



2022  
Lleida

27·1  
junio · juny  
julio · juliol

Cataluña  
Catalunya

## 8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
**Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**  
**ISBN 978-84-941695-6-4**  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



## Integración de la investigación y la gestión productiva para la generación de energía en base a biomasa forestal en la Región del Biobío, Chile

PINILLA SUÁREZ, J.C.; LUENGO VERGARA, K. y NAVARRETE TORRES, M.

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

### Resumen

El mejorar la competitividad del sector de las energías renovables no convencionales requiere del desarrollo de la investigación y herramientas que fortalezcan la gestión y encadenamientos de la industria forestal asociada a la generación de energía, propiciando el abastecimiento sustentable de la biomasa forestal para este tipo de emprendimientos a nivel local, en especial con una superficie importante aún susceptible de forestar o erosionadas, considerando además la existencia de una cultura y mercado del uso de la bioenergía, siendo el negocio de la Leña y Pellet en Chile, algunos claros ejemplos de ello.

Se presentan los resultados de la investigación desarrollada para aumentar las opciones de abastecimiento de biomasa forestal para su uso en energía y caracterización de productos, en apoyo a la competitividad regional, valorizando suelos erosionados o subutilizados de pequeños y medianos propietarios, descarbonización de la matriz energética y de un programa de difusión y transferencia orientado a una integración de la investigación con la validación e interacción con diversos sectores relacionados con el abastecimiento sustentable de Biomasa Forestal para su uso en Energía a nivel local, aportando a la Economía Circular, considerando criterios de sustentabilidad, el desarrollo energético con bajas emisiones y el desarrollo social y local.

### Palabras clave

Bioenergía, Biomasa, Forestal, Chile, gestión, investigación.

## 1. Introducción

La pequeña y mediana empresa forestal para generar un valor económico y aumento de la competitividad a través de nuevas opciones industriales, ha identificado como una de sus opciones el asegurar y diversificar el abastecimiento de biomasa forestal para su uso en generación de energía, ya sea para sus propios procesos o para su comercialización, lo que está asociado a la necesidad de conocer de especies potenciales que han presentado un adecuado crecimiento a nivel regional, su manejo, requerimientos y de conocer las propiedades y características tecnológicas de la madera de dichas especies, aptas para su uso en la generación de energía.

Por otra parte, existe en Chile una superficie importante de suelos sin utilizar o con algún grado de degradación y que en general pertenecen al segmento de los pequeños y medianos propietarios, quienes necesitan conocer nuevas opciones validadas técnica y económicamente, para poder generar un retorno económico desde este tipo de suelos.

Por lo anterior, se desarrolló el Programa Biomasa, que se centró en generar y transferir nuevas opciones tecnológicas para el aprovechamiento sustentable y generación de nuevos negocios en el ámbito de las energías renovables a partir de la biomasa forestal que crece en la Región del Biobío, Chile, a través de investigaciones y medios que permitan a los grupos objetivos adoptar y utilizar especies forestales en sus procesos de producción de energía o de fabricación de productos para ello (leña, pellets, chips). Ello se complementó con un programa de difusión orientado al uso de la biomasa para energía, su adecuada producción y la generación de información para ser un oferente

de la industria regional, ya sea como insumo para sus procesos o bien como materia prima para el desarrollo de sus productos.

## 2. Objetivos

Proporcionar a propietarios forestales y sector energético nuevas opciones de desarrollo económico y encadenamientos productivos para contribuir a la diversificación de la matriz energética regional a través de la utilización de Energías Renovables no Convencionales (ERNC) basadas en biomasa forestal generada a partir de bosques en suelos forestales, marginales o subutilizados, apoyando la competitividad y productividad sectorial.

## 3. Metodología

Se realizó la recopilación de antecedentes acerca del uso de la biomasa forestal como energía en la región del Biobío, Chile, junto con estudios específicos sobre la caracterización de especies para energía, orientados a que los grupos objetivos puedan conocer y utilizar especies forestales en sus procesos de producción de energía o productos para ello (leña, pellets, chips), lo que se complementó con un programa de difusión a nivel regional.

En la búsqueda y generación de información silvícola, se realizó un estudio de la cobertura boscosa de especies asilvestradas de *Acacia Sp*, especies forestales con presencia en la región y que son utilizadas en la producción de leña y carbón, siendo una fuente de ingresos para propietarios. La información generada permitió ubicar y cuantificar las comunas y superficies con estas formaciones en la región, áreas con potencial productivo, así como la generación de un set de mapas con superficies de masas asilvestradas de *Acacia dealbata* en la región del Biobío. Respecto de la información de mercado sobre el uso de la biomasa forestal en la región del Biobío para la generación de energía se realizó un estudio de los principales productos utilizados, como son la Leña, el Pellet y el Chips Térmico. En dicho estudio se realizó un análisis de las características técnicas de cada producto, dimensionamiento de su mercado y proyecciones de desarrollo y crecimiento en la región del Biobío.

Se realizó una descripción de la industria del pellet en la región del Biobío, ya que esta región es la principal área de desarrollo del sector del aserrío en Chile, basado en Pino radiata, lo que propiciado una concentración de las plantas de pellet en esta región. El principal uso del Pellet de madera, es como combustible para calefacción domiciliaria, en donde sus principales competidores en Chile corresponden a la leña, parafina, electricidad, gas licuado y gas natural. Este estudio se complementó con un estudio de caracterización de Pellet producido a partir de distintas especies forestales presentes en la región, de forma de ampliar las opciones de abastecimiento de biomasa forestal. Ello contempló una recopilación de los antecedentes de diversas especies forestales establecidas, en cuanto a tasas de crecimiento, según zona y edad de plantación, entre otras. La metodología utilizada consideró la obtención de muestras en terreno desde plantaciones y bosquetes asilvestrados, el acondicionamiento de las materias primas previos al proceso de Pelletizado, el proceso de fabricación de Pellet y ensayos de caracterización en laboratorio, realizando un análisis de los Pellet elaborados según Norma ISO 17225-2 "Biocombustibles sólidos - Especificaciones de combustibles y clases - Parte 2: Certificación de Pellet de Madera".

El estudio consideró generar información tecnológica sobre la densidad de la madera de especies forestales que crecen en la Región del Biobío, parámetro que se relaciona con el poder calorífico y el rendimiento en materia seca por unidad de superficie, factores que inciden directamente en su uso como energético. Para la realización del estudio, se utilizaron unidades establecidas por INFOR o rodales plantados, seleccionando árboles y obteniendo rodela y tarugos, para luego procesar las muestras para obtener la densidad básica de la madera bajo la norma

Tappi. Adicionalmente se analizó la opción de utilizar la espectroscopia en Infrarrojo Cercano o NIR como herramienta para la caracterización de la densidad básica de la madera. La base de esta tecnología reside en asociar valores espectrales de una muestra de interés (datos de absorbancia NIR) con parámetros cuantitativos y cualitativos, logrando un modelo matemático que permita la estimación de la variable de interés, realizando un análisis en base a rodela y astillas en estado verde, constituyen una muestra adecuada para predecir la densidad de la madera basada en mediciones del espectro NIR.

Se implementó un programa permanente y la realización de actividades de difusión y transferencia, el cual se fue adecuando a las necesidades de los usuarios finales, metodologías y plazos para su ejecución. Ello implicó la realización de actividades diferenciadas de acuerdo a temáticas de interés de manera grupal, actividades en sala y terreno y a su vez actividades de tipo masiva. Se contempló la difusión y transferencia de antecedentes técnicos y capacitación sobre los bosques para energía y su aprovechamiento industrial, oportunidad de negocios, silvicultura, productos y mercados, lo que fue posible a través de la realización de charlas técnicas, cursos de capacitación, días de campo, talleres, reuniones de trabajo, seminarios ampliados, giras técnicas y difusión en redes sociales.

#### 4. Resultados

Durante el desarrollo del Programa las labores se concentraron en la generación de información técnica en los ámbitos silvícolas, tecnologías de la madera y de mercado de las energías renovables, de manera de ser utilizados como base para apoyar las labores de difusión, transferencia y capacitación desarrolladas por el Programa.

El trabajo de INFOR permitió contar con información en esta temática y la realización de los estudios planificados, al contar con unidades establecidas con las especies en diversas comunas de la región, de distintas edades y con un objetivo energético, siendo utilizadas, además, para la obtención de muestras necesarias para la realización de los estudios de productividad de rodales y caracterización de biomasa para su uso en energía.

Lo anterior fue complementado a través de una revisión bibliográfica de iniciativas desarrolladas por otras instituciones regionales y nacionales que analizaron el potencial de crecimiento de especies forestales en la región y su factibilidad para ser utilizadas en la fabricación de pellet o leña principalmente.

##### 4.1 Potencialidad de masas asilvestradas de *Acacia dealbata* para su uso en generación de energía


Se realizó un estudio de la cobertura boscosa de especies asilvestradas de *Acacia Sp*, especies forestales con manifiesta presencia en la región y que son frecuentemente utilizadas en la producción de leña y carbón, siendo una importante fuente de ingresos para propietarios.

La información generada permitió ubicar y cuantificar las comunas y superficies con estas formaciones en la región, áreas con potencial productivo, generando cuadros con los datos de las superficies reportadas por comuna y un set de cartografía con la localización de las principales superficies con masas asilvestradas de *Acacia dealbata* de las comunas forestales de la región.

Tabla 1. Estimación de árboles de interés y densidad por comuna

Fuente: PINILLA et al., 2021

Sitio	Superficie en masas asilvestradas (ha)	N° arb/ha DAP>4cm	Densidad rodal (individuo/ha)
Florida	3.552,7	17.500	62.500
Los Ángeles	2.025,6	11.250	40.000
Mulchén	4.943,9	12.500	55.000
Yumbel	2.221,7	16.250	33.750
Coelemu	1.427,0	12.500	67.500
Hualqui	1.913,7	12.500	107.500
Chillán Viejo	2.258,2	26.250	212.500
Quillón	2.706,7	13.750	102.500
Coihueco	1.488,1	6.250	42.500
San Ignacio	1.555,2	10.000	37.500



Los resultados que se presentan en las masas asilvestradas de *Acacia dealbata* señalan la alta heterogeneidad de tamaños, formas y cantidades de individuos presentes en ellas (árboles y varas), desarrolladas de tocones o semillas. Al respecto, Valero y Picos (2009) y Pinilla y Hernández (2010) mencionan que se han encontrado altos valores de poder calorífico obtenidos para esta especie, tanto para la fracción leñosa gruesa como para las fracciones finas y hojas (una vez desecadas), concluyendo que la especie presenta una gran capacidad para ser utilizada con fines energéticos en combustión directa. En estas formaciones se realizaron una serie de evaluaciones para describir estos rodales, siendo de interés conocer las superficies por comuna.



Figura 1. Formato comercialización de leña, metro cúbico estéreo (izquierda) y Coberturas de bosques con exóticas asilvestradas.

#### 4.2 Densidad básica de la madera de especies forestales

La innovación tecnológica del Programa considera el evaluar la potencialidad y caracterización de pellet en base a la materia prima disponible en la región, ampliando la oferta de biomasa forestal de acuerdo a lo requerido por la industria, en apoyo a las actuales empresas que necesitan ampliar y asegurar suministros, así como también, a nuevos emprendimientos relacionados con calefacción o generación térmica. Ello permitirá que propietarios forestales, la industria y el sector energético de la Región del Biobío cuenten con nuevas opciones de negocios, desarrollo y encadenamientos productivos para contribuir a la diversificación de la matriz energética regional a través de la

utilización de biomasa forestal proveniente de bosques en suelos forestales, muchos de ellos marginales o subutilizados, apoyando la competitividad y productividad de la pyme regional (Pinilla et al., 2021).

El Programa generó información tecnológica sobre la densidad de la madera de especies forestales que crecen en la Región del Biobío, parámetro que se relaciona con el poder calorífico y el rendimiento en materia seca por unidad de superficie, factores que inciden directamente en su uso como energético. Esta variable, es relevante al momento de evaluar el potencial biomásico de las especies forestales para la generación de energía. A una mayor densidad, mayor será la biomasa producida en un determinado sitio, lo que permite su clasificación y comparación con otras fuentes de biomasa forestal.

Para la realización del estudio, se utilizaron unidades establecidas por INFOR o rodales existentes, donde en cada unidad se seleccionaron árboles y se obtuvieron rodajas y tarugos, para luego procesar las muestras para obtener la densidad básica de la madera bajo la norma Tappi T 258 om-94<sup>1</sup>.

Tabla 4. Densidad básica obtenida en diferentes especies forestales que crecen en la Región del Biobío  
Fuente: PINILLA et al., 2021.

Especie	Densidad Básica (kg/m <sup>3</sup> )
<i>Acacia mearnsii</i>	643,95
<i>Acacia dealbata</i> , asilvestrado	533,02
<i>Eucalytus camaldulensis</i>	550,88
<i>Acacia dealbata</i>	475,31
<i>Acacia mearnsii</i> , Plantado 3x1m	647,99
<i>Acacia mearnsii</i> , Plantado 3x2m	662,71
<i>Acacia dealbata</i> , Plantado 3x2m	519,66
<i>Acacia melanoxylon</i> , asilvestrado	589,59
<i>Acacia melanoxylon</i>	497,12
<i>Acacia dealbata</i>	449,5
<i>Salix humboldtiana</i>	403,54
<i>Eucalyptus regnans</i>	464



Para *Acacia mearnsii*, la literatura señala que los valores medios de densidad básica fluctúan entre los 530 y 598 kg/m<sup>3</sup>, siendo su madera dura, pero moderadamente fácil de trabajar y de pulir. En estado seco y húmedo es de dureza media (Kannegiesser, 1990). Pinilla (2000) señala también que esta especie presenta una densidad básica de aproximadamente 630 kg/m<sup>3</sup> y una densidad de la madera seca al aire de entre 550 y 800 kg/m<sup>3</sup>. Searle y Owen (2005), obtuvieron una densidad básica de la madera de *Acacia mearnsii* de 663 kg/m<sup>3</sup>, 726 kg/m<sup>3</sup>, 651 kg/m<sup>3</sup> y 664 kg/m<sup>3</sup>, según distintas procedencias descritas.



Figura 2. Obtención de rodajas.

<sup>1</sup> <https://www.tappi.org/content/SARG/T258.pdf>

En cuanto a *Acacia dealbata*, Pinilla y Hernández (2010) reportaron densidades básicas, de esta especie, entre 0.32 g/cm<sup>3</sup> y 0.54 g/cm<sup>3</sup> en 7 diferentes localidades de la Región del Biobío, en plantaciones de entre 4 y 6 años de edad. Por otro lado, Ríos et al. (2018), indicó distintos valores en la región del Biobío, según densidad del bosque y número de vástagos. Según este estudio, para bosques con densidad de 5.000 árboles/ha, y promedio de 7 vástagos por tocón, la densidad básica de la especie en promedio es de 0,44 g/cm<sup>3</sup>, para un bosque de 10.000 árboles/ha de densidad, y con un promedio de 6 vástagos por tocón, la densidad básica promedio en la especie fue de 0,45 g/cm<sup>3</sup>, y finalmente para un bosque de densidad 15.000 árboles/ha y 4 vástagos promedio por tocón, la densidad básica fue de 0,38 g/cm<sup>3</sup>.

En comparación con los resultados obtenidos, para masas asilvestradas de *Acacia dealbata*, la densidad básica promedio fue de 533 kg/m<sup>3</sup>, con densidades básicas entre 479 a 596 kg/m<sup>3</sup>. Por otro lado, para esta misma especie, pero esta vez plantada de 6 años, la densidad promedio fue de 519 kg/m<sup>3</sup>, con densidades de entre 428 a 598 kg/m<sup>3</sup>, densidades mayores en comparación con otros estudios. Por último, las densidades presentadas en la plantación de 14 años, el rango de la estimación va desde los 377 a 553 kg/m<sup>3</sup>.

Para *Acacia melanoxylon*, Searle y Owen (2005) reportaron una densidad promedio entre 0,530 y 0,576 g/cm<sup>3</sup>, para árboles de 8 años en Australia. En un ensayo de 6 años, con diferentes tratamientos de irrigación, Clark (2001) determinó una densidad básica de 0,420 g/cm<sup>3</sup>. A la edad de 22 años, Santos et al. (2006) en Portugal, informaron valores de 0,460 y 0,387 g/cm<sup>3</sup> para la zona basal y superior del fuste, respectivamente. Para árboles de 21 a 30 años en Nueva Zelanda, Harris y Young (1988) indicaron una densidad de 0,470 g/cm<sup>3</sup>. En Chile, se señalan valores de 0,582 g/cm<sup>3</sup> a diferentes edades (Campos et al., 1990), mientras que Pelen et al., (1998), a los 15 años determinaron una densidad de 0,539 g/cm<sup>3</sup>. Se aprecian densidades básicas con similitudes en los resultados. Para *Acacia melanoxylon* asilvestrado, el promedio fue de 589 kg/m<sup>3</sup>, similar a lo que muestran los estudios realizados en Chile y Australia. La densidad básica promedio de *Acacia melanoxylon* plantada de 5 años, fue de 497 kg/m<sup>3</sup>, resultado cercano al estudio realizado en Nueva Zelanda. A lo largo del fuste, las densidades básicas se mantienen relativamente constante presentando, en general, pequeñas disminuciones de la densidad según mayor altura presente el fuste.

Para *Eucalyptus regnans*, Ilic (1999) menciona que la especie presenta una densidad básica superior a 530 kg/m<sup>3</sup>, mientras que Omonte y Valenzuela (2011), a los 16 años detectaron densidades básicas desde 404 kg/m<sup>3</sup> hasta 516 kg/m<sup>3</sup>, según altura del árbol y la variación radial. Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los mostrados en la literatura.

Existen pocos estudios sobre densidad básica en *Salix humboldtiana*, donde Pastorino y Marchelli (2021), mencionan que está entre 350 y 500 kg/m<sup>3</sup>, valores similares a los obtenidos en este estudio, los que fluctuaron entre 390 y 510 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.3 Estudio de densidad básica de la madera mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRs)

La espectroscopia en Infrarrojo Cercano o NIR (Near Infrared Spectroscopy) es una herramienta utilizada para la caracterización de una gran variedad de productos de forma instantánea. La base de esta tecnología reside en asociar valores espectrales de una muestra de interés (datos de absorbancia NIR) con parámetros cuantitativos y cualitativos, logrando un modelo matemático que permita la estimación de la variable de interés. Una vez generado el modelo requerido es posible utilizar equipos NIRS para la estimación de diversos parámetros de interés a partir de una muestra. La tecnología NIR ha tenido gran adopción en el sector forestal, donde existe la necesidad de una gran cantidad de estudios en análisis de parámetros físico-químicos en

productos madereros y celulosa (Via, 2004). La absorbancia en algunas longitudes de onda del espectro NIR se asocia con los grupos funcionales de los polímeros que constituyen la madera, los que están a su vez, directa o indirectamente relacionados con las propiedades químicas y/o mecánicas. Una completa revisión se puede encontrar en Tsuchikawa *et al.* (2015).

Hay variados estudios en la literatura relacionados a la predicción de propiedades físicas (densidad, ángulo microfibrilar, longitud de traqueidas), mecánicas (Modulo de rotura y elasticidad) y químicas (contenido de glucosa, lignina y extractivos) de la madera a partir de espectros NIR, los cuales se han llevado a cabo para coníferas y latifoliadas (Bailleres *et al.*, 2002; Schimleck y Yazaki 2003; Schimleck *et al.*, 2004; Kelley *et al.*, 2004ab, Via, 2004, Cooper *et al.*, 2011).

En la actualidad, diversas empresas dedicadas al rubro forestal en Chile utilizan esta tecnología para el cálculo de la densidad básica de la madera. Labbé R. *et al* (2013) evaluaron con el NIR la variación de la densidad en el sentido longitudinal del fuste y el rendimiento pulpable en clones de *Eucalyptus globulus*, utilizando viruta, astilla y rodela.

En este escenario es de interés analizar si las astillas de aserrío, en particular astillas en estado verde, constituyen una muestra adecuada para predecir la densidad de la madera basada en mediciones del espectro NIR.

Por ello, en el Programa FIC se utilizó el NIR para la determinación de la densidad básica de la madera de distintas especies, y se comparó sus resultados con los de la utilización de la Norma Tappi. Este estudio permitió realizar 6 modelos quimiométricos, tres modelos para determinar densidad básica de la madera en especies específicas; y tres modelos que estiman la densidad básica de la madera a más de una especie (multiespecie), utilizando viruta obtenida a partir de las rodela de las especies forestales bajo estudio.

Las especies seleccionadas para generar modelos predictivos en densidad básica monoespecie, fueron *Acacia mearnsii*, *Acacia dealbata* y *Acacia melanoxylon*. Los modelos multiespecie que se generaron fueron Acacias (*Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*), *Eucalyptus* (*E. camaldulensis* y *E. regnans*) y Total (todas las especies). Una vez obtenidos los valores de densidad básica, los resultados se compararon, obteniendo, además, el error que genera por cada muestra evaluada.



Figura 3. Vista de polvo de astilla obtenido a partir de los tarugos y estimación de densidad básica mediante equipo de espectroscopía NIR.


#### a. Modelos Quimiométricos Individuales

Al comparar las densidades reales y las densidades estimadas por el NIR y errores se obtiene la siguiente tabla.



Tabla 5. Estadística descriptiva, Norma Tappi vs metodología NIR según especie  
Fuente: PINILLA et al., 2021.

Especie	Densidad básica (Tappi) (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad básica (NIR) (kg/m <sup>3</sup> )	Media del error (kg/m <sup>3</sup> )
<i>Acacia dealbata</i>	488,27	493,72	-5,46
<i>Acacia mearnsii</i>	701,51	699,63	1,88
<i>Acacia melanoxylon</i>	562,63	540,85	21,78



En el caso de *Acacia dealbata* la diferencia entre los métodos de estimación es de 5,46 kg/m<sup>3</sup>, con una raíz media del error de 22,18 kg/m<sup>3</sup>. En el caso de *Acacia mearnsii* esta diferencia fue de 1,88 kg/m<sup>3</sup> y en *Acacia melanoxylon*, la diferencia de estimación de densidad básica de la madera fue de 11,78 kg/m<sup>3</sup>. Las estimaciones obtenidas por el NIR, varían en promedio un 7,5% con respecto al valor calculado mediante la norma Tappi. Estos errores se consideran altos para el modelo quimiométrico.

## b. Modelos Quimiométricos Multiespecie

Al comparar las densidades reales y las estimadas según los modelos Multiespecie generados, se genera la siguiente tabla.

Tabla 6. Estadística descriptiva, Norma Tappi vs metodología NIR según Modelos Multiespecie  
Fuente: PINILLA et al., 2021.

Modelo Acacias	<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Acacia dealbata</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Acacia General</i>
Densidad básica media, norma Tappi	708,01	479,46	538,50	585,53
Densidad básica media, NIR	684,54	492,52	523,69	575,97
Error promedio	23,46	-13,06	14,81	9,56
Modelo Eucalyptus	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus regnans</i>	<i>Eucalyptus General</i>	
Densidad básica media, norma Tappi	543,29	458,00	517,70	
Densidad básica media, NIR	552,11	482,52	531,23	
Error promedio	-8,82	-24,52	-13,53	

Existe una similitud en cuanto a las densidades estimadas en cada metodología, pero se observa que los errores son mayores que los que se muestran en los modelos individuales, mientras que los porcentajes de error de la predicción son mayores a 5%.

### – Modelo General

Tabla 7. Estadística descriptiva, Norma Tappi vs metodología NIR. Modelo General  
Fuente: PINILLA et al., 2021.

	<i>Acacia dealbata</i>	<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus regnans</i>	<i>Salix humboldtiana</i>	General
Densidad básica, Tappi (kg/m <sup>3</sup> )	490,42	704,82	532,75	550,00	465,67	414,00	556,56
Densidad básica, NIR (kg/m <sup>3</sup> )	508,59	682,22	566,08	561,81	432,97	453,65	564,37
Error promedio (kg/m <sup>3</sup> )	-18,16	22,61	-33,33	-11,81	32,70	-39,65	-7,81

Además, existe coincidencia en los promedios de las densidades estimadas en cada metodología, pero se observa que los errores son mayores que los que se muestran en los modelos individuales, donde los porcentajes de error de la predicción son todos mayores que 5%. Los modelos quimiométricos individuales presentan mejores resultados que los modelos multiespecies.

El uso de la Espectroscopia NIR, fue eficiente para obtener la densidad básica de la madera, por lo que se puede concluir que este equipo es apto para poder medir este valor en árboles de diferentes especies. Se pudo observar que, en términos de tiempo, la utilización de la Espectroscopia NIR fue más rápida y menos variable, siendo además un método no destructivo, debido que no hay necesidad de talar árboles para realizar las estimaciones.

#### 4.4 Implementación de un programa permanente de difusión, transferencia y capacitación dirigido a todos los actores vinculados al uso y generación de biomasa forestal para la generación de energía.

El programa contemplo la difusión y transferencia de antecedentes técnicos y capacitación sobre los bosques para energía y su aprovechamiento industrial, oportunidad de negocios, silvicultura, productos y mercados, lo que fue posible a través de la realización de charlas técnicas, cursos de capacitación, días de campo, talleres, reuniones de trabajo, seminarios ampliados, giras técnicas y difusión en redes sociales, lo cual fue adecuando a las necesidades de los usuarios finales para su ejecución. Lo anterior, implico a realización de actividades diferenciadas de acuerdos a temáticas de interés de manera grupal, actividades en sala y terreno y a su vez actividades de tipo masiva.

Las principales actividades de difusión, transferencia y capacitación dirigido a actores vinculados al uso y generación de biomasa forestal para la generación de energía, fueron las siguientes.

##### 4.5.1 Folletos

- *Antecedentes generales del Programa*
- *Productos de la biomasa forestal para su uso en energía*
- *Estudio del Pellet en Base a Especies Forestales que Crecen en la Región del Biobío*



Los folletos, fueron distribuidos de manera digital a través de su distribución vía correo electrónico y plataforma web, así como también, de manera física en actividades de capacitación y transferencia.

##### 4.4.2 Realización de Seminarios, Talleres y Charlas Técnicas

Se realizaron diferentes seminarios los cuales contaron con participación actores relacionados al uso de biomasa forestal y generación de energía de la Región y el país. Los seminarios tuvieron como propósito dar a conocer los alcances a abordar con el desarrollo del programa, así como también abordar las problemáticas y oportunidades que tiene la biomasa forestal como fuente energética. Las instancias reunieron a diversos actores nacionales e internacionales, tanto representantes de empresas e instituciones que trabajan en el área, quienes dieron a conocer sus experiencias en torno a la valorización y el uso de biomasa forestal para la generación de energía, sus beneficios y aportes a procesos de desarrollo económico, como también, a los procesos de descontaminación o su mitigación actualmente en desarrollo, y el bienestar de la población, así como también, de las actuales problemáticas que enfrenta la industria y sus futuros desafíos.



Figura 4. Seminarios realizados.

La difusión se realizó también a través de charlas y talleres diferenciados de acuerdo al grupo objetivo beneficiado con el desarrollo de la actividad y su área de localización. Esta diferenciación permitió entregar información técnica silvícola, antecedentes de mercado, avances y resultados del programa, entre otras temáticas de interés, además de ser una instancia como foco consultivo y de validación de las temáticas desarrolladas en el Programa.

Con este propósito se participó de charlas técnicas que permitieron entregar información técnica silvícola, antecedentes de mercado, avances y resultados de la investigación. En cambio, los talleres, tuvieron un foco consultivo y de validación de las temáticas desarrolladas, realizando en 3 años cerca de 54 charlas y talleres, donde fue posible llegar a cerca de 480 personas. Adicionalmente se participó en el mismo período de cerca de 34 congresos y seminarios principalmente realizados a nivel regional, nacional e internacional.

#### 4.4.3 Realización de Cursos de Capacitación

Durante el Programa FIC Biomasa se realizaron actividades de capacitación cuyo propósito principal fue entregar información en torno al uso de especies forestales que cuentan con potencial de crecimiento y de uso para la generación de biomasa para energía, ya sea como leña, materia prima para la elaboración de pellets o chip térmico.

Se realizó un curso teórico y práctico en diversas comunas de la Región en el cual participaron principalmente propietarios forestales y productores. En los cursos se abordaron temáticas relacionadas con el manejo de bosques asilvestrados de *Acacia dealbata* dirigido a propietarios, productores de leña y profesionales, con el propósito de generar una instancia de capacitación en torno al manejo de dichos recursos, orientado a generar biomasa para su comercialización más eficiente como leña.

Durante las jornadas, fue posible visitar unidades experimentales y demostrativas, donde los participantes pudieron conocer el desarrollo alcanzado por los rodales bajo manejo, de tal manera que los asistentes, que en su mayoría fueron usuarios y profesionales, estudiantes y profesores, pudieron evaluar el potencial de crecimiento que pueden tener estas especies en la región. Se entregaron antecedentes y características de las especies, sus opciones productivas, requerimientos ecológicos, técnicas de plantación más recomendable para la especie, y las labores de manejo orientadas a obtener madera para su uso en energía, entre otras temáticas de interés que se analizaron en terreno.

Se realizaron 17 jornadas de capacitación que tuvieron como principal objetivo el entregar información técnica sobre el potencial de generación de energía a través del establecimiento de

plantaciones y manejo de masas asilvestradas de *Acacia dealbata*, *Eucalyptus globulus*, entre otras especies. Estas jornadas de capacitación contemplaron actividades en sala y terreno, las que en su totalidad llegaron a 140 personas



Figura 5. Explicación del manejo realizado en la unidad demostrativa con el objetivo de producción de leña.

#### 4.4.4 Reuniones de trabajo

Durante el desarrollo del programa se realizaron reuniones con los diversos actores que actualmente están relacionados al mercado de productos energéticos generados en base a biomasa forestal en la región, como son empresas productoras de pellet, productores de leña, industria del aserrío, profesionales del gobierno regional, entidades ministeriales, Servicio Forestal, organizaciones de apoyo a productores, Asociaciones gremiales, Universidades, usuarios finales, entre otras.

En este grupo objetivo se destacan propietarios de bosques dedicados a la producción de leña o que, al contar con superficie predial disponible y masas boscosas con potencial energético, manifestaron su interés por conocer antecedentes técnicos para mejorar o iniciar el desarrollo de emprendimientos locales asociados al negocio de leña, pellet chips térmico en la región.

Además, en esta diversidad de actores se destacan propietarios de bosques, industria del aserrío y remanufactura, industrial que utilizan biomasa para la generación de energía en sus calderas, empresas productoras de pellet, productores de leña y Profesionales del Ministerio de Energías, entre otros.

#### 4.4.5 Días de Bosque

Los días de bosques realizados, tuvieron como propósito el poder observar en terreno el trabajo realizado por INFOR y de las actividades del programa, en torno al establecimiento de Acacias y su utilización productiva. Lo anterior, implicó realizar visitas a las unidades demostrativas de INFOR con el propósito de difundir y transferir los resultados y trabajo realizado en dichas áreas y por otro lado, utilizarlas para la realización de cursos prácticos en terreno con el propósito de

mostrar el manejo realizado por INFOR, realizar actividades prácticas y evaluar en forma conjunta el estado de desarrollo del área manejada.

En estos días de bosques, participaron propietarios y usuarios de Prodesal de varias comunas de varias comunas de la Región de Biobío, productores de leña, profesionales del Agro y estudiantes universitarios de la carrera de Ingeniería Forestal. En total se contó con la participación de 135 personas.

El resumen de estas actividades se presenta en la siguiente tabla.

<b>Actividades de difusión y transferencia realizadas</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Eventos realizados</b>	<b>Número de asistentes</b>
• Charlas y talleres	54	480
• Cursos de Capacitación	17	140
• Días de Bosque	22	335
• congresos y seminarios	34	

## 5. Discusión

El grupo objetivo beneficiarios del Programa, fueron propietarios, pequeños y medianos principalmente, con suelos forestales, marginales, erosionados o subutilizados que requerían valorizar sus propiedades con nuevas opciones productivas, y que estén dispuestos a establecer plantaciones forestales con especies alternativas, de rápido crecimiento, y que les permita dar un uso a suelos improductivos o dañados por procesos erosivos. A ello se agregó los procesadores de madera y que requieren de otras opciones de comercialización de sus subproductos y con ello, generar nuevos escenarios de mercado.

Importantes actores fueron los productores de Leña y Pellet de la región, para su uso en generación de energía domiciliar e industrial, y los profesionales y técnicos relacionados con la Bioenergía, entes reguladores o de fomento y especialmente, profesionales que asesoran a los propietarios.

Los pequeños productores son un grupo heterogéneo, con superficies prediales reducidas o de baja producción y con bosques de superficies altamente variables, desde el punto de vista de tamaño y calidad. Ello incluye a los propietarios o empresas con interés por diversificar su producción predial a través de productos a obtener desde plantaciones dedicadas a energía, utilizando bosques con especies de rápido crecimiento o a través del manejo de retoños o de masas asilvestradas en la Región. A este segmento se le hace difícil innovar e incorporar tecnología que mejore la productividad de sus cultivos y la rentabilidad de sus operaciones. Estos desafíos incluyen a los ofertantes de servicios y mano de obra local, ya que la obtención de biomasa forestal en términos socioeconómicos es una actividad generadora de empleos, particularmente en las zonas rurales.

En relación con la producción de biomasa para su uso en energía, ello involucra tanto a ofertantes de biomasa para energía, como a los usuarios de ella, pudiendo separar a estos últimos en dos grandes sectores, el consumidor residencial y el industrial. El consumidor residencial se refiere básicamente al demandante de biomasa para calefacción domiciliar, siendo la leña un producto energético de alta importancia en la región, reconociendo que existe un sector importante asociado a la generación y comercialización de leña, utilizando como materia prima especies de Acacias, eucalipto y bosque nativo.

A través del programa se detectaron problemas de manejo tecnológico y de gestión forestal que es posible de mejorar a través de programas específicos para ello. En el caso del consumidor industrial, fue posible identificar que existe un potencial de negocio asociado al abastecimiento de biomasa para su uso en plantas de generación térmica y/o de cogeneración. Estas plantas existen en la región y se están desarrollando evaluaciones para la instalación de nuevas calderas en el corto plazo. Estas plantas requieren de abastecimiento seguro y constante de biomasa, por lo que cualquier posibilidad de oferta por parte de propietarios se constituye en una interesante opción de negocio.

Para que ello se concrete eso sí, se requiere de iniciativas en apoyo tanto a los productores de biomasa forestal para energía a partir de diferentes especies, como de la transferencia de conocimientos de los operadores de las plantas de biomasa para conocer y usar estas especies. Ello incluye la opción también, de analizar otras formas de uso de la biomasa para energía a partir de especies forestales, como lo es la fabricación de Pellet o de chips térmico.

Para los propietarios forestales ello representa una oportunidad en donde en primer lugar, deben conocer de los mejores esquemas de manejo forestal para generar la biomasa requerida, como también el conocimiento de que especies utilizar según cada sitio y de cómo incrementar el rendimiento en materia seca por hectárea.

Un ejemplo de ello es que, en la Región del Biobío, existe un fuerte consumo de leña como combustible para calefacción domiciliar, el cual este último tiempo se ha visto enfrentada a cuestionamientos producto de la contaminación ambiental que se generan por la utilización de leña con altos índices de humedad. En cambio, el mercado del Pellet, es una industria creciente que ofrece al mercado un producto eficiente, menos contaminante, más cómodo de utilizar y que se ha transformado en una opción de remplazo a la leña.

En este escenario el programa permitió generar información validada y actualizada para dimensionar y visualizar el mercado de los Subproductos, abordando entre ello, estudios orientados a caracterizar la biomasa para energía en la Región del Biobío, la densidad básica, la utilización de la tecnología NIR y estimaciones de la productividad de masas asilvestradas de especies de Acacia.

Específicamente, las estimaciones de densidad básica de la madera de diversas especies, fueron similares a estudios previos.

Tabla 8. Estimación de densidad básica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) por especie  
Fuente: PINILLA et al., 2021

	<i>Acacia dealbata</i>	<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Acacias</i>	<i>Eucalyptus</i>
Densidad básica, norma Tappi ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	488,27	701,51	562,63	585,53	517,7





Figura 6. Formas de utilización de la biomasa forestal como energía

Si se analizan las muestras en ensayos asilvestrados y se comparan con los valores de especies plantadas, se observa que las muestras asilvestradas presentan un mayor valor de densidad básica con respecto a las muestras de la misma especie, provenientes de un bosque plantado.

Paralelamente, existe una demanda por información física y química de la materia prima, en donde la densidad básica de la madera es una de las variables físicas más importante, debido a que con este valor se puede estimar el material seco disponible. Al utilizar la tecnología NIR para estimar la densidad básica, los resultados de los valores registrados, fueron similares al obtenido con la Norma Tappi, estimándose un proceso eficiente para obtener este valor en diferentes especies. Los modelos quimiométricos individual de *Acacia dealbata* y *A. mearnsii*, cumplieron con las condiciones necesarias para estimar densidad básica de la madera de manera correcta. Un aspecto destacable en la espectroscopía NIR, es su rápida estimación de información con menor variabilidad, siendo además un método no destructivo, debido que no hay necesidad de talar árboles para realizar las estimaciones.

Al analizar la productividad de las masas asilvestradas de Acacias para su uso en leña se observa la alta cantidad de individuos que se presenta en *Acacia dealbata*, con edades que fluctúan entre los 2 y 19 años y una alta heterogeneidad de tamaños, formas y cantidades de individuos. Esta situación es resultado de las características propias de la especie referidas a su estrategia de propagación (vegetativa, fructificación y diseminación) luego de la alteración del medio, originadas por cosechas del rodal o por efecto de incendios forestales. Una característica de estas formaciones es su uso para la producción de leña y carbón, lo que se traduce en frecuentes intervenciones de los rodales sin ningún tipo de planificación, lo que motiva a que los productores en forma anual deben movilizarse a mayores distancias para obtener la materia prima requerida para su actividad económica. Se confirma que, a menor número de individuos por hectárea, mayores son los valores del DAP, lo que implica contar con mejores individuos y mayor eficiencia al momento de la cosecha.

Este tipo de estudios es escaso en el país con esta especie en particular, y sus resultados permiten entregar una aproximación a la estimación de parámetros de las masas asilvestradas de *Acacia dealbata*, que permitan darle un valor económico, promover su manejo adecuado y su uso eficiente en la generación de biomasa para energía.

## 6. Conclusiones

A través del trabajo realizado durante el Programa, fue posible apoyar la articulación de I+D con propietarios y empresas, oferta tecnológica y del conocimiento, detectando que no se presenta un enfoque integral, desconocimiento que hace que la pequeñas y medianas empresas no demanden o puedan acceder al conocimiento científico-tecnológico en poder de los oferentes regionales.

Se realizaron estudios orientados a caracterizar la biomasa para energía en la Región del Biobío, abordando la densidad básica, la utilización de la tecnología NIR y estimaciones de la productividad de masas asilvestradas de especies de Acacia. Las estimaciones de densidad básica de la madera de diversas especies, fueron similares a estudios previos, concluyendo que el uso de la Espectroscopia NIR, es apta para poder medir este valor en árboles de diferentes especies.

*Acacia dealbata* es una especie con gran adaptabilidad en diferentes condiciones de suelo, en donde se apreció en terreno, formaciones de masas asilvestradas en quebradas y cárcavas, con diferentes grados de erosión, siendo utilizada para la producción de leña, en donde no se realiza un adecuado manejo en masas asilvestradas, para aprovechar de mejor manera el material disponible y mejorar las condiciones asociadas al crecimiento de estas.

Las actividades permanentes de difusión y transferencia implementada en el programa, permitió abordar y mejorar la insuficiente difusión del conocimiento y tecnologías sostenibles en beneficio de la competitividad de la Pyme regional, en torno al uso de especies forestales con potencial de uso en energía, generación de productos para apoyar la diversificación de la matriz energética y avanzar en la búsqueda de nuevos productos y mercados.

La articulación entre los distintos eslabones de la cadena forestal regional, permitió mejorar el déficit en la adopción de tecnologías para dar mayor rentabilidad a los recursos naturales y su aprovechamiento industrial.

Se generó información para dar a conocer opciones tecnológicas en el uso de la madera, sus potencialidades y características en el uso de las especies para la generación de biomasa para energía, lo que permitirá aumentar la rentabilidad y aprovechamiento industrial. Esto es especialmente válido desde situaciones donde propietarios no realizan un aprovechamiento de sus suelos disponibles, los que en general presentan algún grado de deterioro a nivel regional.

Se estima el trabajo realizado permitió aportar en agregar **valor agregado** a través de la entrega de técnicas silvícolas para apoyar el desarrollo sustentable y sostenible, de la generación de biomasa forestal para la generación de energía de uso domiciliario e industrial de la región, así como en el avanzar en el camino de la innovación social, al entregar herramientas técnicas a pequeños y medianos productores forestales de la región, que en la actualidad no utilizan dichos suelos por su estado de degradación, los cuales desconocen las nuevas opciones productivas, permitiendo con esto ofertar al mercado una nueva materia prima y detener el avance de la degradación de suelo. A ello se agrega el apoyo a la implementación de políticas públicas orientadas a fomentar el uso de la energía renovable no convencional, así como también para el fomento de nuevos emprendimientos, el fortalecimiento de los ya existentes, a través de la formación de redes y trabajo conjunto.

El sector de las energías renovables, está en permanente crecimiento, en donde el uso de la biomasa forestal en una región forestal es altamente impactante, los permite analizar distintas opciones de negocio según diferentes escenarios, con efecto a nivel predial, comunal y regional.

## 7. Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Fondo de Innovación para la Competitividad, FIC, Región del BioBio, Gobierno Regional del Bio Bio, que entregó el financiamiento de estos estudios.



## 8. Bibliografía

BAILLÉRES, H., DAVRIEUX, F., HAM-PICHAVANT, F. 2002. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a eucalyptus breeding program. *Annals of Forest Science* 59: 479-490.

CAMPOS B. A., CUBILLOS C. G., MORALES V. F., PASTENE S. A. 1990. Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación. *INFOR. Informe Técnico n° 122*. Chile, 114pp.

CLARK N. 2001. Longitudinal density variation in irrigated hardwoods. *Appita Journal* 54 (1), 49-53.

COOPER, P., JEREMIC, D., RADIVOJEVIC, S., UNG, Y., LEBLON, B. 2011. Potential of near-infrared spectroscopy to characterize wood products. *The Role of Sensors in the New Forest Products Industry and Bioeconomy. Canadian Journal of Forest Research* 41(11), 2150-2157.

HARRIS J.M., YOUNG G.D. 1988. Wood properties of *Eucalypts* and Blackwood grown in New Zealand. *The International Forestry Conference for the Australian Bicentenary*, 8pp.

ILIC. J. 1999. Shrinkage-related degrade and its association with some physical properties in *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Wood Science and Technology* 33 (1999) 425-437 Ó Springer-Verlag 1999.

KANNEGIESSER, U., 1990. Apuntes sobre algunas acacias australianas: 1. *Acacia mearnsii* De Willd. *Ciencia e Investigación Forestal*, Volumen 4 (2), Diciembre 1990. Instituto Forestal - Chile - Filial Corfo. pp.198-212.

KELLEY, S., RIALS, T., SNELL, R., GROOM, L., SLUITER, A. 2004a. Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood. *Wood Science and Technology* (38):257-276.

KELLEY, S., RIALS, T., GROOM, L., SO, G. 2004b. Use of near infrared spectroscopy to predict the mechanical properties of six softwoods. *Holzforschung* 58(3): 252-260.

LABBÉ, R.; DROPELMANN, F.; BALOCCHI, C.; & PEREDO, M. 2013. Variación de la densidad de la madera y rendimiento pulpable en clones de *Eucalyptus globulus* evaluado con espectroscopia de infrarrojo cercano. *Bosque (Valdivia)*, 34(3), 263-272.

OMONTE. M., VALENZUELA. L. 2011. Variación radial y longitudinal de la densidad básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. [Maderas. Ciencia y tecnología](#) vol.13 no.2 Concepción, 2011.

PASTORINO M.J Y MARCHELLI. P. 2021 *Low Intensity Breeding of Native Forest Trees in Argentina*. Springer.

PELEN P., H. POBLETE, L., INZUNZA. 1998. Duramen y albura de *Acacia melanoxylon* como materia prima para tableros de partículas. *Bosque* 19 (2), 29-36.

PINILLA, J.C. 2000. Descripción y Antecedentes Básicos sobre *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon* y *Acacia mearnsii*. Revisión bibliográfica. INFOR. Informe Técnico N°147. Concepción, Chile. 51p.

PINILLA J. C. y HERNÁNDEZ, G. 2010. Poder calorífico de *Acacia dealbata* Link crecida en Chile. INFOR. Informe Técnico n° 16. Chile, 353pp.

PINILLA, J.C.; LUENGO, K.; NAVARRETE. M.; HERNÁNDEZ, G.; LUCERO, A. y MUÑOZ, J. 2021. Programa Fortalecimiento de la competitividad del sector de las energías renovables y de la pyme forestal, a través del desarrollo de herramientas de apoyo a la gestión y encadenamiento productivo para el abastecimiento sustentable de biomasa forestal para usos en generación de energía en la Región del BioBio. Programa FNDR/FIC-2017 40000131. Instituto Forestal. Informe final. 105. Concepción, Chile.

RÍOS, J.; ACUÑA, E.; CANCINO, J.; RUBILARPONS, R.; CORRAL, J.; ROSALES, R. 2017. Dinámica de brotación y densidad básica de la madera en rebrotes de tres especies dendroenergéticas. Agrociencia, vol. 51, núm. 2, pp. 215-227 Colegio de Postgraduados Texcoco, México.

SANTOS A.J.A., ANJOS O.M.S., SIMOES R. M. S. 2006. Papermaking potential of *Acacia dealbata* and *Acacia melanoxylon*. Appita Journal, 59 (1), 58-64.

SEARLE, S.D. AND OWEN J.V. 2005. Variation in basis wood density and percentage heartwood in temperate Australian *Acacia* species. Australian Forestry 68, 126-136.

SCHIMLECK, L.; JONES, P.; PETER, G.; DANIELS, R.; CLARK, A. 2004. Nondestructive estimation of tracheid length from sections of radial wood strips by near infrared spectroscopy. Holzforschung 58: 375-381.

TSUCHIKAWA, S. Y KOBORI, H. 2015. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. J Wood Sci (2015) 61:213–220. Japan.

VALERO, E. Y PICOS J. 2009. Parcelas invadidas por *Acacia dealbata* Link. Evaluación de su potencial aprovechamiento incluyendo bioenergía. Conference: 5º Congreso Forestal Español. September 2009.

VIA, B. 2004. Modeling longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) wood properties using near infrared spectroscopy. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College. In: Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Doctor of Philosophy.