



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-177

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
**Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017**  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Utilización de la Biomasa Forestal en la generación de energía en Chile, antecedentes de gestión y aprovechamiento

PINILLA SUÁREZ, J.C.<sup>1</sup>, LUENGO VERGARA, K.<sup>1</sup> y NAVARRETE TORRES, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Forestal, Concepción, Chile.

### Resumen

En Chile se reconocen las consecuencias sobre el bienestar de la población, la industria, la economía y de los problemas medioambientales derivado del incremento de la demanda energética que sustenta el crecimiento económico, en base a combustibles fósiles, escenario donde las Energías Renovables No Convencionales, ERNC, y la biomasa forestal representa una opción como fuente de abastecimiento de energías primarias. Chile se ha fijado como objetivo obtener proporciones significativas de su energía a partir de ERNC, existiendo a la fecha un aumento de la demanda por biomasa forestal, para su uso tanto a nivel industrial como domiciliaria. Bajo este escenario se ha comenzado a desarrollar la investigación acerca de las especies más apropiadas y la silvicultura requerida para la gestión y aprovechamiento eficiente de la biomasa forestal, de manera de poder ofrecer al mercado flujos estables de materia prima para la generación de energía. El sector forestal chileno tiene un potencial en el campo energético con un positivo impacto económico, social y ambiental. El trabajo presenta los principales antecedentes de la utilización de la biomasa forestal para la generación de energía en Chile, y de la investigación que el Instituto Forestal y otras entidades realiza como soporte a este desarrollo.

### Palabras Claves

Manejo, Plantaciones, Bioenergía, Utilización, Propietarios

## 1. Introducción

La inseguridad en el suministro de energía, el aumento de su demanda por la actividad industrial y la inestabilidad del valor de la energía derivada de combustibles fósiles, ha motivado a adoptar estrategias en materia de Energías Renovables No Convencionales (ERNC).

En todo el mundo y, especialmente, en los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), como lo es Chile, los gobiernos, los ciudadanos y las empresas concuerdan en que es poco seguro depender de combustibles fósiles para la producción de energía, a lo que se agrega su suministro limitado y sujeto a fuerzas políticas y económicas. Los costos relacionados con la salud, el medio ambiente y el clima, derivados del uso de combustibles fósiles, también son elevados (NRDC, 2011).

Un ejemplo de lo anterior, es el aumento en Chile de plantas generadoras de energía en base a biomasa forestal, muchas de ellas en reemplazo de combustibles fósiles, ya sea para apoyar procesos productivos como para abastecer el Sistema interconectado central. Ello ha provocado un aumento de la demanda por biomasa forestal, utilizando inicialmente desechos de aserraderos y de la actividad silvícola, entre otros, no existiendo una forma de generación exclusiva para dicho fin.

En Chile no es desconocido la problemática energética y su impacto sobre el bienestar de la población, la industria y la economía. Como consecuencia del incremento de la demanda energética que sustenta el crecimiento económico, se observan las diferentes fuentes que pueden diversificar su matriz energética. Entre estas opciones se encuentran las Energías Renovables No Convencionales, ERNC y es en este ámbito donde la biomasa es la mayor fuente de abastecimiento de energías primarias. En Chile, la biomasa representa aproximadamente del 15% al 20% del consumo total de energía en el país (14 millones de m<sup>3</sup>) utilizados principalmente en calefacción, cocción de alimentos y usos industriales.

En este sentido las “plantaciones para energía” constituyen una de las opciones que desde el punto de vista económico y ambiental pueden ser una respuesta para afrontar los nuevos requerimientos y escenarios energéticos basados en el uso de biomasa. Ésos bosques tienen como objetivo abastecer en el corto plazo y en forma sustentable, la creciente demanda de biomasa para la generación de energía requerida para el desarrollo de los procesos productivos de la empresa. Por otro lado, las plantaciones para energía, pueden ser destinadas a la producción de leña para uso doméstico y comercial, considerando la alta demanda que existe en Chile y/o su integración a otros procesos como es la producción de pellets, entre otras. Ejemplo de ello es el caso de Alemania, Finlandia, Irlanda, Nueva Zelandia o España, líderes en la utilización de biomasa forestal para la generación de energía. (BIOFRAC 2006, citado por Baettig *et al.*, 2010).

El año 2013 Chile registró precios de electricidad para el sector residencial más elevados que el promedio de los países de la OECD, siendo la meta al año 2050 que Chile se encuentra entre los 3 primeros con menores precios promedio en la cuenta de luz. Para dicha meta se requiere de *una política de ciencia, tecnología e innovación en energía e incrementar la competencia en el mercado de generación*. En este proceso el estado de Chile ha definido que al año 2035 al menos el 60% de la generación eléctrica nacional provenga de energías renovables, aumentando al 70% para el año 2050 (Venegas, 2016).

Respecto a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) actualmente se encuentran en operación en Chile, 2.510 MW de potencia, correspondientes al 12,5% de la capacidad instalada a nivel nacional, con un desarrollo de la energía solar, eólica y derivada de la biomasa, principalmente. Además durante el mes de noviembre 2015 se reconocieron 594,9 GWh de generación de energía en base a ERNC lo que equivale al 9,6% del total de energía generada en el país el mismo mes (Generadoras de Chile A.G. 2016).

La matriz energética de Chile está compuesta principalmente por combustibles fósiles que se deben importar y sobre los cuales existe incertidumbre y variabilidad respecto de su precio y disponibilidad, siendo afectado por las fluctuaciones del precio internacional del petróleo y los problemas de abastecimiento del gas natural. Por otro lado, a partir de los años 80, el sistema eléctrico de Chile comenzó a enfrentar problemas crecientes debido al precio y disponibilidad de recursos fósiles, a lo que se agregó la dependencia de la generación hidroeléctrica, que debido a las variaciones climáticas, se tradujo en mayor inseguridad en el suministro eléctrico. Respecto del consumo de la biomasa como calefacción domiciliaria, esta se utiliza fundamentalmente a través de estufas de combustión lenta, con un incremento en el uso de pellet (Figura 1).



Fuente: Encuesta Consumo de leña en principales ciudades de la Región del Biobío, CONAF, 2015

Figura 1. Fuentes energéticas y artefactos para calefacción

El sector forestal en Chile genera un elevado volumen de desechos provenientes de la industria y la actividad silvícola, utilizando este material como recurso energético renovable para autoabastecimiento eléctrico mediante generación propia y cogeneración de calor para sus procesos industriales. Sin embargo, existen numerosos productores de pequeña y mediana escala que no utilizan el potencial de los desechos forestales debido a no poseer la tecnología necesaria o desconocer parámetros básicos del negocio asociado (Bellolio y Karelovic, 2011). Esta fuente de energía es particularmente atractiva debido a su aporte en la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, la reducción del volumen de desechos en vertederos, como también para la disminución de la dependencia de otras fuentes de energía no renovables. Esto último es importante para que Chile pueda ampliar y diversificar su matriz energética, altamente dependiente de los mercados externos (Bellolio, y Karelovic, 2011).

El desarrollar el uso de la biomasa forestal como fuente de energía, representa al país una oportunidad para dar respuestas a las demandas energéticas actuales, a través de instituciones relacionadas con la investigación, desarrollo tecnológico y empresas del rubro energético y forestal.

Desde la perspectiva económica, la energía proveniente de la biomasa forestal tiene un vasto potencial en Chile teniendo como fuentes del recurso el manejo del bosque nativo, las plantaciones forestales dendroenergéticas, y los residuos de los procesos industriales y silvícolas (Chile Forestal, 2009); Pinilla y Navarrete, 2011).

En este escenario, el Instituto Forestal de Chile tiene una línea de investigación en el ámbito del manejo y diversificación de sistemas productivos forestales, orientado a establecer un programa de mediano plazo enfocado en el estudio de las opciones, necesidades y caracterización para el uso de plantaciones forestales como fuentes de biomasa para la generación de energía.

## 2. Objetivos

- ⇒ Realizar investigación que permita fortalecer y desarrollar opciones forestales para el uso de la biomasa en la generación de energía, que permitan asegurar la oferta de biomasa proveniente de plantaciones de rápido crecimiento.

## 3. Metodología

La investigación desarrollado por INFOR, se basa en una permanente recopilación de antecedentes sobre especies, su caracterización energética, la gestión de plantaciones de corta rotación para generación de biomasa para su uso en energía y/o nuevos esquemas de manejo con fines energéticos, además, de la mantención de ensayos en terreno, evaluación y análisis comparativos. Las especies en evaluación son establecidas en unidades experimentales diseñadas para monitorear su adaptación y crecimiento en distintas situaciones de suelo y clima, y bajo diferentes espaciamientos, registrando en forma permanente las tasas de crecimiento según estos factores y la productividad en base a volumen y materia seca por unidad de superficie, entre otras. Además, estas unidades son utilizadas en actividades de difusión y transferencia. La investigación se enfoca en el análisis y generación de antecedentes técnicos y difusión de la información y herramientas asociadas a la gestión de potenciales bosques a establecer para el uso de la biomasa con fines energéticos, ya sea industrial o domiciliaria, como opción de ERNC.

## 4. Resultados

### 4.1 Levantamiento de línea de base: Uso actual de la biomasa para energía en Chile

En Chile la biomasa representa 466 MW de capacidad instalada (Figura 2), cuyo consumo principal se relaciona con la industria y la minería (CNE, 2015; M. de Energía 2016; Venegas, 2016).

### Generación Eléctrica en Chile 2014

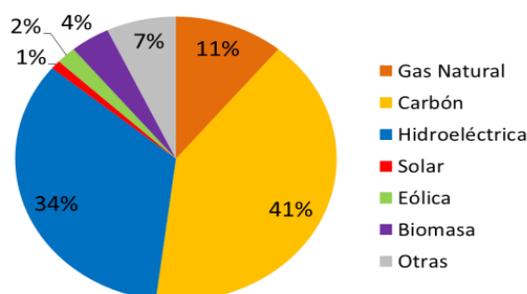


Figura 2. Capacidad de generación neta instalada por tecnología

Una de las principales fuentes de materia prima para obtener biocombustibles sólidos es el acopio de los residuos de la industria de conversión de la madera, de cultivos agrícolas y de faenas silvícolas o cosecha forestal. El año 2006 se estimaba que las 34.000 hectáreas de *Eucalyptus* spp. y las 70.000 hectáreas de *Pinus radiata* D. Don que se cosecharon en Chile podían proveer 3,1 millones de toneladas de biomasa lignocelulósica, principalmente restos de fuste y ramas (Campino 2006). En cuanto a los residuos de la industria de conversión mecánica, se estima un potencial de 3,2 millones de toneladas, conformadas principalmente de aserrín, corteza, despuntes y viruta (CNE/GTZ/INFOR 2007). Actualmente gran parte de estos residuos ya están capturados para procesos energéticos, no estando disponibles para su uso en nuevos emprendimientos. Las energías térmica (vapor) y eléctricas resultantes de la combustión de la biomasa, son requeridas para los procesos industriales, donde los excedentes de energía eléctrica son comercializados al sistema interconectado central.

En Chile la participación de la biomasa para Generación de Energía Eléctrica alcanza al 27,7% de las ERNC que se han inyectado al sistema durante el 2016, contando con 20 centrales a Biomasa para Generación Eléctrica y 38 calderas operativas que utilizan pellets o astillas mayores a 100 kW,. En ambas situaciones el mayor porcentaje de instalaciones se ubica en la Región del Biobío, la región forestal del país. (Ministerio de Energía, 2016) (Figura 3).

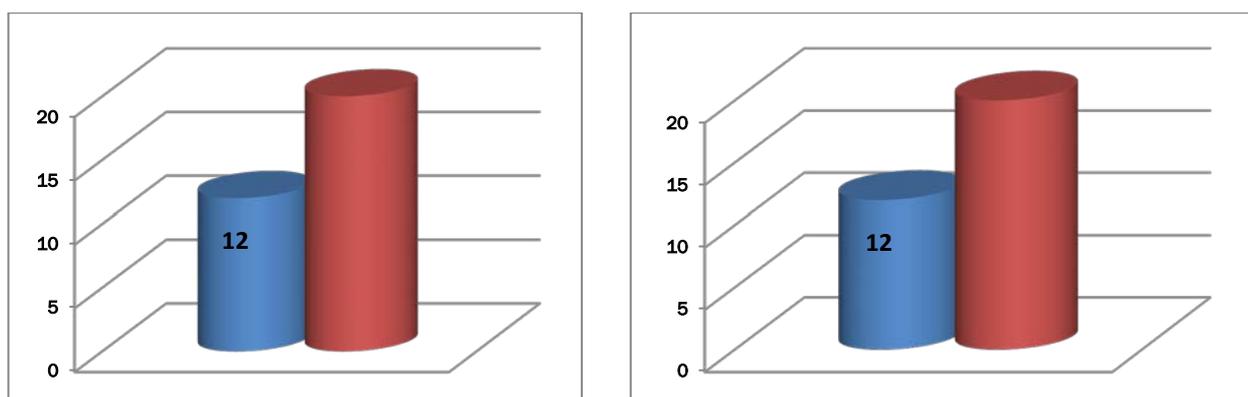


Figura 3. Centrales a biomasa (izquierda) y calderas operativas que utilizan pellets o astillas mayores a 100 kW (derecha) en Chile

La biomasa para energía en Chile está en permanente proceso para mejorar la calidad energética, con precios de mercado cercano a los 5 a 10 USD/MMBTU para un contenido de Humedad superior a 55% b.h. Se estima que el transporte de la biomasa no debe sobrepasar los 200 km, fomentando el aprovechamiento de calor residual en origen. El costo variable de algunas

Centrales a Biomasa en Chile se sitúan entre los 30 a 59 USD/MWh con un Factor Consumo Esperado de 0,8 BDMT/MWh (Pacheco, 2016).

Sin embargo, para esto es necesario definir con claridad donde localizar este tipo de instalaciones, en que se va a utilizar, fuentes de abastecimiento potencial y conocer el verdadero volumen de biomasa existente que se pueden generar anualmente. En general las plantas de generación de energía en base a biomasa en Chile se caracterizan por tener un alto porcentaje de abastecimiento a partir de terceros, requiriendo de comprar a base de BDMT con parámetros de calidad referidos a materia seca (%) porcentaje de cenizas y la granulometría (Figura 4).



Figura 4. Abastecimiento de biomasa para plantas de generación y producción de pellets en Chile

Las plantaciones bioenergéticas son usadas en España, Alemania, Estados Unidos, Inglaterra, Suecia, Nueva Zelanda y Brasil, entre otros, como fuente de abastecimiento de biomasa para la generación de energía térmica y/o eléctrica y para la generación de pellets y/o la producción de leña de uso doméstico/industrial. Estas plantaciones se establecen con especies de rápido crecimiento, en períodos de corta rotación y elevados rendimientos, siendo una fuente segura de energía renovable para el país, lo que garantizaría además, una actividad económica para los productores, beneficios al medio ambiente y a la economía local, utilizando terrenos marginalizados por la producción agrícola o forestal. En este marco, el balance ambiental es positivo dado que los gases de su combustión, son previamente capturados en el proceso biológico del crecimiento.

Estas plantaciones se caracterizan por el establecimiento de especies latifoliadas en espaciamientos relativamente densos (2.000 - 10.000 árb/ha) con una silvicultura intensiva que implica preparación de suelo, fertilización y control de malezas con rotaciones que van de 2 a 4 años. Se requiere de un suelo apto para el crecimiento de la especie de rápido crecimiento, conocimiento técnico y práctico, rendimiento calórico y densidad de la madera (Facciotto, 2009) (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los sistemas de corta rotación (SRC) en Europa

<i>Factor/Especie</i>	Escandinavia, Gran Bretaña e Irlanda	Europa Central
	<i>Sauce</i>	<i>Álamo</i>
• Densidad de Plantación	18 a 25.000	10 a 15.000
• Rotación (años)	3 a 4	1 a 3
• Producción (t/ha)	30 a 60	20 a 45
• Humedad (%)	50 a 55	50 a 55

Por lo anterior, se ha definido que la investigación a desarrollar en Chile y las necesidades en este ámbito se enfocan en la mayor seguridad e independencia energética, menor degradación ambiental, asegurar el abastecimiento de los proyectos energéticos en desarrollo o por desarrollar (Flujos), eficiencia financiera y energética, inversión en I+D y marcos regulatorios, entre otros.

#### 4.2 Especies de interés bioenergético para Chile

Las especies vegetales clasificadas como dendroenergéticas se caracterizan por poseer una alta tasa de crecimiento, la posibilidad de regenerar de tocón y de un adecuado poder calorífico. INFOR e instituciones en Chile disponen de antecedentes técnicos de especies forestales de interés,

destacando *Acacias (dealbata, melanoxylon, mearnsii, saligna)*, Eucalipto (*nitens, globulus, camaldulensis, cladocalyx, sideroxylon*) y variedades de *Salix* (Tabla 2).

Tabla 2. Especies en evaluación en Chile para su utilización como Biomasa para energía

Especie	Observación
<b>Sauce</b> ( <i>Salix sp.</i> )	En Chile, en <i>S. viminalis</i> con fines de cestería se han obtenido rendimientos de hasta 12 ton/ha/año material seco. El poder calórico determinado para maderas y cortezas de distintas procedencias de <i>Salix</i> varía entre 3,91 a 4,36 kcal/gr (Durán, 2002). Recientes estudios de INFOR concuerdan con estos valores, obteniendo un valor de 4.300 Kcal/k, lo que confirma la aptitud de esta especie para su uso en la generación de energía (Pinilla y Navarrete, 2011), con estimaciones de productividad cercanas a las 30 ton MS/ha/año.
<b>Acacia sp.</b>	<i>Acacia dealbata</i> y <i>Acacia mearnsii</i> , presentan en Chile un alto grado de adaptabilidad edafoclimática, crecimiento y diferentes de productos a obtener a través de un manejo forestal adecuado, incluida la bioenergía (Pinilla 2000; Pinilla, 2005; Pinilla y Navarrete, 2011). <i>Acacia dealbata</i> es una especie promisoría, siendo apreciada para su uso como leña y carbón, sin que existiesen estudios precisos acerca de su caracterización energética, ni menos de modelos tecnológicos que optimicen su utilización en energía. El Poder Calorífico de <i>Acacia dealbata</i> , registró en Chile valores promedio de 4.034,71 y 3.636,65 Kcal/kg para el Poder Calorífico Superior e Inferior, respectivamente, en muestras de árboles de entre 4 y 6 años. Los resultados del estudio son concordantes con información bibliográfica existente, y similar a especies forestales nativas que crecen en Chile (Pinilla y Hernández, 2010).
<b>Paulownia e Híbridos</b>	El interés en <i>Paulownia</i> radica en su naturaleza de crecimiento rápido, especialmente en España y Reino Unido. Igual situación se plantea en Chile, con un interés por invertir en plantaciones con esta especie para su uso como biomasa dendroenergética. Los resultados aún no son concluyentes.
<b>Miscanthus sp.</b>	Se está desarrollando un programa de investigación del cultivo y la selección de variedades con potencial en diferentes áreas climáticas de la zona central de Chile.
<b>Álamo</b> ( <i>Populus sp.</i> )	En Chile actualmente existen plantaciones de álamo destinadas principalmente a la industria de la manufactura, establecidas en suelos profundos y con riego, plantados en densidades que varían entre 750 - 1.700 árb/ha con un periodo de rotación entre 6 y 12 años. Su uso en bioenergía se ve particularmente posible en áreas frías del sur del país utilizando especies y variedades adaptadas a estas zonas.
<b>Eucalyptus</b>	<i>Eucalyptus nitens</i> y el manejo de retoños del <i>Eucalyptus globulus</i> presentan una alta tasa de crecimiento inicial (Pinilla, 2005), siendo posible su uso para la generación de biomasa con fines dendroenergético, aprovechando cortos ciclos de corta y los residuos del manejo intensivo de <i>E. nitens</i> . La investigación desarrollada por INFOR ha ratificado por un lado los rendimientos obtenidos a temprana edad de estas.

Estas especies permiten obtener un recurso constante a través del tiempo, teniendo entre otros efectos positivos la disminución de la erosión y sus efectos negativos, la degradación y compactación de los suelos, preservando, en definitiva el patrimonio del país (Bellolio y Karelovic, 2011; Pinilla et al., 2016). Su utilización requiere del desarrollo de modelos tecnológicos de disponibilidad y sustentabilidad que optimicen su utilización. Por ello, se están realizando acciones para determinar el efecto en la generación de biomasa para bioenergía según diferentes especies, sitios, espaciamientos iniciales, área geográfica, y edades de cosecha, junto con elementos de gestión, la caracterización de la biomasa y los requerimientos de los demandantes para procesos de generación eléctrica o térmica.

En relación con la investigación en desarrollo en Chile y los requerimientos para el uso de la biomasa forestal, se trabaja en obtener respuestas a una serie de interrogantes, como son: desarrollo de modelos de estimación de materia seca anual, curvas de densidad básica según especie, edad y zona de crecimiento, contenido de C después de la cosecha, contenido de Humedad, Poder Calorífico, contenido de cenizas y requerimientos a cumplir (procesos y legislación).

#### 4.3 Unidades experimentales

INFOR diseñó e instaló ensayos que permiten analizar situaciones de crecimiento y capacidad dendroenergética de diferentes especies y sitios, como apoyo a las decisiones a tomar en el tema de la disponibilidad de elementos que fortalezcan la matriz energética del país y de cada región.

Estos antecedentes permiten avanzar hacia la definición de superficies y flujos anuales de biomasa requeridos para abastecer plantas generadoras de energía (térmica/eléctrica). De los estudios iniciales se concluye que para el abastecimiento de la biomasa anual necesaria para el funcionamiento de una planta de 6 MW bajo diferentes escenarios, se necesitan de entre 2.000 a 3.500 ha según especie y sitio (Tabla 3).

Tabla 3. Biomasa anual requerida para abastecer una planta de 6 MW bajo diferentes escenarios, bosque dendroenergético (PD) y tradicional (PT) para diferentes especies

Especie	Ton/ha biomasa verde	MWh/ha eficiencia 29%	IMA MWh/ha eficiencia 29%	Ha cosecha anual para abastecer	Ton verdes año biomasa requerida	BDMT año biomasa requerida	Ha totales requeridas
<i>Acacia dealbata</i> PD 5 años	150	97,1	19,4	486,9	73.256	37.175	2.434
<i>Eucalyptus nitens</i> PD 5 años	250	125,9	25,2	375,6	86.380	38.501	1.878
PT 12 años	504	303,2	25,3	155,9	78.587	38.176	1.871
<i>Eucalyptus globulus</i> PD 5 años	160	90	18	525,3	84.054	39.731	2.627
PT 12 años	264	164,6	13,7	287,3	75.846	38.413	3.448
<i>Salix</i> PD 5 años	150	97,1	19,4	486,9	73.028	37.099	2.454

Con el propósito de resguardar el estado de los ensayos, que a la fecha suman 16 y además, obtener información de crecimiento, se realiza un programa permanente de mantención y evaluación (Figura 5 a 8). Los ensayos monitoreados, consideran diferentes espaciamientos iniciales, condiciones de sitio y especies para generación de biomasa para energía, evaluando su crecimiento y posteriormente, la caracterización de la biomasa y estudios de logística y rentabilidad.

Los resultados obtenidos son coincidentes en que espaciamientos de 1x3m (3.333 arb/ha), 5.000 (1x2m) y 2.500 arb/ha (2x2m), serían los indicados para generación de biomasa para energía en cortas rotaciones. El análisis de estos ensayos permite determinar con que densidades iniciales es posible obtener los mayores diámetros, lo que influye junto con la altura, en un mayor valor obtenido en volumen en edades tempranas y con ello en la biomasa seca total disponible.

Es necesario agregar que los resultados en biomasa seca (MS/ha) según especie, edad y espaciamiento inicial, aportan antecedentes validados acerca de un parámetro que incide directamente en la capacidad y eficiencia de la generación de biomasa para su uso en energía.



Figura 5. *Acacia dealbata* a los 1,6 años (izquierda) y 4 años (derecha), *Eucalyptus nitens* 2 años



Figura 6. Ensayos para dendroenergía: *Eucalyptus camaldulensis*; *Salix*; *Acacia dealbata* y Acacias para energía



Figura 7. Ensayo especies y espaciamientos para Bioenergía. Izquierda: Unidad Panguipulli utilizando distintas especies a los 4 años; Centro: Unidad Los Sauces, especie *Acacia mearnsii* a los 3 años, Derecha: Unidad *Eucalyptus globulus* de monte bajo, Maule, 5 años

Sin embargo, al analizar la cantidad de volumen y biomasa generado por cada espaciamiento utilizado, las conclusiones pueden variar. Para la comparación de los resultados obtenidos se emplea un estimador de biomasa dado por:  $DAP^2$  (m) x H (m) x Densidad Real (árboles/ha), expresado en  $m^3/ha$ . Evidentemente es un índice para comparación, no constituye en volumen real. Este índice de Biomasa permite obtener una estimación comparativa entre los tratamientos en relación a la productividad obtenida según el año de evaluación entre diferentes ensayos y sitios (Figura 8 y 9).

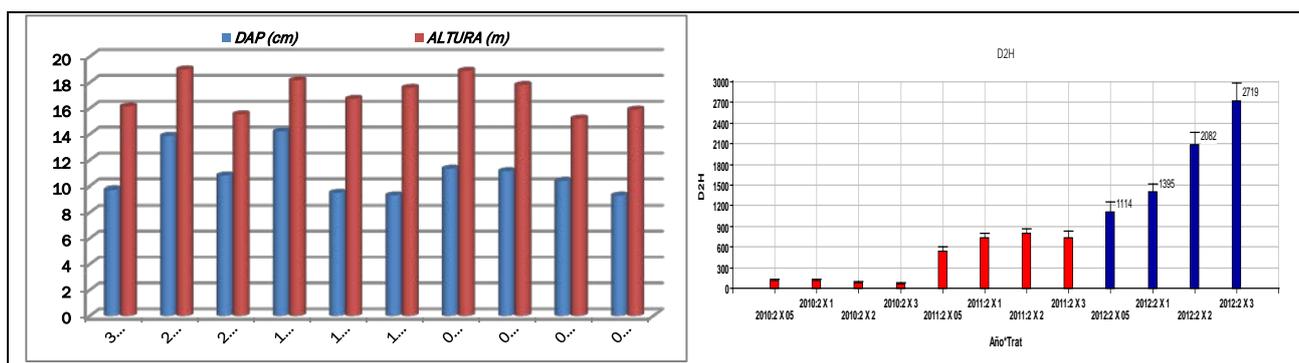
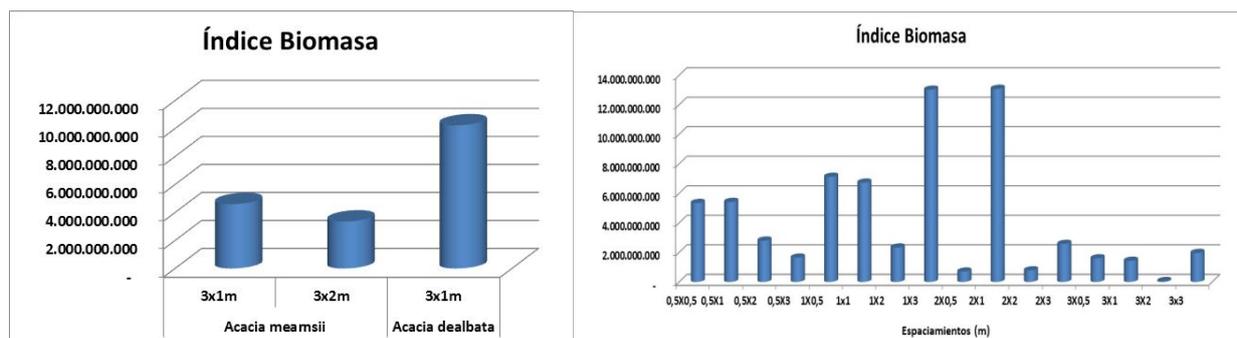


Figura 8. Resultados según espaciamiento, evaluación 2016 (5 años) ensayo bioenergía con *Acacia dealbata* El Carmen (izquierda) y ensayo de espaciamiento y biomasa en *Acacia dealbata* Retiro (4 años)



Desde este tipo de ensayo es necesario obtener antecedentes de volumen real y materia seca por hectárea (ODT/ha), en donde se ha visualizado que cerca de un 50% del peso verde, corresponde a materia seca, considerando además aspectos de eficiencia técnico económica en la cosecha del material según el volumen, de modo de poder seleccionar el espaciamiento más conveniente para su uso en bioenergía. En estudios previos, se indica que rodales naturales generaron resultados cercanos a las 40 toneladas de materia seca por hectárea (40 ODT/ha).

## 5. Discusión

Se reconoce en el país la creciente demanda energética y la inseguridad de los escenarios para su suministro, por lo que una de las soluciones es considerar las opciones que entregan las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Además de la energía solar y eólica, la biomasa, constituye una de las opciones más importantes desde el punto de vista económico y ambiental.

Para avanzar la generación de este conocimiento en Chile, se requiere de líneas investigación y desarrollo de la biomasa como ERNC; y contar con proyecciones de demanda en cuanto al suministro y su uso como energía; la proyección de oferta y disponibilidad de biomasa y además, antecedentes técnicos y de gestión de especies forestales dendroenergéticas para el país.

INFOR en su búsqueda de opciones dendroenergéticas define las Plantaciones Bioenergéticas con turnos de cosecha reducidos, alta biomasa disponible, de calidad adecuada, sustentable y a un costo razonable. Una premisa muy importante es que ellas no utilicen suelos de aptitud agrícola y que se debe identificar la especie más acordes según la localización geográfica. Esto implica identificar especies potenciales para cada sitio, modelos de manejo y herramientas de gestión.

Es por esto que existe la necesidad de generar información que permita caracterizar, cuantificar, zonificar y gestionar desde un punto de vista operativo (técnico/económico) el recurso biomasa existente y disponible para su uso en energía. Con ello, se podrían generar emprendimientos productivos permitiendo el aprovechamiento sustentable de las plantaciones y bosque nativo, generando una autosuficiencia energética de una manera limpia, además de ampliar y diversificar la matriz energética de Chile y promover la generación de energía a partir de fuentes renovables, siendo este tema uno de las líneas de acción planteadas por el Ministerio de Agricultura y acogida por el INFOR.

Los antecedentes recopilados hasta la fecha son importantes para la toma de decisiones sobre que especie o especies utilizar en algún sitio determinado, para la generación de biomasa para energía. Este tipo de investigación requiere además, de estimaciones de materia seca por hectárea según edad, especies y espaciamientos, lo que junto al poder calorífico de la madera y densidad básica permitirán establecer las mejores combinaciones para el uso de estas especies en áreas semejantes a las existentes en la zona de estudio

Se observa una dinámica creciente y cambiante entre los distintos espaciamientos, lo que indica la necesidad de mantener estas evaluaciones de modo de poder concluir hasta cuándo se mantiene esta incremento en la tasa de generación de biomasa en forma ascendente.

Dado lo anterior es recomendable mantener las evaluaciones hasta los 6 años de edad para validar los resultados obtenidos, así como también realizar la extracción de muestras para poder realizar los estudios de biomasa seca, según espaciamiento, especie y zona. Es relevante en este sentido, el poder mantener las evaluaciones de modo de obtener información de ciclos completos y con ello poder generar protocolos de manejo para biomasa energética y programas de abastecimiento sustentable

Si bien se han realizado importantes esfuerzos en investigar, aún se requieren respuestas validadas y herramientas de gestión para la empresa y propietarios particulares para la selección, uso y manejo de plantaciones dendroenergéticas. Posteriormente, se deben realizar los estudios para el uso de la biomasa en productos de combustión tipo pellets. La biomasa y el pellet, de uso industrial o domiciliario, es una solución de calefacción eficiente y económica en Chile. Si se reconoce a Chile como un país forestal, el pellet de madera es el combustible lógico para el país, reconociendo que sus propiedades son diferentes según sea el tipo de materia prima, existiendo estándares de calidad que limitan los contenidos de cenizas, los productos químicos contaminantes, etc., donde se reconoce que la biomasa no está disponible como materia prima para las empresas productoras de pellets.

El establecimiento de estas nuevas plantaciones forestales, con fines exclusivamente energéticos y en cortas rotaciones, con o sin incentivos económicos provistos por el Estado, es una muy interesante alternativa de desarrollo rural para pequeños y medianos propietarios.

Estos resultados deben apuntar a obtener la relación óptima entre cantidad de biomasa, eficiencia económica y poder calorífico, escenario que permitirá definir los esquemas de manejos sustentables para plantaciones con esta especie destinadas a energía.

Junto con lo anterior, es necesario evaluar desde el punto de vista de la biomasa producida, la relación entre la cantidad producida y los costos de su extracción y manejo, y su relación con los espaciamientos utilizados. Este análisis debe indicar las densidades óptimas según la relación materia seca producida y la eficiencia económica de su manejo. Esto puede señalar que los espaciamientos de altas densidades (38.500 arb/ha) que producen una gran cantidad de materia seca, no sean los más eficientes en la cosecha debido a la alta cantidad de árboles.

En un proceso productivo esta biomasa debería una vez extraída pasar por un proceso de densificación, a través de su trituración y compactación. Todos estos resultados son fundamentales para efectuar una selección más certera de las especies, árboles y clones con mejor desempeño para producción de biomasa. A ello se debe agregar estudios relacionados con mecanización de la cosecha, establecimiento y manejo de retoños de plantaciones dendroenergéticas. Todo ello permitirá proponer esquemas de manejo sustentables que optimicen la generación de biomasa para su uso en Bioenergía para diferentes sitios en el país.

## 6. Conclusiones

- El desarrollo de la bioenergía en Chile dependerá en gran medida de la efectividad de las políticas que permitan fortalecer y ampliar el sector, la alimentación de los mercados y el aumento de oportunidades para los generadores de ERNC.

- La utilización de la biomasa como fuente de producción energética en Chile se concentra en la generación eléctrica en la industria de la celulosa, en un uso térmico y de calefacción (leña, pellet).

- La biomasa para energía debe ser parte integrante de la ordenación forestal sostenible y con ello, determinar la oferta y flujos anuales (corta sustentable), siendo además, una fuente de energía eléctrica y mecánica, renovable y limpia siendo casi neutra en CO<sub>2</sub>, presentando la desventaja del costo de transporte, de no ser un combustible homogéneo, y su baja intensidad calórica.

- Las respuestas a las interrogantes en el uso de la biomasa, otorgarían importantes ahorros en los procesos industriales, siendo una fuente segura de abastecimiento para los productores de energía y una fuente permanente de demanda para los potenciales generadores de la biomasa.

- Se requiere y se requerirá biomasa en Chile ya que gran parte de las actuales y futuras plantas de biomasa no cuentan con patrimonio, generándose una opción para pequeños propietarios como ofertantes de biomasa, donde es posible valorizar suelos erosionados o subutilizados y aumentar las opciones de abastecimiento industrial.

- Son indispensables programas de investigación con carácter regional y permanentes en temas silvícolas orientados hacia la producción y caracterización de la biomasa para energía según producto. Estos antecedentes deben servir para los propietarios, empresas e instituciones relacionadas con el sector energético, como un insumo a las acciones que se establezcan en el plan de uso de Energías Renovables No Convencionales en el país. En Chile hay un espacio disponible para el uso de bosques en energía y actores con la disposición a afrontar esos desafíos, y con ello, bajar la presión sobre nuestro bosque nativo, donde la idea no es competir sino que diversificar y/o complementar

## 7. Bibliografía

BAETING, R., YÁÑEZ M., ALBORNOZ M. 2010. Cultivos dendroenergéticos de híbridos de Álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: estado del arte. REVISTA BOSQUE 31(2): 89-99.

BELLOLIO, R. Y KARELOVIC, P. 2011. Energía de biomasa forestal, lecciones internacionales y su potencial en Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Mayo 2011. 28p.

CAMPINO J. 2006. Disponibilidad de biomasa en Chile. Concepción: Seminario Generación de Energía con Biomasa. FINPROLIGNUM.

CHILE FORESTAL, 2009. Especial Bioenergía. Revista N° 339.

CNE (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, CL), GTZ (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT, DE), INFOR (INSTITUTO FORESTAL, CL). 2007. Residuos de la industria primaria de la madera. Disponibilidad para uso energético. Santiago, Chile. 120 p.

CNE (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA). 2008. Balance Nacional de Energía 2007. Consultado 27 de marzo 2012. Disponible en <http://www.cne.cl>.

CNE (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA). 2016. Anuario estadístico de energía 2005-2015.

DURÁN, C. 2001. Contenido de extraíbles y capacidad energética total en *Salix viminalis*. En Silvicultura y Producción Sauce – Mimbre. INFOR, 2001.

FACCIOTTO, G. 2009. Álamo y sauces productores de bioenergía: potencialidad y perspectivas. Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura. Unità di ricerca per le Produzioni legnose

fuori foresta. Casale Monferrato -Italia. 2° Jornadas sobre Biocombustibles, Parque General San Martín, Mendoza, 21-23 Abril 2009.

GENERADORAS DE CHILE A.G. 2016. Boletín del Mercado Eléctrico sector generación, Dirección de Estudios y Contenidos. [www.generadoras.cl](http://www.generadoras.cl)

HALL, P. Y JACK, M. 2010. Los grandes bosques como Fuentes de energía: uso de la tierra y repercusiones económicas y medioambientales. *Unasylva* N° 235/235

MINISTERIO DE ENERGÍA. 2016. Energías Renovables y Biomasa. División Energías Renovables. Taller de Actualización del Explorador de Bioenergía Forestal Región de Los Ríos 2015. Valdivia, 6 de abril de 2016

NRDC - BNEF & VALGESTA ENERGÍA, 2011. El futuro de la energía limpia en Chile. Consultado el 29 de Marzo 2012. Disponible en: [http://www.nrdc.org/laondaverde/international/files/chilecostofenergy\\_sp.pdf](http://www.nrdc.org/laondaverde/international/files/chilecostofenergy_sp.pdf)

PACHECO, A. 2016. Desafíos de la Biomasa Forestal para la generación de energía antes nuevos escenarios. Presentación Seminario Valorización de la biomasa para energía. Concepción, Chile.

PINILLA, J.C. 2000. Descripción y antecedentes básicos sobre *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*. Revisión bibliográfica. Santiago, Chile, INFOR-CORFO. Informe Técnico 147. 49p.

PINILLA S., J.C. 2005. Manejo, Crecimiento y Rendimiento. En: Pinilla, J.C.; Molina, M. y Gutiérrez, B. (editores). Investigación con *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii* en Chile. INFOR-CORFO. Concepción, Chile. PP.: 67-98.

PINILLA S., J.C. 2005. Antecedentes Generales Acerca del Manejo de Monte Bajo de *Eucalyptus globulus*. INFOR. Patrocinado por FONDEF. Concepción, Chile, INFOR. 44p. ilus, tabl.

PINILLA S., J.C. Y HERNÁNDEZ C., G. 2010. Poder calorífico de *Acacia dealbata* Link crecida en Chile. Revista Ciencia e Investigación Forestal. Volumen 16(3): 353-377. Santiago, Diciembre 2010.

PINILLA SUÁREZ, J.C.; MOLINA BRAND, M.P.; HERNÁNDEZ CAREAGA, G.; BARROS ASENJO, S.; ORTIZ, O. Y NAVARRETE TORRES, M. 2011. Avances de la investigación con especies del género *Acacia* en Chile. Informe Técnico N° 179. Instituto Forestal, Sede Bio Bio, Chile.

PINILLA, J.C. Y NAVARRETE, M. 2011. Informe Contrato de desempeño. Proyecto 1: Desarrollo productivo de los bosques, de la industria forestal y fomento del uso de la madera. Promover el uso dendroenergético de los productos forestales madereros. INFOR – MINAGRI, Diciembre 2011.

PINILLA S., J.C., LUENGO, K.; NAVARRETE, 2016. Reporte "Fortalecimiento y desarrollo de opciones forestales para el uso de la biomasa de bosques en la generación de energía a nivel país", Reporte 2016. Informe de proyecto Ministerio de Agricultura de Chile. Instituto Forestal, Sede Bio Bio, Chile. 25p. más anexos.

ROJAS P., Y.: MEZA R., J, 2010, Análisis espacial de la producción y consumo de dendrocombustibles usando la metodología WISDOM: Bases para una estrategia dendroenergética nacional. Santiago, Chile. INFOR-FAO, 2010. 49 p.

SALAZAR, F. 2016. El Mercado del Pellet en Chile 2006 – 2016. Presentación Seminario Valorización de la biomasa para energía. Concepción, Chile.

VENEGAS, C. 2016. Política Energética 2050 y Política de uso de la Leña y sus Derivados para Calefacción. Presentación Seminario Valorización de la biomasa para energía. Concepción, Chile.