vacíos legales e institucionales que deben ser superados para poder atraer la inversión privada necesaria para llevar a cabo un Plan Nacional de Producción de Biomasa. Entre las decisiones políticas más urgentes se indican la necesidad de que el país disponga de una normativa de fomento y de incentivos a la producción nacional de biomasa, el establecimiento de procedimientos claros y formales para su libre mercado, una estandarización nacional sobre la calidad y tipos de biomasa, la creación de una tarifa de precios con base al valor de la biomasa en términos de poder calorífico, así como a todo lo concerniente a la cadena de aprovechamiento, administración, protección ambiental y legalidad de los actores involucrados.
14. Para la implementación de un plan nacional, se requiere elaborar planes detallados, basados en las condiciones específicas de cada provincia, municipio, paraje y finca, al igual que el establecimiento de una estrategia de consumo y suministro.
15. El fomento de un programa forestal como este, no solo contribuiría a reducir las importaciones de petróleo, sino que generaría más de 300,000 empleos, mejoraría significativamente la protección de nuestros acuíferos, daría protección a la vida silvestre, reduciría los niveles de erosión y contribuiría con un cambio positivo en lo concerniente al paisaje de las áreas reforestadas.

Referencias

1. Biomasa. Cultivos Energéticos. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Departamento de Energía. 2007. Madrid.
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_cultivos_energeticos_07_4bd9c8e7.pdf. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
2. Capacidad Productiva de los Suelos de República Dominicana. Base de datos y reporte digital. 1967. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/12/Capacidad-Productiva-de-los-Suelos.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
3. Contenido calórico de la biomasa de *Acacia mangium*. 2018.
<http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=779>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
4. Disponibilidad de biomasa para la generación de energía en República Dominicana: un análisis sobre la información existente. 2015. Valerio M. En proceso de publicación.
5. Energy Management Solutions (EMS). 2018. Herramientas de Energía. Tabla de Equivalencias. <http://www.emsenergy.com/herramientas-de-energia>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
6. Energy Units. 2018. The American Physical Society.
<https://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/energy/units.cfm>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
7. Estudio de uso y cobertura del suelo de República Dominicana. Base de datos. Informe metodológico y resultados. 2012. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/12/uso-cobertura-suelo-2012.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
8. Mapa de Isoyetas de República Dominicana. Base de datos y reporte digital 2010. <http://www.bachillere.com/2010/08/mapa-de-isoyetas-o-precipitaciones-promedio/>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
9. Primer Simposio Caribeño sobre *Acacia mangium*. 2014. Boca Chica, República Dominicana. FAO. Enda Dominicana. Barrick Pueblo Viejo. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.fao.org/forestry/42644-06e078ee7380d5e17db6bb92130963bcb.pdf>. Se extrajo la información el 7 de febrero de 2018.
10. Tabla de conversión de energía. 2018.
<https://www.rapidtables.com/convert/energy/index.html>. Se extrajo la información el 1 de marzo de 2018.



Capítulo 5

Leyes, normativas y reglamentos existentes sobre biomasa

Capítulo 5

1. Alcance y objetivo.....	107
2. Biomasa dentro del contexto legal.....	107
3. Antecedentes sobre el uso de biomasa.....	108
4. Leyes, reglamentos y normativas ambientales para el uso de biomasa	
a. Ley 64-00. Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales.....	109
b. Reglamentos forestales (marco Ley 64-00).....	109
5. Leyes, reglamentos y normativas energéticas para el uso de biomasa.....	110
a. Ley General de Electricidad No. 125-01: Ley y Reglamento de Aplicación.....	110
b. Ley No. 57-07 de Incentivo a las Energías Renovables y Regímenes Especiales.....	111
6. Limitaciones de las leyes vigentes para regular el mercado de biomasa.....	115
7. Recomendaciones de los actores entrevistados que participan en el mercado de biomasa.....	116
Referencias.....	117

1 Alcance y objetivo

“Leyes, normativas y reglamentos existentes sobre biomasa” es el capítulo 5 y el último componente presentado como parte del consolidado de productos del “Estudio de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana y su plan de aprovechamiento para la generación de energía”.

Este estudio “abarcará la cuantificación de la producción de biomasa de origen forestal, agrícola e industrial en todo el territorio nacional, la fracción disponible para el aprovechamiento energético de dicha biomasa dentro de un marco de sostenibilidad, incluyendo la caracterización de la biomasa bajo utilización”. (Pliego de condiciones específicas CCC-CNE-LPN-2014-0003).

De manera muy puntual, el capítulo 5 consiste en un “levantamiento de las leyes, normativas y reglamentos existentes en materia de biomasa, de cara al aprovechamiento sostenible de la misma”, según el objetivo específico número cinco (5) del pliego de condiciones.

2 Biomasa dentro del contexto legal

Como se definió en el capítulo 2 de este estudio, *biomasa* es todo material vegetal u orgánico que pueda ser usado como fuente de energía térmica, energía eléctrica, químicos o combustibles (NREL, 2017), dentro de un marco de sostenibilidad (ver capítulo 2).

Desde el año 1967 se maneja el concepto de madera (tipo de biomasa) como fuente energética, y el decreto No. 1509, de ese año “*prohíbe el uso de la madera como combustible industrial*”. A partir de esa fecha, y por varias décadas, el enfoque normativo en relación a la madera fue frenar la disminución de la cobertura forestal y reforestar.

Treinta y tres años después, la Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales (64-00) emitida en el año 2000, establece en su artículo 159 incentivar las plantaciones forestales con fines energéticos.

El término *biomasa* es usado por primera vez en la Ley General de Electricidad No. 125-01, del 26 de julio de 2001. En el artículo 112 de dicha ley, *biomasa* se considera una fuente de energía no convencional o de energía renovable, o fuente alternativa.

A continuación, se presenta un análisis de las leyes, reglamentos y normativas que han regido los aspectos de la biomasa (principalmente madera) para su uso sostenible, desde el año 1967 hasta la fecha.

3 Antecedentes sobre el uso de biomasa

Como resultado de la disminución de la cobertura forestal en República Dominicana a partir de los años 60, una de las primeras referencias legales sobre el uso de biomasa con fines energéticos fue su prohibición. El decreto No. 1509, del 24 de julio del año 1967, *“prohíbe el uso de la madera como combustible industrial”*. También la Ley No. 211, del 8 de noviembre de ese mismo año, ordena el cierre de los aserraderos.

En esa misma década, el decreto No. 3777, del 9 de junio de 1969, elimina las autorizaciones para corte de madera, como sigue: *“Ningún permiso para corte de madera podrá ser autorizado por la Dirección General Forestal, sino en los casos excepcionales y con la previa aprobación del Poder Ejecutivo”*.

Continuaron las medidas de protección de la superficie boscosa del país en el transcurso de los años 70 y 80. La Ley No. 627, del 28 de mayo de 1977, *“declara de interés nacional el uso, protección y adquisición por parte del Estado de la tierra cordillerana”*. Se mantiene vigente el cierre de aserraderos (Ley No. 291, 28 de agosto de 1985), se incentiva el desarrollo forestal (Ley No. 290, del 28 de agosto de 1985), y se establece el Servicio Forestal Obligatorio (Ley No. 112, del 10 de diciembre de 1987).

En el año 1997, se ejecuta el Plan Nacional “Quisqueya Verde” (Decreto 138, del 21 de marzo de 1997), que inicia un proceso de acciones público-privadas de reforestación masiva en todo el país y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, (PRONATURA, 2010).

Finalmente en el año 1999, se promulga la Ley 118-99, el 9 de noviembre, y que tiene entre sus objetivos *“promover y normar la protección y el uso sostenible de los recursos forestales, estableciendo reglas que permitan la necesaria incorporación de la sociedad civil, como pilar fundamental en la gestión para el desarrollo y conservación de estos”*.

El reglamento correspondiente a la Ley 118-99, establece lineamientos sobre planes de manejo, el aprovechamiento forestal, comercio, transporte e industrialización de productos forestales. Aunque el reglamento no especifica el fin de estos productos forestales, aplicaría en principio tanto para fines de aserrío como combustible biomásico.

4 Leyes, reglamentos y normativas ambientales para el uso de biomasa

a. Ley 64-00. Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Esta ley tiene como objetivo principal *“establecer las normas para la conservación, protección, mejoramiento y restauración del medio ambiente y los recursos*

naturales asegurando su uso sostenible". Es decir, ofrece un marco general para el desarrollo de una normativa ambiental y crea el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Específicamente relacionado al plano forestal, la ley presenta como objetivo particular *"establecer los medios, formas y oportunidades para la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, reconociendo su valor real, que incluye los servicios ambientales que estos brindan, dentro de una planificación nacional fundamentada en el desarrollo sostenible, con equidad y justicia social"*.

Este objetivo particular es muy similar al establecido en la Ley Forestal 118-99, por lo cual quedó derogada al ser promulgada la Ley 64-00. Igualmente quedaron derogadas diversas leyes, así como reglamentos, decretos y normas medioambientales vigentes desde 1931 hasta la fecha de promulgación de la Ley 64-00.

El capítulo V, art. 159 de la Ley 64-00 establece el aprovechamiento de plantaciones forestales con fines energéticos, como dice a continuación:

*Art. 159. Se incentivará y favorecerá el establecimiento de plantaciones forestales comerciales con fines de aprovechamiento maderable, **energético**, industrial, alimenticio y ornamental.*

Al mismo tiempo, la Ley 64-00 reconoce en su artículo 154, que es necesaria una ley especial para normar el manejo forestal integral: *art. 154 (...) Una ley especial normará el manejo forestal integral y el uso sostenible de los recursos del bosque para los fines de su conservación, explotación (...)*

b. Reglamentos forestales (marco Ley 64-00)

La intención inclusiva de la Ley 64-00 permitió la emisión de normas y reglamentos para regir la industria forestal dominicana:

- Normas Técnicas Forestales
- Norma para el funcionamiento de la industria forestal
- Reglamento del Sistema de Autorizaciones Ambientales (ver cap.1)
- Compendio de reglamentos y procedimientos para autorizaciones ambientales de República Dominicana
- Reglamento para la gestión de los recursos forestales

Las "Normas Técnicas Forestales", subtitulada "Reglamento para el funcionamiento de la industria forestal que procesa madera en República Dominicana", fue publicada en el año 2001. Aunque esta norma se enfoca en el uso de la madera para aserrío, algunos aspectos técnicos son aplicables si el fin fuese energético,

como la restricción en el transporte de la materia prima hasta las 6:00 p.m., para contribuir a la detección de madera cortada sin autorización.

Los reglamentos para autorizaciones ambientales fueron analizados como parte del capítulo 1 de este estudio, ya que los productores de biomasa, intermediarios y compradores deben estar regulados dentro de este sistema de autorizaciones, según la magnitud de los impactos potenciales, de menor a mayor. Se enlistan a continuación (ver capítulo 1 para más detalles):

- Lista de Exclusión
- Certificado de Plantación con Derecho a Corte
- Certificado de Registro de Impacto Mínimo (categoría D)
- Constancia Ambiental (categoría C)
- Permiso Ambiental (categoría B)
- Licencia Ambiental (categoría A)

El “Reglamento para la gestión de los recursos forestales” establece lineamientos para la aplicación y cumplimiento de la Ley 64-00. Entre estas pautas que aplicarían a las fuentes biomásicas está la regulación y el manejo sostenible de los recursos forestales a través de planes de manejo (ver capítulo 1). El Plan de Manejo tiene por objeto el ordenamiento de todas las actividades de aprovechamiento de recursos y reforestación.

Otra pauta aplicable al uso de biomasa es la Carta de Ruta proveniente de planes de manejo y que *“detalla los productos forestales que se transportan desde una finca forestal a un centro de industrialización o comercialización”*.

Todos los productores de biomasa entrevistados para el presente estudio reportaron tener Certificado de Plantación con Derecho a Corte y Plan de Manejo.

5 Leyes, reglamentos y normativas energéticas para el uso de biomasa

5.1 Ley General de Electricidad No. 125-01: Ley y Reglamento de Aplicación

Esta ley de fecha 26 de julio de 2001, y modificada por la Ley No. 186-07 (6 de agosto de 2007), tiene como objetivo principal *“establecer un marco regulatorio del subsector eléctrico (...)”*. En sus artículos 7 y 8, la Ley 125-01 crea la Comisión Nacional de Energía (CNE) y la Superintendencia de Electricidad (SIE). La CNE es la *institución estatal encargada de trazar la política del Estado en el sector energía* (art. 14), y la SIE es la institución encargada de *elaborar, hacer cumplir y analizar sistemáticamente la estructura y niveles de precios de la electricidad (...)* (art. 24), entre otras atribuciones.

Como se indicó en el acápite 3 del presente capítulo, el término *biomasa* es usado por primera vez en la Ley General de Electricidad No.125-01 como fuente de energía renovable:

*Artículo 112. Las empresas distribuidoras y comercializadoras en igualdad de precios y condiciones, les darán preferencia en las compras y despacho de electricidad a las empresas que produzcan o generen energía eléctrica a partir de medios no convencionales que son renovables como: la hidroeléctrica, la eólica, solar, **biomasa** y marina y otras fuentes de energía renovable.*

*Párrafo.- Las empresas que desarrollen de forma exclusiva la generación de energía renovable, tales como: eólica, solar, **biomasa**, marina y otras fuentes alternativas, estarán exentas de todo pago de impuestos nacionales o municipales durante cinco (5) años, a partir de su fecha de instalación (...).*

Es decir, la Ley 125-01 prioriza la energía procedente de biomasa y otras fuentes renovables, para las compras y despacho de electricidad. También concede el beneficio de exención de impuestos por un período de tiempo para empresas que desarrollen de forma exclusiva estas fuentes energéticas.

5.2 Ley No. 57-07 de Incentivo a las Energías Renovables y Regímenes Especiales

Promulgada el 7 de mayo de 2007, la Ley No. 57-07 de Incentivo a las Energías Renovables y Regímenes Especiales “*constituye el marco normativo y regulatorio básico que se ha de aplicar en todo el territorio nacional, para incentivar y regular el desarrollo y la inversión en proyectos que aprovechen cualquier fuente de energía renovable y que procuren acogerse a dichos incentivos*” (artículo 2).

La ley establece tres pilares fundamentales:

1. Ámbito de aplicación
2. Incentivos generales a la producción y uso de energía renovable
3. Regímenes especiales

5.2.1 Ámbito de aplicación de la Ley No. 57-07 relacionado a biomasa

Al momento de su promulgación, esta ley fue la primera legislación que abordaba a nivel macro objetivos estratégicos relacionados a las renovables, como aumentar la diversidad energética del país, reducir la dependencia de combustibles fósiles, estimular proyectos energéticos a partir de fuentes renovables (artículo 3), entre otros.

En ese sentido, el artículo 5 -ámbito de aplicación- es inclusivo a todas las fuentes renovables, con límites de potencia para algunas de ellas. En el caso de fuentes biomásicas, este artículo incluye los siguientes acápite:

Artículo 5.- Ámbito de aplicación. Podrán acogerse a los incentivos establecidos en esta ley, (...) todos los proyectos de instalaciones públicas, privadas, mixtas, corporativas y/o cooperativas de producción de energía o de producción de bio-combustibles, de fuentes:

- e) Centrales eléctricas que como combustible principal usen biomasa primaria, que puedan utilizarse directamente o tras un proceso de transformación para producir energía (como mínimo 60 % de la energía primaria) y cuya potencia instalada no supere los 80 MW por unidad termodinámica o central;*
- f) Plantas de producción de bio-combustibles (destilerías o bio-refinerías) de cualquier magnitud o volumen de producción;*
- g) Fincas energéticas, plantaciones e infraestructuras agropecuarias o agroindustriales de cualquier magnitud destinadas exclusivamente a la producción de biomasa con destino a consumo energético, de aceites vegetales o de presión para fabricación de biodiesel, así como plantas hidrolizadoras productoras de licores de azúcares (glucosas, xilosas y otros) para fabricación de etanol carburante y/o para energía y/o biocombustibles.*

El párrafo 1 del artículo 5 indica que los límites establecidos en potencia instalada pueden ser ampliados y hasta duplicados, con la condición de que se haya instalado al menos 50 % del tamaño original solicitado.

El artículo 6 confirma que la Comisión Nacional de Energía es “la encargada de trazar la política del Estado dominicano en el sector energía” y responsable del seguimiento a la aplicación la Ley No. 57-07.

5.2.2 Modificaciones al artículo 5 de la Ley No. 57-07 relacionadas a biomasa

Aunque el reglamento correspondiente a la Ley No. 57-07 incluye a los residuos sólidos urbanos como fuentes renovables de energía, estos no fueron incluidos dentro del ámbito de aplicación de la Ley No. 57-07 (artículo 5). Otra limitante de dicho ámbito de aplicación para las fuentes biomásicas, es el enfoque a producción de energía eléctrica, cuando la biomasa se puede aprovechar para producir energía térmica.

Estas situaciones impedían que proyectos de energía renovable a partir de residuos sólidos o proyectos que contemplaran usar biomasa para producir energía térmica, se beneficiaran de los incentivos de la Ley No. 57-07.

Por tanto, se promulgó la **Ley No. 115-15** que modifica el artículo 5 de la Ley No. 57-07. Los cambios que aplican a fuentes renovables a partir de biomasa, corresponden al acápite (e), en el cual se amplió el ámbito de aplicación a la producción de cualquier tipo de energía a partir de biomasa. En el mismo acápite se aumentó el máximo de potencia instalada a 150 MW. También se redujo de un 60 % a un 50 % el porcentaje mínimo de biomasa primaria que debe ser utilizada como fuente energética.

Estos cambios se hicieron extensivos a los residuos sólidos urbanos. En el acápite (j), se indica que los proyectos para la producción de energía eléctrica a partir de residuos sólidos “podrán ser desarrollados con tecnología de cogeneración o híbridos con gas natural, hidrógeno u otro combustible...”

5.2.3 Incentivos generales en la Ley No. 57-07

La exención de impuestos de importación y la exención del impuesto sobre la renta sobre ingresos derivados de la generación de energía a partir de fuentes renovables (artículos 9 y 10, respectivamente), fueron los principales incentivos establecidos en la Ley No. 57-07.

El artículo 9 fijó una exención del 100% de todo tipo de impuestos, incluyendo ITBIS, a la importación de equipos, maquinarias y accesorios por empresas e individuos para la producción de energía a partir de fuentes renovables. También quedan exentos de impuestos los equipos de transformación, transmisión e interconexión.

Entre los equipos con exenciones relevantes a la producción de energía y biocombustibles a partir de biomasa están las turbinas de vapor de potencia y equipos para la producción de alcohol combustible y biodiesel.

Los proyectos comunitarios que deseen desarrollar fuentes de energía renovables a pequeña escala (hasta 500 kW) tienen incentivos vigentes bajo la Ley No. 57-07 para tener acceso a financiamiento por un monto de hasta el 75 % del costo total de la obra e instalación, a las tasas más bajas del mercado (artículo 13).

5.2.4 Modificaciones a los incentivos generales en la Ley No. 57-07

Mientras las exenciones descritas en el artículo 9 siguen vigentes, la exención del impuesto sobre la renta del artículo 10 quedó eliminada con la promulgación de la **Ley No. 253-12** sobre el Fortalecimiento de la Capacidad Recaudatoria del Estado

para la Sostenibilidad Fiscal y el Desarrollo Sostenible, del 13 de noviembre de 2012.

El artículo 12 contempló un incentivo fiscal a los autoprodutores de energía a partir de fuentes renovables de hasta un 75 % del costo de la inversión como crédito único al impuesto sobre la renta. Este beneficio se redujo a un 40 % con la promulgación de la Ley No. 253-12.

Entre otros incentivos en la Ley No. 57-07 está la reducción de impuestos al financiamiento externo a un 5 % (artículo 11), y certificados y/o bonos por reducción de emisiones contaminantes (artículo 14).

La tabla 1 resume todos los incentivos vigentes a las energías renovables de fuentes biomásicas.

Tabla 1. Incentivos a las energías renovables de fuentes biomásicas.

Incentivos vigentes al 2018 a las energías renovables
Exención del 100% de impuestos, incl. ITBIS, para equipos, maquinarias y accesorios para la producción de energía a partir de fuentes renovables.
Exención del 100% de impuestos a los equipos de transformación, transmisión e interconexión.
Crédito al impuesto sobre la renta de 40 % para los autoprodutores.
Financiamiento de hasta un 75 % del costo total de la obra e instalación para proyectos comunitarios (hasta 500 kW).
Reducción de impuestos al financiamiento externo a un 5 %
Certificados y/o bonos por reducción de emisiones contaminantes.

5.2.5 Regímenes especiales

Según la Dirección General de Impuestos Internos de República Dominicana, los regímenes especiales *“son normativas dirigidas a sectores económicos que por su naturaleza o actividad requieren de incentivos para el desarrollo de sus operaciones. Estos incentivos son otorgados en forma de exenciones al cumplimiento de ciertas obligaciones tributarias”*.

La Ley No. 57-07 contempla dos regímenes especiales:

- Régimen especial de producción eléctrica
- Régimen especial de los biocombustibles

Bajo esta ley, la producción eléctrica estará dentro de régimen especial cuando sus fuentes energéticas sean renovables y con una potencia instalada dentro de los límites establecidos en el artículo 5. La Ley No. 57-07 dispone lineamientos para las concesiones, en relación a sus derechos y obligaciones, manejo de las cuotas y excedentes de electricidad.

El régimen especial de los biocombustibles manda que los combustibles fósiles que se utilicen en vehículos de motor deben ser mezclados con biocombustibles, en proporciones graduales indicadas por la CNE. Las exenciones de impuestos sobre la renta bajo este régimen especial de los biocombustibles quedaron derogadas con la Ley 253-12.

6 Limitaciones de las leyes vigentes para regular el mercado de biomasa

a. Desprotección para las fincas energéticas, productores e intermediarios de biomasa en Ley No. 57-07

La Ley No. 57-07 y modificaciones presenta importantes incentivos para la producción de energía a partir de biomasa, pero solo se han beneficiado de la misma los compradores y usuarios de biomasa. Esto así, porque el artículo 9 sobre la exención del 100 % de todos los impuestos a la importación de equipos, maquinarias y accesorios, solo aplica a la producción de energía.

A pesar de que el acápite (g) del artículo 5 indica que las fincas energéticas caen dentro del ámbito de aplicación de la ley, la Ley No. 57-07 no incluye incentivos para el fomento de fincas energéticas.

Los **productores** de biomasa quedaron desprotegidos para la exención de impuestos de equipos, maquinarias y accesorios necesarios para procesar la materia prima para su venta. Los **intermediarios** dedicados a procesos de densificación de biomasa también resultaron desfavorecidos de la misma forma.

Por ejemplo, no están exentos de impuestos los equipos de corte, tala, molienda y densificación (si aplica) como las excavadoras, motosierras, cabrestantes (*winche*), trituradoras (*chipper*), brazos mecánicos, etc.

b. Vencimiento de la Ley No. 57-07 en el año 2020

A pesar de que República Dominicana posee un gran potencial biomásico (capítulo 4), la única forma de fomentar proyectos de energía renovable es mediante la actualización y extensión de la Ley No. 57-07 sobre el Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales. Esta ley vence en el año 2020.

c. Necesidad de una Ley Especial Forestal

La Ley No. 64-00 pretende ser inclusiva en el desarrollo de una normativa ambiental para la conservación, mejoramiento y restauración del medio

ambiente y los recursos naturales. Es por esta razón que quedó derogada la Ley Forestal 118-99.

A su vez, la misma Ley No. 64-00 indica que es necesaria una ley especial para normar el manejo forestal integral (art. 154).

Al año 2018, este proyecto de ley sigue en discusión en el Congreso Nacional. Una Ley Especial Forestal es necesaria para establecer incentivos fiscales y garantizar la seguridad jurídica de las inversiones forestales, y poder así captar recursos internacionales para el desarrollo forestal (Periódico Hoy, 2007).

7 Recomendaciones

- Los incentivos fiscales a las energías renovables al 40 % son insuficientes y deben llegar al 75 %. Se deben aplicar los mismos incentivos para los equipos de corte, tala y molienda.
- Permitir subsidio de combustibles para los productores e intermediarios de biomasa.
- Seguir los lineamientos del párrafo II del artículo 8 de la Ley 57-07, que establece que la Comisión Nacional de Energía “dispondrá las asignaciones necesarias para el adecuado equipamiento y capacitación del Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI); así como de otras instituciones similares, oficiales o académicas, con el objetivo de que estén en condiciones de proporcionar el soporte científico y tecnológico adecuado, tanto para los proyectos de investigación y desarrollo en la materia que se impulsen, como para la evaluación y la fiscalización de los proyectos autorizados.

Referencias

1. Ley No. 118-99. Ley Forestal. Promulgada el 23 de diciembre de 1999.
http://www.cedaf.org.do/eventos/forestal/Legislacion/Dominicana/Ley_118-99.pdf. Se extrajo la información el 1 de febrero de 2018.
2. Propuesta Metodológica para la Evaluación del Plan Nacional Quisqueya Verde. Programa para la Protección Ambiental. PRONATURA. Diciembre de 2010.
http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00JJ4R.pdf. Se extrajo la información el 1 de febrero de 2018.
3. Ley No. 64-00. Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales. Promulgada el 18 de agosto de 2000. <http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/09/Ley-No-64-00.pdf>. Se extrajo la información el 1 de febrero de 2018.
4. Normas Técnicas Forestales – Reglamento para el funcionamiento de la industria forestal que procesa madera en República Dominicana. 2001. Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
[file:///C:/Users/Joseatilio/Downloads/Reglamento-para-el-Funcionamiento-de-la-Industria-Forestal-que-Procesa-Madera-en-Rep%C3%ABlica-Dominicana%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Joseatilio/Downloads/Reglamento-para-el-Funcionamiento-de-la-Industria-Forestal-que-Procesa-Madera-en-Rep%C3%ABlica-Dominicana%20(2).pdf)
Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.
5. Reglamento del Sistema de Autorizaciones Ambientales (ver cap.1). 2011. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<http://www.fondomarena.gob.do/images/docs/mediateca/reglamentos/reglamento-de-autorizaciones-ambientales.pdf>. Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.
6. Compendio de Reglamentos y Procedimientos para Autorizaciones Ambientales de República Dominicana. 2014. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<http://ambiente.gob.do/files/REG-03.pdf>. Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.
7. Reglamento para la Gestión de los Recursos Forestales. 2006. Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
[file:///C:/Users/Joseatilio/Downloads/Reglamento-para-la-Gesti%C3%B3n-de-los-Recursos-Forestales%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/Joseatilio/Downloads/Reglamento-para-la-Gesti%C3%B3n-de-los-Recursos-Forestales%20(5).pdf). Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.
8. Ley General de Electricidad No. 125-01 y su Reglamento de Aplicación. 2012. Superintendencia de Electricidad. <http://www.sie.gob.do/images/sie-documentos-pdf/leyes/LeyGeneraldeElecctricidadNo.125-01.pdf>. Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.
9. Ley Número 57-07 sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales. Reglamento. Decreto 202-08. 2012.
<http://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2015/05/REGLAMENTO-LEY-57-07.pdf>. Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.

10. Ley No. 115-15. Ley que modifica el artículo 5, de la Ley No. 57-07, de Incentivo al Desarrollo de las Energías Renovables y sus Regímenes Especiales. 2015.
<http://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2016/11/Ley-No.-115-15-que-modifica-el-art-5-de-la-ley-57-07.pdf>. Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.
11. Ley No. 253-12 sobre el Fortalecimiento de la Capacidad Recaudatoria del Estado para la Sostenibilidad Fiscal y el Desarrollo Sostenible. 2012. Dirección General de Impuestos Internos.
<https://www.dgii.gov.do/legislacion/leyesTributarias/Documents/253-12.pdf>. Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.
12. RD sin Ley Forestal Sectorial. 2007. Periódico Hoy, edición digital.
<http://hoy.com.do/rd-sin-ley-forestal-sectorial/>. Se extrajo la información el 6 de febrero de 2018.