

CARACTERIZACIÓN DEL PELLET ELABORADO EN BASE A MEZCLA DE BIOMASA DE *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* EN LA REGIÓN DEL BIOBIO

Juan Carlos Pinilla Suarez¹, Felipe Navarrete Ulloa, Joaquín García Inostroza,
Mauricio Navarrete Torres, Karoline Casanova del Río y Karina Luengo Vergara

Programa FNDR - Transferencia Alternativas Propietario Forestal Bosques
para Energía

Iniciativa Financiada por el Gobierno Regional de la Región del Biobío
Código Bip 30135001



**INSTITUTO FORESTAL
2025**

¹ Investigadores, Instituto Forestal, Sede Biobío, Concepción, Chile. jpinilla@infor.cl



INFOR

INSTITUTO FORESTAL - Chile

Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago.

F. 56 2 223667115

www.infor.cl

ISBN N°978-956-318-291-0 (versión Impresa)

N°978-956-318-292-7 (versión Digital)

Reg. Propiedad Intelectual N° 2025-A-3765

Las fotografías o imágenes incorporadas en las tapas y cuerpo de este Informe Técnico provienen del archivo institucional de INFOR o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación.

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación, siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Pinilla, J.C.; Navarrete, F.; García, J.; Navarrete, M.; Casanova, K. y Luengo, K. (2025). Caracterización del pellet elaborado en base a mezcla de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* en la región del Biobío. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 278. 52 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/33144>

ÍNDICE

PRÓLOGO	5
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11
ANTECEDENTES SOBRE EL PELLET	15
El Pellet	15
Calidad del Pellet	21
Plantas de Pellet en Chile	22
Abastecimiento de Biomasa Forestal para las Plantas de Pellet en Chile	23
Alternativas de Abastecimiento de Biomasa Forestal para Plantas de Pellet	26
MATERIAL Y MÉTODO	31
Proceso obtención biomasa para fabricación del Pellet	31
Caracterización y análisis de parámetros	31
RESULTADOS	35
Preparación de la biomasa	35
Peletizado	35
Resultados caracterización de Pellet	37
- Parámetros Físicos	37
- Parámetros Químicos	39
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	41
AGRADECIMIENTOS	44
REFERENCIAS	44



PRÓLOGO

La región del Biobío es la principal área de la industria del aserrío en Chile, lo que ha significado que, en ella, se ubican la mayor cantidad de plantas productoras de pellet, y la mayor producción de este biocombustible.

De cerca de 58 plantas productoras de pellet existentes en Chile a agosto de 2024, 16 se ubicaban en esta región, concentrando aproximadamente el 70% de la producción total de pellet, ello asociado a la presencia de la industria del aserrío, principal fuente de materia prima para este biocombustible.

El uso del pellet ha presentado un permanente incremento en el país, originado en procesos de descontaminación de ciudades con problemas de polución ambiental y en cambios culturales del consumidor, que busca contar con energéticos eficientes y sustentables, y que reconoce a la biomasa como un material limpio y renovable.

En el año 2023 la demanda nacional por pellet llegó a aproximadamente 240 mil toneladas, principalmente para consumo domiciliario, y en menor proporción para los sectores Institucional e Industrial.

En Chile las fuentes de biomasa para la producción de pellet son los residuos secos generados en la industria del aserrío o remanufactura, principalmente a partir de la especie *Pinus radiata* (aserrín, virutas o polvo de madera sin corteza con un bajo contenido de humedad), siendo cilindros que se obtienen mediante el uso de una prensa pelletizadora.





El abastecimiento de biomasa forestal de calidad es un factor clave para el proceso de producción del pellet, se requiere contar con aserrín o viruta seca y limpia, y certidumbre respecto de la disponibilidad de esta materia prima, evitando así períodos sin producción de pellet para los mercados regionales.

El uso del pellet es una tecnología en crecimiento que presenta ciertas incertidumbres y faltas de información que afectan a los consumidores finales, a las empresas productoras y distribuidoras de pellet, y también a empresas comercializadoras de estufas o calderas que utilizan este producto como combustible. Una de las mayores interrogantes se relaciona con la posibilidad de contar con abastecimientos seguros de materia prima y de adecuada calidad que permita responder a la demanda creciente por pellet y evitar episodios de escasez que afecten el bienestar de los usuarios de este biocombustible.

Dado los escenarios de aumento de la demanda por pellet y los requerimientos de abastecimiento de biomasa seca, las plantas productoras están requiriendo de información y tecnología adecuada para la instalación de secadores, como una alternativa de solución tecnológica que les permita enfrentar escenarios futuros.

Desde el punto de vista silvícola o del abastecimiento de materia prima para la producción de pellet, se reconoce que Chile cuenta con un potencial forestal, posible de ser utilizado para esta finalidad. Existe una potencial utilización de residuos forestales generados del manejo y cosecha de bosques de *Pinus radiata* y *Eucalyptus*, pero se desconoce si tales subproductos están realmente disponibles, o si son utilizados en procesos internos de las propias industrias. Se requiere conocer la cantidad, calidad y opciones tecnológicas eficientes para incorporarlos al proceso de elaboración de pellet.

El Instituto Forestal (INFOR) cuenta con una línea de investigación dedicada a la Biomasa Forestal y la Energía, y anualmente genera información sobre la caracterización de la biomasa y la gestión del recurso forestal para su uso en energía, productos y antecedentes de producción y consumo de Biocombustibles, entre otros aspectos. Adicionalmente, con el apoyo del Fondo Nacional de Desarrollo Regional del Gobierno Regional del Biobío, INFOR está desarrollando el Programa “Alternativas Propietario Forestal Bosques Para Energía”. Este programa plantea la necesidad de ofertar biomasa forestal de corta rotación, para uso en generación de energía y aumentar la competitividad y economía de pequeños y medianos propietarios e industria energética de la región.

Tal programa se originó a partir de las demandas y brechas detectados en la región en torno a la necesidad de contar con la biomasa de calidad para su uso como biocombustible (leña, pellet), a lo que se agrega los cambios en los aspectos normativos y nuevos escenarios de producción y comercialización de biocombustibles derivados de la nueva Ley 21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía, que regula la producción y comercialización de los biocombustibles sólidos, el pellet y la leña entre ellos.

En relación con el pellet, las empresas productoras manifiestan inquietud respecto al abastecimiento de la materia prima requerida para sus procesos productivos, por lo mismo el programa FNDR considera caracterizar la biomasa utilizada en los procesos de producción de pellet y busca ampliar las opciones de abastecimiento de biomasa forestal utilizando especies presentes en la región.

En dicho marco el presente informe técnico entrega los resultados del estudio de caracterización del pellet producido a partir de la mezcla de biomasa de pino radiata y *Eucalyptus nitens*, resultados que fueron comparados con la Norma Chilena ISO 17225-2 sobre Pellet de Madera, de manera de evaluar las características físicas y químicas, y con ello analizar el potencial de este tipo de mezclas para la generación de materia prima posible de utilizar en la producción de pellet.





RESUMEN

Ante la necesidad de abordar las problemáticas relacionadas con la oferta de biomasa forestal de corta rotación, para uso en generación de energía, específicamente para leña o pellet, y con ello aumentar la competitividad y economía de pequeños y medianos propietarios e industria energética de la región del Biobío, el Instituto Forestal (INFOR) en su sede Bio Bío, está desarrollando el Programa del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) “Alternativas Propietario Forestal Bosques Para Energía”.

El programa se enfoca en fortalecer la industria de la generación de energía en base a biomasa forestal de la región, a través del establecimiento de unidades demostrativas de Bosques para Energía y el desarrollo de estudios tecnológicos y análisis estratégicos que permitan apoyar las acciones emprendidas para el fomento, gestión de calidad, aspectos normativos y el crecimiento productivo y rentable del uso de la biomasa forestal. Lo anterior enmarcado en un escenario de nuevo marco normativo y requerimientos que este sector enfrentará en el corto plazo derivados de la Ley 21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía, que regula la producción y comercialización de los biocombustibles sólidos, el pellet y la leña entre ellos. Ello se complementa con un programa de articulación, capacitación, difusión y transferencia.

En forma específica en el sector del pellet existen diversas demandas o brechas de información, siendo una de ellas la necesidad de contar con el abastecimiento adecuado de biomasa de calidad para su uso en la producción de este Biocombustible. Es por esto que se requiere de información relacionada con potenciales fuentes de biomasa forestal que pueda ser usada para la producción de este biocombustible. Entre ellas, la opción de utilizar especies forestales que han presentado un buen desarrollo en la región, como opción de abastecimiento de biomasa para esta industria y fortalecer su competitividad se presenta como una alternativa a analizar.

En tal contexto, se desarrolló un estudio que tuvo por objetivo caracterizar la calidad y determinar la factibilidad de producción de pellet a partir de la mezcla de las especies de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* que crecen en la región del Biobío, especies que presentan una alta tasa de crecimiento, adaptabilidad y productividad.

Se presentan los resultados de los estudios de los parámetros físicos y químicos principales de un Pellet elaborado a partir de diferentes mezclas de biomasa de Pino radiata con *Eucalyptus nitens*, resultados que indican la factibilidad de producir este biocombustible, requiriendo de la complementación con estudios relacionados y del potencial productivo.



INTRODUCCIÓN

La bioenergía representa una valiosa alternativa para la mitigación del cambio climático global, es una energía renovable, limpia y neutra en las emisiones de carbono, características que le permiten compararse ventajosamente con la obtenida desde combustibles fósiles. En este sentido, el aumentar la producción de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) para transitar hacia una matriz energética más limpia, agregado a los problemas de contaminación en muchas ciudades del mundo, es una realidad que viven muchos países, incluido Chile. Este aumento y fomento al uso de ERNC, se relaciona, además, con la descarbonización de la matriz energética y fomento del rol de la biomasa forestal para energía, que son temas de interés para diversos Ministerios.

En todo el mundo, y en especial 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 no es seguro depender exclusivamente de combustibles fósiles para la producción de energía, por cuanto los suministros son limitados y están sujetos a fuerzas políticas y económicas.

Desde la perspectiva económica, la energía de biomasa forestal tiene un vasto potencial en Chile, teniendo como fuentes generadoras a recursos provenientes del manejo del bosque nativo, las plantaciones forestales, masas asilvestradas y los subproductos de la industria del aserrío. Los recursos forestales y sus productos derivados constituyen una de las principales exportaciones del país, lo que significa un importante volumen de subproductos provenientes de la industria forestal primaria y secundaria. Estos subproductos son utilizados como recurso energético renovable para procesos industriales, llegando a generar excedentes de energía eléctrica para el sistema interconectado del país (Bellolio & Karelovic, 2011).

Los bosques de fines múltiples, que producen una variedad de productos, incluida la madera y la biomasa destinadas a obtener combustible, representan probablemente la fuente de biocombustibles económicamente más viable. Asimismo, los beneficios económicos que se derivan de los biocombustibles son máximos cuando su precio resulta competitivo respecto al de los combustibles fósiles (Hall & Jack, 2010).

Como Energías Renovables No Convencionales (ERNC) se consideran la biomasa, la eólica, la solar, la geotérmica y la de los océanos. Para aplicaciones de gran escala, como proyectos de generación eléctrica conectados a los sistemas de interconexión central, a través del uso de energías renovables, se considera un marco reglamentario y económico neutral con respecto a las energías tradicionales. Por lo tanto, su utilización depende de la competitividad que ellas tengan respecto a las energías



tradicionales. Luego, no existe limitación alguna para utilizar las energías renovables, como tampoco su incorporación es objeto de un tratamiento especial (CNE, 2020). Por lo mismo, en Chile se ha observado un aumento de plantas generadoras de energía en base a biomasa forestal, muchas de ellas en reemplazo de combustibles fósiles, lo que se ha traducido en políticas concretas de diversos ministerios, entre ellas la Agenda de Energía 2022-2026² (Ministerio de Energía, 2022) la que señala en su Eje 1 el “Acceso Equitativo a Energía de Calidad” y en el punto 1.2, el uso de energías limpias para los servicios energéticos del hogar, que se requiere de fomentar la sofisticación y expansión del mercado formal y de bajas emisiones locales de leña seca y otros combustibles sólidos, el que considerará toda la cadena productiva. Considera también, el monitoreo del mercado de los biocombustibles sólidos de manera sistemática y periódica, que permita analizar, monitorear e interpretar la información relevante para los diferentes actores de la cadena de valor de la leña y el pellet, con el objetivo de retroalimentar a las políticas públicas, y asegurar que las personas puedan acceder a la energía térmica de forma segura y a precios razonables.

Por su parte, la referida Agenda, en el Eje 2 de “Matriz Energética Limpia” y de los “Energéticos para la Transición”, plantea que se debe trabajar por una matriz de calefacción limpia, promoviendo el uso de biomasa moderna en el sector residencial, como la leña seca y el pellet, impulsando el uso de energías limpias para abastecer los servicios energéticos que requieren los hogares. Ello requiere de la modernización del mercado de la leña, trazando un camino progresivo de transición hacia fuentes de calefacción más limpias, apoyado por una nueva regulación para el uso exclusivo de leña seca u otros energéticos menos contaminantes, y que se implementará gradualmente. En ello se considera alternativas tecnológicas de calefacción limpias y el uso de artefactos eficientes en los hogares.

El Ministerio de Agricultura y su Política Forestal, por su parte, plantea en el objetivo de impacto 2.3 el consolidar la significativa contribución del sector forestal a la seguridad e independencia energética y descarbonización de la matriz de energía primaria del país, incrementando la producción y utilización de biomasa certificada en origen y calidad³.

En estos procesos el pellet de madera se ha consolidado como un recurso energético de gran relevancia, el que ha experimentado en el país un permanente incremento en su demanda. En Chile las fuentes de biomasa para la producción de Pellet son los residuos secos generados en la industria del aserrío o remanufactura, principalmente a partir de la especie *Pinus radiata* (pino radiata). El pellet de madera

² <https://energia.gob.cl/documentos/agenda-energia-2022-2026>

³ https://oficinavirtual.conaf.cl/recursos/videos/Politica_Forestal_2015-2035.pdf

es un biocombustible sólido producido principalmente en base a subproductos de la industria del aserrío (aserrín, virutas o polvo de madera sin corteza con un bajo contenido de humedad), siendo cilindros que se obtienen mediante el uso de una prensa pelletizadora.

La creciente preferencia por el pellet se ha basado en su eficiencia como fuente de energía renovable y su papel en la reducción de la contaminación ambiental de las ciudades. A medida que la conciencia ambiental se ha fortalecido, el pellet ha emergido como una alternativa sostenible y amigable con el medio ambiente, lo que ha impulsado su adopción en diversas aplicaciones, desde sistemas de calefacción residencial hasta instalaciones industriales. Este aumento constante en la demanda refleja la búsqueda continua de soluciones energéticas más limpias y viables, estableciendo al pellet como un protagonista en la transición hacia una matriz energética más sostenible; también es consecuencia de la búsqueda de alternativas de calefacción más limpias, sobre todo en las zonas saturadas definidas por el Ministerio de Medio Ambiente, entidad que incorpora las estufas a pellets como una alternativa al momento de optar al programa de recambio de estufas que lidera dicho Ministerio.

El uso del Pellet es una tecnología en crecimiento, pero que presenta ciertas incertidumbres y faltas de información que afectan a las empresas productoras y distribuidoras de Pellet, a las empresas comercializadoras de estufas o calderas que utilizan este producto como combustible y a los consumidores finales. Una de las mayores interrogantes de la industria del pellet se relaciona con la posibilidad de contar con un abastecimiento seguro de materia prima de adecuada calidad, que permita responder a la demanda creciente y evitar episodios de escasez que afecten el bienestar de los usuarios de este Biocombustible.





Entre las alternativas para enfrentar escenarios de menor disponibilidad de materia prima, surge el interés por evaluar otras fuentes de biomasa, mencionándose opciones como el uso de otras especies forestales, subproductos obtenidos directamente de las actividades silvícolas, o bien, el uso de diferentes mezclas de biomasa de acuerdo con la disponibilidad de especies forestales presentes en cada región. La opción de utilizar mezclas de biomasa, utilizando aserrín o viruta de pino radiata con otras especies es una alternativa que debe ser considerada en esta industria, como medio para aumentar o asegurar la disponibilidad de biomasa de adecuada calidad para su utilización en el proceso productivo del pellet.

Desde el punto de vista silvícola o del abastecimiento de materia prima para la producción de pellet, se reconoce que Chile cuenta con un potencial forestal, posible de ser utilizado para incrementar la producción de biomasa forestal para energía. Existe un potencial de utilización de residuos forestales generados del manejo y cosecha de bosques de *Pinus radiata* y *Eucalyptus*, pero se desconoce si están realmente disponibles o son utilizados en procesos internos de las propias industrias. Se requiere, además, conocer la cantidad, calidad y opciones tecnológicas eficientes para incorporarlos al proceso de elaboración de pellet. Consecuentemente, en el presente trabajo se busca caracterizar la calidad y determinar la factibilidad de producción de pellet a partir de la mezcla de las especies de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* que crecen en la región del Biobío, especies que presentan una alta tasa de crecimiento, adaptabilidad y productividad



ANTECEDENTES SOBRE EL PELLET

El Pellet

El uso de pellet como energético (combustible) para la calefacción domiciliar y/o uso industrial se ha incrementado en Chile durante los últimos años. Esto se debe principalmente a problemas de contaminación ambiental atribuibles al uso de leña de inadecuada calidad, así como también a que el pellet es una energía más limpia, fácil de utilizar y que tienen un precio estable en comparación a otras alternativas de combustible. A lo anterior se agrega el nuevo escenario legal establecido por la Ley N°21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía que, por una parte, reconoce a la leña y el pellet como biocombustibles y, por otra, regula la producción y comercialización de los biocombustibles sólidos.

La inseguridad energética genera escenarios de riesgo tanto para productores como usuarios, así como la pérdida de competitividad a nivel de la industria; por el contrario, constituye también, una oportunidad para aumentar el consumo de energías renovables como la biomasa forestal, para diversificar la matriz energética y para aumentar la seguridad e independencia energética. En el caso de la biomasa forestal, tiene la ventaja adicional de poder ser utilizada en diferentes formatos (pellet, leña o chip térmico), ya sea para generación de electricidad, energía térmica o agua sanitaria, lo que permite satisfacer necesidades energéticas a nivel domiciliario e industrial.

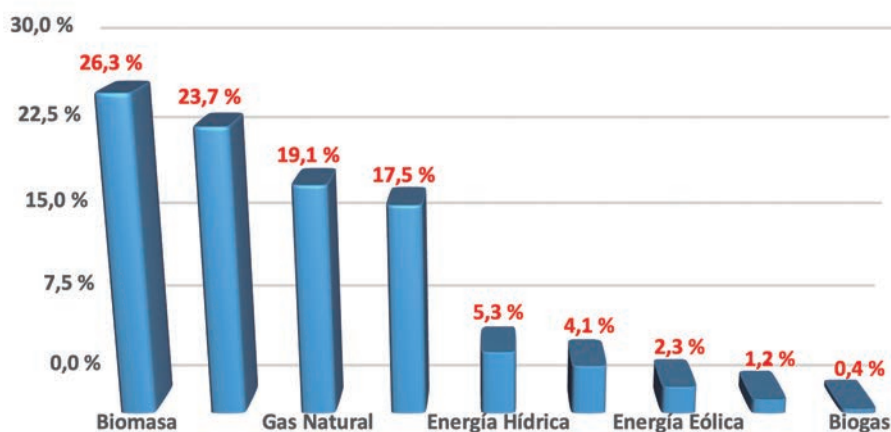
El sector productor de pellet es dinámico, lo que se manifiesta en el crecimiento de la producción y del número de empresas, pasando, según registros de INFOR, desde cerca de 25 plantas el año 2023 a cerca de 58 durante el año 2024, siendo la región del Biobío la que concentra la mayor cantidad de plantas productoras y la mayor producción de pellet de madera a nivel nacional, donde la biomasa requerida se obtiene a partir de la presencia de la industria de la madera.

Este sector ha enfrentado situaciones complejas, derivadas del incremento de su demanda, lo que ha generado un aumento de su producción, y en forma paralela, una creciente preocupación de los consumidores por abastecerse de este producto y que este cumpla con la calidad requerida. Ello implica un especial cuidado por contar con información sobre la cantidad y calidad de biomasa requerida, de modo de asegurar la calidad del pellet y evitar que se afecte el confort en los hogares y el funcionamiento de los equipos.

Tales requerimientos deben abordarse con la participación de todos los actores involucrados, de manera que en forma conjunta puedan avanzar hacia la sustentabilidad de energía, de modo de apoyar el desarrollo y consolidación de la industria productora de pellet. Para este efecto se requieren acciones en el corto plazo para evitar la estrechez en el suministro de pellet, fortalecer el sector y fomentar la producción, certificación y la disponibilidad de información tanto para productores como para consumidores de dicho combustible; se requiere también impulsar el desarrollo de nuevos emprendimientos y oportunidades de negocios relacionados con la generación de energías renovables.

En Chile según el Balance Nacional de Energía, la participación de la biomasa en la matriz energética primaria alcanza al 26%, con una cifra cercana a lo representado por el Petróleo y mayor a lo generado por el Carbón y el Gas (**Figura 1**), y representa cerca del 69% de las energías renovables considerando a la Biomasa, Energía Hídrica, Energía Eólica y Energía Solar.

La Leña es el principal energético utilizado en un alto porcentaje de los hogares de la zona Centro-Sur del país, con cifras de utilización cercana a los 2 millones de hogares, especialmente entre las regiones de O'Higgins y Aysén (CDT, 2019; Ministerio de Energía, 2023, INFOR 2023).



(Fuente: Ministerio de Energía, 2024)

Figura 1. Composición de la oferta de energía primaria

El consumo de biomasa para calefacción domiciliar se realiza fundamentalmente a través de estufas de combustión lenta de leña, existiendo un incremento en el uso de pellet, que libera menos gases contaminantes y representando una alternativa de reemplazo para la leña.

El pellet se caracteriza por su densidad, homogeneidad en textura y forma, bajo contenido de humedad, rendimiento y por su comportamiento similar a un fluido en la manipulación, siendo un combustible sólido, limpio y eficiente, que alcanza una combustión cercana al 98,5%, con una baja producción de ceniza y emisiones.

El uso de pellet de calidad asegura un mayor aporte calorífico y un adecuado funcionamiento de las calderas o estufas, por el contrario, un pellet de mala calidad deja un exceso de residuos y puede acabar atascando el funcionamiento de estos artefactos.

A medida que la conciencia ambiental se ha fortalecido, el pellet ha emergido como una alternativa más sostenible y amigable con el medio ambiente, lo que ha impulsado su adopción en diversas aplicaciones, desde sistemas de calefacción residencial hasta instalaciones industriales. Esto se debe principalmente a:

- Problemas ambientales atribuibles al uso de la leña húmeda (sobre el 25% en contenido de humedad).
- Disponibilidad del recurso desde la industria del aserrío, sector que ha identificado también, una oportunidad de negocio al utilizar los subproductos de su industria, principalmente de pino radiata.
- Estar considerado en los Programas de Recambio de Calefactores desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente y Programas de Descontaminación Ambiental (PDA) en algunas ciudades.
- Cambios culturales en los consumidores, quienes ven al Pellet como un energético que les permite participar de los procesos de mitigación de la contaminación y ser una alternativa de calefacción cómoda y sencilla de usar.

El aumento de la demanda por este biocombustible implica, además, que la biomasa requerida para abastecer a las plantas de pellet sea de una calidad adecuada, tanto para resguardar la calidad final del producto, como también por los nuevos escenarios de exigencias ambientales referidas a la mitigación de efectos de gases

efecto invernadero, polución ambiental y eficiencia energética, entre otras. A partir de la investigación de INFOR en la industria del pellet (Salazar, 2018; Pinilla y Luengo, 2021; Pinilla et al., 2023; ACHBIOM, 2024) se obtiene la producción de pellet de madera según año, 2015 a 2023, que se indica en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Producción anual de pellet en Chile.

Año	Producción (t)
2015	58.053
2016	82.100
2017	92.000
2018	104.695
2019	129.177
2020	183.386
2021	215.253
2022	(*)230.000
2023	(**)240.000

(*) : En base a información de la mayoría de las plantas productoras.

(**): Estimación.

El pellet se puede usar para la calefacción y generación de agua caliente de cualquier vivienda, ya sea de una vivienda unifamiliar, comunidades, calefacción distrital o cualquier otra dependencia que requiera contar con energía calórica. Para ello se usan estufas o calderas específicas, las cuales son cómodas y fáciles de usar, ya que los pellets se pueden transportar y usar de la misma forma que cualquier combustible líquido, pero con mucha más comodidad y seguridad. Algunas aplicaciones o usos actuales de pellet en Chile son:

- Estufas y calderas para calefacción
- Calderas de agua caliente (2 MW)
- Calderas a vapor (hasta 2 t vapor/h.)
- Procesos Industriales (Hornos de secado de frutas, cocción de arcillas, industria, panificadora, otros).

El desarrollo de la industria del pellet enfrenta complejidades o brechas que luego de ser identificadas requieren de acciones para su superación. Estos aspectos fueron abordados en el trabajo de la Mesa Nacional del Pellet, cuerpo consultivo convocado por el Ministerio de Energía para coordinar acciones y medidas tendientes a asegurar el abastecimiento de pellet de madera para calefacción residencial en las ciudades del centro – sur del país, así como promover el desarrollo y consolidación de la industria productora de pellet para calefacción residencial. En esta mesa participaron el Ministerio de Medio Ambiente, CONAF, BancoEstado, Asociación Chilena de Biomasa A.G (AChBIOM), CORFO, INFOR, la Agencia de Sostenibilidad Energética, del sector de equipos de calefacción y algunas Universidades del país vinculadas a la investigación y el desarrollo de este biocombustible.

La Mesa Nacional del Pellet concluyó su trabajo sugiriendo implementar acciones en el corto plazo para evitar la estrechez en el suministro de pellet, una propuesta para desarrollar el sector en el mediano y largo plazo, y un paquete de medidas con eje en la producción, la certificación y la disponibilidad de información tanto para productores como para consumidores de dicho combustible. Como resultado de su trabajo se priorizó las brechas relevantes para asegurar la disponibilidad de este biocombustible en el mercado y el bienestar de los usuarios, las que se concentran en:

- a) Oferta y consumo de pellet
- b) Caracterización y localización de materia prima (abastecimiento)
- c) Difusión y exigencia de estándares mínimos de calidad del pellet

Bajo esta situación se hace necesario contar con información actualizada, entre otros factores de la caracterización y localización de materia prima (abastecimiento), calidad, cantidad, estudios sobre nuevas opciones de materia prima y la caracterización de pellet producido con estas fuentes de biomasa. En general, se requiere conocer la disponibilidad real de materia prima para la producción de pellet por región y, conjuntamente, desarrollar tecnologías e innovaciones para aumentar las opciones y disponibilidad de materia prima.

Otros factores se relacionan con asegurar la calidad del pellet, para que cumpla con los parámetros exigidos por la nueva normativa a implementar, información del mercado, modelo de producto y análisis de producción utilizando biomasa obtenida directamente desde el bosque para su uso en la producción de pellet.

En relación con la disponibilidad de abastecimiento de materia prima para la producción de pellet, existe incertidumbre respecto a si se podrá contar con la cantidad y calidad adecuada para responder a la demanda creciente por este producto, que se espera siga creciendo en los próximos años. Esto es un factor clave, además del

valor de esta materia prima, que puede facilitar o impedir la concreción de nuevos emprendimientos en este sector.

Como se ha mencionado, en la actualidad la producción de pellet presenta una alta dependencia de la industria del aserrío, y cualquier variación en este sector afecta directamente a la producción de pellet. A ello se agrega que la biomasa disponible debe ser de calidad para la producción de pellet, se requiere de viruta o aserrín seco, limpio y sin corteza para el proceso de producción (**Figura 2**), de modo de evitar problemas que afecten a las instalaciones o equipos para su fabricación, o a la calidad del producto final, lo que afectaría directamente a los artefactos donde se combustiona el pellet, y con ello, al bienestar de los usuarios de este biocombustible.

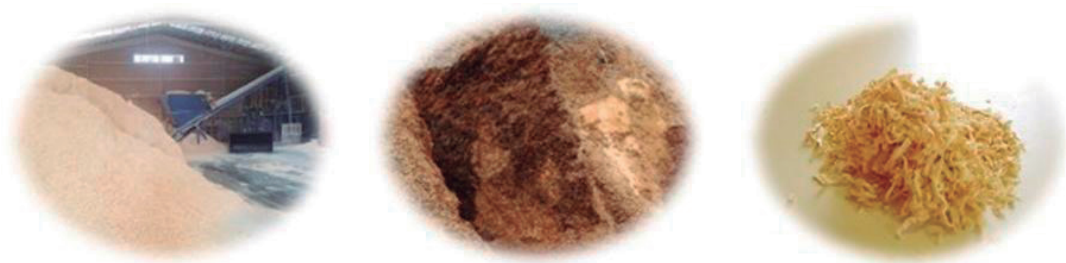


Figura 2. Materia prima utilizada en la producción de pellet (aserrín, viruta).

Otro factor a considerar es que la biomasa de subproductos del aserrío que usa la industria del pellet, presenta competidores en el mercado, lo que afecta su disponibilidad. Esta misma biomasa es utilizada por los aserraderos u otras industrias para generar la energía que requieren sus propios procesos productivos, o venderla al sistema interconectado central.

La principal fuente de abastecimiento de materia prima para la producción de pellet la constituyen los subproductos de la industria de conversión mecánica de la madera, la que en el año 2022 alcanzó un volumen estimado total cercano a los 4,74 millones de metros cúbicos, derivado de un consumo de 28,3 millones de metros cúbicos sólidos con corteza de trozos aserrables de Pino radiata, para una producción de 7,86 millones de metros cúbicos de madera aserrada (Gysling & Bañados, 2023; Poblete et al., 2023). Estas cifras representaron una baja respecto del año 2021, debido a una caída en un 9,5% de la producción de madera aserrada reflejada en aserraderos con menor producción y en la disminución del número de unidades productivas. Los principales destinos que estos subproductos tuvieron fueron la comercialización (62,4%) y el autoconsumo (35,6%) (Gysling & Bañados, 2023).

Para el sector del pellet, Gysling & Bañados (2023) estimaron un total potencial disponible de 2,8 millones de toneladas (60,2% de la producción total), dadas principalmente por aserrín húmedo (2,4 millones de toneladas), aserrín seco (0,16 millones de toneladas) y viruta (0,27 millones de toneladas).

La mayor proporción de la biomasa para la industria del pellet está en un estado húmedo, por lo que requiere procesos de secado previo a su utilización, lo que también es una brecha a superar para la mayoría de las plantas productoras de pellet.

Para asegurar los volúmenes de materia prima requerida para mantener una producción de pellet que permita abastecer la demanda, se requiere conocer la disponibilidad, ubicación y valores de esta biomasa. Junto con ello, se debe analizar la opción de obtener la biomasa directamente desde el bosque, el uso de otras especies forestales con presencia en las regiones en una superficie y volúmenes que permita su utilización y/o producir pellet a partir de mezclas de especies, ampliando la oferta de materia prima.

Calidad del Pellet

Junto con abordar las opciones de abastecimiento de biomasa para sustentar la producción de pellet, evitando escenarios de desabastecimiento de este biocombustible, se requiere resguardar la calidad del pellet resultante al utilizar diferentes tipos de materia prima. Además, se debe considerar la Ley 1.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía, que define escenarios normativos para los Biocombustibles Sólidos, señalando para un futuro cercano que todo el pellet producido en el país para su comercialización deberá contar con la certificación o acreditación de calidad según la norma ISO 17225-2.

La Norma Chilena ISO 17225-2 (INN, 2021) clasifica al pellet según parámetros físicos y químicos para su uso a nivel domiciliario o industrial, e identifica los principales parámetros técnicos que debe cumplir al momento de su fabricación. Los parámetros técnicos físicos del pellet más representativos para su fabricación, según la Norma ISO 17.225-2 (INN, 2021), corresponden a:

- Largo (mm) = $3,15 < L < 40$
- Diámetro (mm) = $6 (+/-1)$.
- Humedad (%) = $< 10\%$.
- Durabilidad Mecánica (% m/m⁴) = $> 96,5\%$.
- Poder calorífico (KWh/Kg) = $> 4,6$.
- Contenido de cenizas (%) = $< 2\%$

⁴ Porcentaje masa en masa o peso en peso, cantidad en gramos de soluto por cada 100 gramos de solución.

Algunos aspectos claves que se han descrito para determinar la calidad del pellet se presentan en el **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Características que determinan la calidad del pellet.

Característica	Requerimiento
Brillo	Brillantez
Color	Color uniforme
Estructura	Sin grietas, No generan polvo
Limpieza	Sin presencia de cuerpos extraños
Dureza	El pellet no debe deshacerse fácilmente al apretarlo

En Chile se produce principalmente pellet domiciliario a partir de biomasa de pino radiata, viruta o aserrín proveniente de la industria del aserrío, de un diámetro de 6 mm, que se utiliza tanto en estufas como en calderas.

Plantas de Pellet en Chile

Al mes de septiembre del 2024 se contabilizaban 58 plantas de pellet en el país, entre las regiones de Valparaíso y Magallanes. Previamente, en octubre del 2023 Pinilla et al. (2023) mencionaban la existencia de cerca de 45 plantas y cerca de 24 el año 2022. La distribución y número de plantas productoras de pellet, según región, se presenta en el **Cuadro 3**.

Cuadro 3. Distribución y número de plantas productoras de pellet según región.

Región	Plantas	
	(Nº)	(%)
Valparaíso	2	3,4%
Metropolitana	5	8,6%
O’Higgins	2	3,4%
Maule	10	17,2%
Ñuble	2	3,4%
Biobío	15	25,9%
La Araucanía	8	13,8%
Los Ríos	9	15,5%
Los Lagos	2	3,4%
Aysén	1	1,7%
Magallanes	2	3,4%
Total	58	

(Fuente: INFOR, Elaboración propia)

Las plantas productoras de pellet están presentes en las regiones del centro y centro-sur del país, destacándose que, en las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía y Los Ríos, se concentra la mayor cantidad de ellas, con un total de 42 plantas, que representa el 72% del total. Biobío concentra el mayor número de plantas (15), representando el 26% del total país. Esta cifra se relaciona directamente con que en esta región se concentra la actividad del aserrío, principalmente en base a Pino radiata, lo que genera la mayor cantidad de los subproductos que son la materia prima para la industria del pellet. Esta disponibilidad de materia prima también beneficia a las regiones vecinas, generando desplazamientos de biomasa hacia ellas. En términos de producción, la región del Biobío concentra cerca del 75% de la producción total de pellet del país.

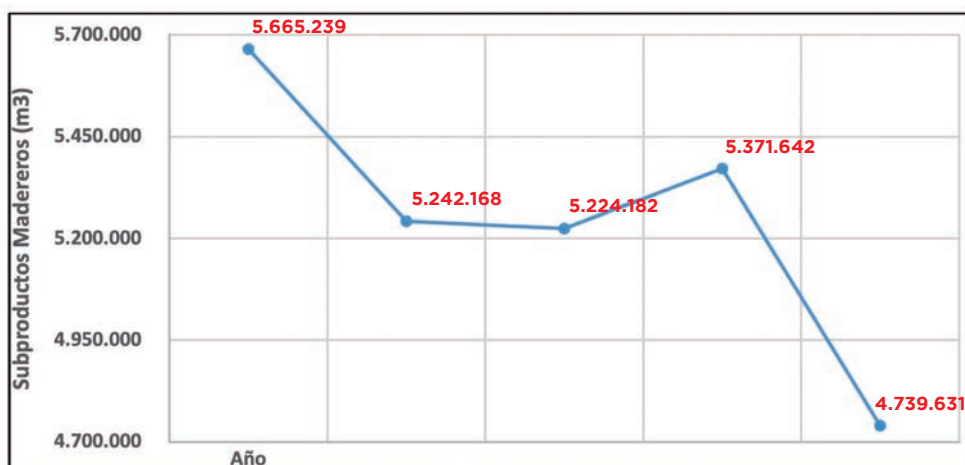
Es necesario mencionar que el número de plantas productoras de pellet en el país está en permanente cambio, debido al ingreso de empresas que cuentan con abastecimiento de biomasa y quieren participar de este mercado y, por otro lado, la salida de otras debido principalmente a factores de abastecimiento de biomasa, problemas de funcionamiento y/o aspectos del mercado, incluyendo la calidad del pellet.

Abastecimiento de Biomasa Forestal para las Plantas de Pellet en Chile

Gysling & Bañados (2023) señalan que la región del Biobío lidera la producción de subproductos madereros del aserrío, con 1,47 millones de m³ y una participación del 31% de la producción nacional. En segundo lugar, se presenta la región del Maule con 1,2 millones de m³ y una participación del 25,3%, que tuvo una baja de medio punto porcentual respecto del 2021. El tercer lugar es para la Araucanía, seguido de Ñuble y Los Ríos con un 14%, 13% y 7% de la producción de subproductos, respectivamente.

En cuanto al número de plantas productoras de pellet, es importante mencionar que la producción de subproductos de la industria del aserrío utilizable por la industria del pellet (aserrín, viruta) se ha mantenido estable los últimos 5 años e incluso menor el año 2022, en una cifra cercana a los 4,7 millones de toneladas (**Figura 3**).

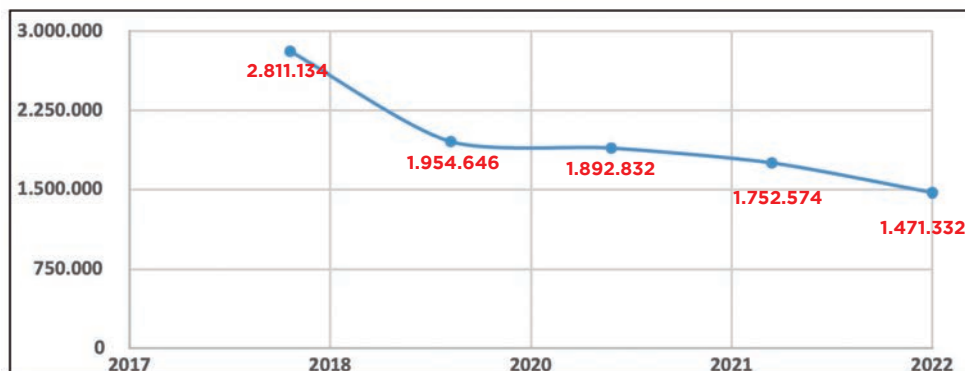
Si bien la disponibilidad de biomasa para la industria pellet se ha mantenido constante, se ha generado un aumento en el número de plantas que requerirán de la misma materia prima. Dado el crecimiento del sector, algunos aserraderos que antes comercializaban sus subproductos, ahora, ante la oportunidad de negocio en el mercado, asumieron la producción de pellet con una marca local.



(Fuente: Gysling & Bañados, 2023).

Figura 3. Subproductos madereros de la industria del aserrío según año.

En el caso específico de la región del Biobío, el comportamiento de la cantidad de subproductos del aserrío ha seguido el mismo comportamiento observado en el total país (**Figura 4**).



(Fuente: Pinilla et al., 2022; Gysling & Bañados, 2023).

Figura 4. Subproductos madereros de la industria del aserrío en la región del Biobío según año (m³).

En relación con los subproductos del aserrío utilizados por la industria del pellet, ellos han mantenido una cifra similar los últimos 5 años, con un descenso cercano a los 400.000 m³ durante el año 2022 (**Cuadro 4**). En lo que respecta a las industrias de pellet de la región del Biobío, el uso de subproductos del aserrío presenta una permanente disminución entre 2018 y 2022, con un descenso cercano a los 217.000 m³ durante el año 2022 (**Cuadro 5**).

Cuadro 4. Subproductos madereros de la industria del aserrío utilizables por la industria del pellet según año.

Subproducto	2018	2019	2020	2021	2022
Aserrín primario	3.128.973	2.841.407	2.872.991	2.794.686	2.424.069
Aserrín secundario	171.277	168.805	166.338	179.791	163.223
Viruta	268.751	268.129	272.072	290.031	266.751
Total	3.569.001	3.278.341	3.311.401	3.264.508	2.854.043

(Fuente: Pinilla et al., 2022; Gysling & Bañados, 2023).

Cuadro 5. Subproductos madereros de la industria del aserrío utilizables por la industria del pellet de la región del Biobío según año.

Subproducto	2018	2019	2020	2021	2022
Aserrín primario	1.726.109	1.189.359	1.173.463	986.775	786.740
Aserrín secundario	69.657	50.880	49.542	50.468	42.534
Viruta	125.453	86.564	83.239	86.222	76.830
Total	1.921.219	1.326.803	1.306.424	1.123.465	906.104

(Fuente: Pinilla et al., 2022; Gysling & Bañados, 2023).

Pinilla et al., (2023) señalan que la estrecha relación entre la industria del pellet y la del aserrío es un factor que debe ser monitoreado, por cuanto cualquier eventual cambio en la industria del aserrío puede afectar la producción de pellet, previniendo además riesgos de desabastecimiento de biomasa para esta industria. Se requiere también, de esfuerzos por establecer adecuados canales de comunicación entre la industria del aserrío y la del pellet, reconociendo que son sectores complementarios y que su accionar este dado por la disponibilidad actual y futura de subproductos del aserrío, lo que debe ser monitoreado para la toma de decisiones, proyecciones futuras y la formulación de políticas públicas de fomento o fortalecimiento.

Además, son necesarias estrategias de difusión para que los aserraderos puedan disponer adecuadas condiciones de almacenamiento de esta biomasa.

En tal escenario es indudable que el actual fomento a la utilización de la madera en la construcción y su efecto sobre la actividad de la industria del aserrío, permitiría aumentar la oferta de biomasa para su uso por parte de la industria del pellet, lo que puede jugar un papel importante.

Alternativas de Abastecimiento de Biomasa Forestal para Plantas de Pellet

Según Pinilla *et al.*, (2021; 2022), como alternativa para el abastecimiento de Biomasa para la industria del pellet, se deben considerar a aquellas especies forestales de las cuales se disponga de información para poder contar en forma segura con una adecuada oferta de volumen de materia prima hacia la industria del pellet. Para esto, entre otros factores, se debe considerar a los siguientes:

- Que las especies candidatas presenten un buen crecimiento y productividad en la zona de interés
- Cuenten con una superficie que permita el abastecimiento permanente hacia las plantas de pellet
- Ubicación
- Disponibilidad real (competidores)
- Calidad de su biomasa para la producción de Pellet.

Esta alternativa de abastecimiento de materia prima requiere de los análisis en cuanto a lo que significaría modificar el proceso productivo del pellet al utilizar otros tipos de biomasa, o las modificaciones requeridas para ello.



Otra opción es incorporar nuevas etapas al proceso productivo, de modo de poder utilizar biomasa forestal obtenida directamente desde el bosque a partir de una cosecha forestal o de la actividad de raleo. Ello implica considerar en terreno el volteo de los árboles, su descortezado, trozado y astillado, además del transporte de la biomasa a la planta. A lo anterior se suma la opción de traer pellet desde el exterior, opción que en el país significó durante el año 2023 el ingreso de cerca de 13,7 mil toneladas, provenientes principalmente (83%) de Brasil (Pinilla et al., 2024).

Las opciones de abastecimiento a considerar deben complementarse con procesos de validación a escala comercial de estas opciones y de análisis de calidad de la biomasa utilizada y del pellet producido, cuyos resultados deben ser difundidos y transferidos a la industria y sectores interesados. Con estos antecedentes será posible identificar y difundir nuevas fuentes de abastecimiento de materia prima proveniente de diversas especies forestales (Pinilla et al., 2021). En este marco se sitúa el Programa “Alternativas Propietario Forestal, Bosques para Energía” del Fondo Nacional de Desarrollo Regional del Gobierno Regional del Biobío, ejecutado por INFOR, que considera diversas iniciativas para apoyar y fortalecer este sector en la región, abordando temáticas de mercado, abastecimiento de biomasa, temas normativos, implementación de la Ley de Biocombustibles y análisis de nuevas opciones de materias primas para el abastecimiento, buscando nuevas oportunidades de negocio, fortalecer a los productores y su productividad y con ello, la competitividad regional (INFOR, 2023).

Los desafíos de la industria del pellet en Chile, en su rol de agente importante para la diversificación de la matriz energética y la reducción de la contaminación ambiental, especialmente en las ciudades del sur del país, están relacionados directamente con la disponibilidad y calidad de la materia prima, procesos productivos y normas requeridas. El aumento de la demanda de este biocombustible, cuyo origen son los programas de fomento al recambio de calefactores y los cambios culturales en el consumidor, se ha traducido en el aumento sostenido del número de plantas productoras de pellet, y con ello, la necesidad de contar con una adecuada disponibilidad de biomasa forestal, tanto en calidad como en cantidad para abastecerlas de materia prima. Esto último con el objetivo de mantener una oferta permanente de pellets, minimizar episodios de escasez y asegurar su disponibilidad al consumidor.

Se ha señalado la necesidad de desarrollar iniciativas para reducir los riesgos de escasez de este biocombustible, algunas de las cuales se han visibilizado en la Mesa del Pellet desarrollada por el Ministerio de Energía durante el año 2023⁵. Entre tales iniciativas se incluye el monitoreo de las importaciones de pellet, de manera de

⁵ Propuesta desde la mesa del Pellet para el desarrollo del sector. Ministerio de Energía. 2023



asegurar el abastecimiento y la búsqueda de nuevas fuentes de aprovisionamiento de biomasa para su uso por parte de la industria del pellet.

El sector productivo del pellet requiere antecedentes para poder tomar decisiones, gestionar procesos de planificación y fortalecer la competitividad del negocio, debiendo manejar información de costos de producción, requerimientos del mercado, nuevos aspectos normativos y de las características de la biomasa a utilizar. Sobre la biomasa es cada vez más importante conocer su disponibilidad, ubicación, seguridad de abastecimiento y calidad. Estas necesidades se hacen mayores con el creciente aumento del número de plantas productoras de pellet.

Martinsson (2003) menciona que se debe considerar el uso de distintos materiales para la fabricación de pellets, indicando que tanto los cultivos agrícolas como los forestales son opciones para su producción, la que es favorable económica y ambientalmente.

Liu et al. (2016) en su estudio para mejorar la calidad de los pellets de bambú, indica que la mezcla de partículas de bambú con pino, aumenta la densidad aparente, disminuyendo el contenido de cenizas y aumentando el contenido fino. Fernández-Puratich et al. (2017) señalan algo similar al mezclar los desechos de maíz con pino en proporción 1:1 con un ahorro sustancial en materias primas.

En Chile Pelz & Steinbrink (2010), concluyeron que algunas especies forestales que crecen en la región de Los Ríos son adecuadas para la producción de pellet, mencionando que el proceso requerido es más exigente que en el caso de las coníferas que se utilizan regularmente. Agregan que el pellet obtenido presentaba el nivel más alto de calidad de la norma europea para la mayoría de los parámetros de calidad. En su estudio se menciona que la especie *Acacia melanoxylon* no cumplía con lo requerido por la norma en cuanto al poder calorífico, a diferencia de los resultados del análisis realizado por Pinilla et al. (2021) en la región del Biobío, donde los parámetros obtenidos permitían clasificar sus pellets en la categoría A2.

Baettig (2018) señala que la mezcla más promisorio de residuos está constituida por el rastrojo de trigo pre tratado y madera, pero que presentan valores excedidos en emisión de gases, por lo que deberá ser reestudiada en el futuro.

Pegoretti (2021) indica que en la región del Biobío especies como *Paulownia* y *Miscanthus* han presentado potencial energético para ser utilizadas como complemento a la principal especie utilizada en bioenergía, como lo es *Pinus radiata*. El autor destaca que ambas especies presentan un buen potencial energético para fabricación de pellet y producción de energía térmica, aunque presentan menor capacidad para bioenergía en comparación con *Pinus radiata*. Finalmente destaca que hay que asegurar la buena calidad del biocombustible a generar y su capacidad para cumplir con las normas requeridas.

En un estudio en la región del Biobío, Pinilla et al. (2021) evaluaron diversas especies forestales para producir pellet, señalando que todos los pellets obtenidos cumplieron con los parámetros de humedad, poder calorífico inferior y cenizas para clasificarlos en la Categoría A1 de la Norma ISO 17225-2, a excepción del pellet elaborado con *Acacia melanoxylon* cuyo contenido de cenizas solo cumplió con lo exigido en la Categoría A2. En este último caso, indican que el valor de este parámetro puede ser disminuido mediante la mezcla de la materia prima con la de otra especie, que tenga una menor concentración de cenizas.





MATERIAL Y MÉTODO

Proceso Obtención Biomasa para Fabricación del Pellet

Para el desarrollo del estudio, se obtuvo muestras de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens*. Las muestras de eucalipto se obtuvieron a partir de la cosecha de 10 árboles desde un rodal en la zona de Mulchén, los que fueron descortezados y trozados en terreno (**Figura 5**), y trasladados a la sede de INFOR en Concepción, para proceder a su chipeado. En dependencias de INFOR Biobío se realizó el proceso de astillado y tamizado de las trozas para la obtención de al menos 60 kilos de biomasa (**Figura 6**). Las muestras de biomasa de *Pinus radiata*, correspondieron a aserrín proporcionado por la empresa Green Pellets desde su planta en la comuna de Coronel, región del Biobío.

Para la elaboración del pellet a evaluar, se utilizaron mezclas con distinta proporción de biomasa de cada especie. El detalle de las mezclas se resume en el **Cuadro 6**.

Cuadro 6. Mezclas de biomasa utilizadas para elaborar el pellet analizado.

Mezcla	Porcentaje de Biomasa		Cantidad (Kg)
	<i>Eucalyptus nitens</i>	<i>Pinus radiata</i>	
1	50	50	40
2	25	75	40
3	75	25	40

Las mezclas fueron identificadas y enviadas a las dependencias del laboratorio de la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción (**Figura 7**), ubicado en la comuna de Coronel, región del Biobío, donde se procedió a la fabricación del pellet y posterior caracterización de parámetros técnicos según norma.

Caracterización y Análisis de Parámetros del Pellet Resultante

En las instalaciones de la UDT se realizó el proceso de peletizado de las mezclas de biomasa descritas en el paso anterior. Una vez obtenidos los pellets se procedió a su caracterización y análisis según la Norma ISO 17225-2 "Biocombustibles sólidos -Especificaciones de combustibles y clases - Parte 2: Certificación de Pellet de madera" (INN, 2021). Esta norma especifica los valores máximos para distintos parámetros fisicoquímicos que debe cumplir el pellet de madera, tales como diámetro, longitud, contenido de cenizas, durabilidad y poder calorífico, entre otros.

Para fabricar el pellet de las distintas mezclas de biomasa se realizó un proceso de molienda de la materia prima hasta obtener un tamaño final de 5 mm y un porcentaje de humedad inferior al 10%. Posteriormente, utilizando una peletizadora móvil de capacidad de 100 kg/h, se elabora un pellet de 6 mm de diámetro a partir de las diferentes mezclas de biomasa. En el proceso se observan los parámetros de humedad inicial de la biomasa y la razón de alimentación, de manera de obtener pellets de madera de calidad.

El pellet resultante de cada mezcla fue analizado según parámetros de la NCh-ISO 17225-2. Los análisis efectuados fueron:

- Contenido de humedad
- Contenido de cenizas
- Poder calorífico superior e inferior
- Análisis elemental
- Cloro
- Cantidad finos
- Diámetro y longitud de pellets
- Durabilidad mecánica



Figura 5. Volteo de árboles de *Eucalyptus nitens* y extracción de muestras de madera para chipeado y posterior elaboración de pellets.



Figura 6. Astillado y tamizado de madera de *Eucalyptus nitens* y biomasa obtenida para elaboración de pellets.

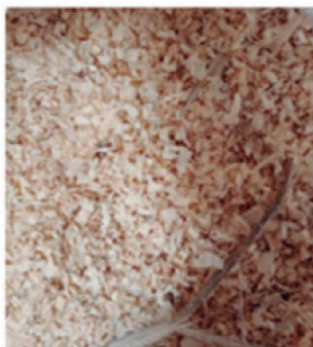


Figura 7. Muestras de mezclas de biomasa enviadas al laboratorio de la UDT para producción y análisis de pellets.



RESULTADOS

Preparación de la Biomasa

El proceso de pelletizado requiere que la materia prima presente un contenido de humedad de 8-12%, no debiendo superar el 15%. Las mezclas de biomasa utilizadas presentaron un promedio de 14% de contenido de humedad, no obstante, la mezcla 1 (50/50 *nitens*/*radiata*) arrojó un valor de 18,6%, razón por la cual se le aplicó un proceso de secado, utilizando un secador rotatorio con vapor sobrecalentado (120°C).

Respecto de la granulometría (**Figura 8**) se observó una distribución no uniforme de tamaño de partícula, alcanzando tamaños superiores a los 5 mm, por lo mismo se disminuyó su tamaño mediante el uso de un molino de martillo con malla de 5 mm, para asegurar obtener una muestra homogénea previo al pelletizado.



Figura 8. Astillado y tamizado de madera de *Eucalyptus nitens* y biomasa obtenida para elaboración de pellets.

Peletizado

Para el peletizado se utilizó un equipo con capacidad de 100 Kg/h y matriz de 6 mm, proceso en el cual se monitoreó la humedad inicial de cada mezcla de biomasa, la que puede variar según la materia prima, el equipo y el proceso de operación. Considerando que las mezclas de biomasa incluyen a *Eucalyptus nitens*, que se estima un material más duro, se debió monitorear la temperatura en la matriz de la peletizadora, ya que podría provocarse un mayor secado de la biomasa, afectando

el proceso de peletizado, debiendo de ser necesario humectar la muestra mediante adición de agua pulverizada y homogeneización en equipo mezclador.

Durante el peletizado la Mezcla 1 (50/50 nitens/radiata) requirió de humectación debido al incremento en el tiempo de procesado y de la temperatura. Aun así, se obtuvo pellet de adecuada dureza y tamaño, con presencia de partículas finas. Luego del enfriamiento del pellet generado, estos conservaron su tamaño y dureza.

El peletizado de la Mezcla 2 (25/75 nitens/radiata) requirió de humectación debido al incremento en el tiempo de retención de la biomasa en la matriz, con el consiguiente aumento de temperatura. Se obtuvo pellets más oscuros debido a la carbonización de la biomasa, de mayor fragilidad y presencia de finos y de material sin conformar.

En el caso de la Mezcla 3 (75/25 nitens/radiata) se debió ajustar la humedad hasta un 15%, lográndose obtener pellets de buena apariencia y tamaño, más claros que los anteriores y con menor presencia de material sin conformar respecto a las otras muestras.

En la **Figura 9** se muestra el aspecto de los pellets obtenidos con cada una de las mezclas de biomasa utilizadas para su producción.



Figura 9. Pellet producido a partir de la mezcla de biomasa de *Eucaliptus nitens* y *Pinus radiata*. De izquierda a derecha 50/50, 25/75 y 75/25 nitens/radiata.

Independiente de la dureza del material, la tasa de alimentación es una variable crítica en procesos de peletización a esta escala de producción, debido a que el trabajo de compactación y fricción que realizan los rodillos del equipo tiende a producir un aumento considerable de temperatura en la matriz, y por tanto una disminución excesiva de la humedad de entrada del material, lo cual puede llegar a ser contraproducente para el proceso de conglomeración de las partículas y la formación del pellet, dado que no se logra el efecto aglutinante del agua con el material.

En general se obtuvo pellets de buena calidad, de tamaño y dureza normal y con una baja cantidad de material residual no utilizada en su producción.

Resultados de Caracterización de Pellet

En el Laboratorio de Servicios Analíticos de la UDT se realizó la caracterización física del pellet producido a partir de las mezclas de biomasa, comparando los resultados de cada parámetro con lo que indica la NCh-ISO 17225-2 "Biocombustibles sólidos – Especificaciones de combustibles y clases – Parte 2: Certificación de pellets de madera" (INN, 2021). Esta norma determina las clases de calidad de los combustibles y las especificaciones de Pellets de madera clasificados para uso domiciliario e industrial que hayan sido producidos a partir de las materias primas siguientes:

- Bosque, plantaciones y otra madera virgen.
- Subproductos y residuos de la industria del procesamiento de la madera.
- Madera usada no tratada químicamente.

La norma NCh-ISO 17225/2 divide las clases de pellets de madera en dos tipos:

- (a) Con aplicaciones comerciales y residenciales. Categorías A1, A2 y B.
- (b) Con uso industrial. Categorías I1, I2 e I3.

- *Parámetros Físicos*

Los resultados de los estudios de la caracterización de los parámetros físicos del pellet fabricado con las 3 mezclas de biomasa considerando aplicaciones comerciales y residenciales, se presentan en el **Cuadro 7**.

Cuadro 7. Resultados de parámetros físicos del pellet producido con distintas mezclas de biomasa de *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata*.

Parámetro	Categorías Nch-ISO 17225-2			Mezclas		
	A1	A2	B	M1	M2	M3
Humedad (%)	<= 10,0			7,81 ± 0,25	6,11 ± 0,18	10,05 ± 0,05
Contenido de Cenizas (p/p)*	<= 0,7	<= 1,2	<= 2,0	0,29 ± 0,01	0,13 ± 0,00	0,07 ± 0,00
Durabilidad Mecánica (p/p)	>= 97,5	>= 97,5	>=96,5	90,01 ± 2,04	88,88 ± 0,61	90,24 ± 1,41
Finos (%)	<= 1,0			9,84 ± 0,38	6,86 ± 2,54	5,28 ± 0,54
Poder Calorífico Inferior (MJ/Kg)	>= 16,5			17,18	17,01	16,67
Diámetro de Pellet, D06(mm)	6 ± 1,0			6,51 ± 0,29	6,56 ± 0,30	6,79 ± 0,19
Longitud de Pellet (mm)	3,15 <= L >= 40			9,45 ± 3,59	10,56 ± 3,42	10,23 ± 2,91

(Fuente: UDT, 2023)

Mezclas nitens/radiata: M1: 50/50; M2: 25/75; M3: 75/25

Categorías: A1: Pellet producido a partir de biomasa de fuste y residuos de madera no tratada químicamente; A2: Pellet producido a partir de árboles enteros sin raíces, fuste, restos de poda, residuos de madera no tratada químicamente. B: Pellet producido a partir de biomasa de bosques, plantaciones y otra madera virgen, a subproductos y residuos de la industria del procesamiento de la madera y a madera usada no tratada químicamente.

* p/p: Porcentaje Peso a Peso.

De acuerdo a estos resultados es posible señalar que:

- Los pellets producidos con las diferentes mezclas de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* cumplen con los parámetros de humedad, contenido de ceniza, poder calorífico inferior o neto, diámetro y longitud de pellets, con valores aptos para su uso en el ámbito domiciliario o industrial.
- La durabilidad mecánica y cantidad de finos se encuentran fuera de rango, resultado que debe estar relacionado con el uso en diferentes porcentajes de biomasa de *Eucalyptus nitens*.
- La mezcla M2 (25/75 nitens/radiata) presentó mayores diferencias en el valor de durabilidad mecánica respecto de lo señalado por la norma.

- La durabilidad mecánica y cantidad de finos, se relacionan directamente con la biomasa utilizada, sus valores pueden ser regulados a través de ajustes en el proceso de peletizado, en función de las características físicas que vayan presentando los pellets durante su elaboración.
- La mezcla M3 que utilizó un mayor porcentaje de biomasa de *Eucalyptus nitens* presentó mayores complejidades al momento de producir el pellet dada que la mayor dureza o densidad de la madera de esta especie generaba problemas en la molienda.

- *Parámetros Químicos*

Los resultados de los estudios de la caracterización química del pellet fabricado con las 3 mezclas de biomasa se presentan en el **Cuadro 8**.

Cuadro 8. Resultados de parámetros químicos del pellet producido con distintas mezclas de biomasa de *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata*.

Parámetro	Categorías Nch-ISO 17225-2			Mezclas		
	A1	A2	B	M1	M2	M3
Nitrógeno (% p/p)	<= 0,3	<= 0,5	<= 1,0	0,17±0,008	0,15±0,007	0,17±0,003
Carbono (% p/p)	n/a			49,6±0,1	49,4±0,1	49,9±0,1
Hidrógeno (% p/p)	n/a			6,10±0,1	6,12±0,04	6,21±0,03
Azufre (% p/p)	<= 0,04	<= 0,05	<= 0,05	0,01±0,00	0,01±0,00	0,02±0,00
Cloro (%)	<= 0,02	<= 0,02	<= 0,03	0,025±0,002	0,026±0,00	0,021±0,001

(Fuente: UDT, 2023)

Mezclas nitens/radiata: M1: 50/50; M2: 25/75; M3: 75/25

Categorías: A1: Pellet producido a partir de biomasa de fuste y residuos de madera no tratada químicamente; A2: Pellet producido a partir de árboles enteros sin raíces, fuste, restos de poda, residuos de madera no tratada químicamente. B: Pellet producido a partir de biomasa de bosques, plantaciones y otra madera virgen, a subproductos y residuos de la industria del procesamiento de la madera y a madera usada no tratada químicamente.

De acuerdo a estos resultados es posible señalar que:

- Todos los pellets producidos con las diferentes mezclas de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* cumplen con los rangos exigidos por la norma para los parámetros de cantidad de Nitrógeno y Azufre.
- Para las mezclas con 25 y 50% de biomasa de *Eucalyptus nitens*, el valor obtenido para el cloro se sitúa levemente por sobre el límite establecido por la norma para las Clases A1 y A2.
- Para todas las mezclas el valor del cloro clasificaría al pellet en la clase B (para uso industrial).
- La presencia de Cloro en valores superiores a lo establecido por la norma puede provocar problemas en el funcionamiento de los equipos y su corrosión durante la combustión.
- La presencia de Cloro es una característica de la biomasa y es afectada por las características propias de la madera y otros factores, como su almacenamiento.
- La utilización de este tipo de mezclas en la producción de pellet debe considerar nuevos estudios de los porcentajes de diferentes biomásas a utilizar de modo de minimizar los valores de los parámetros químicos, especialmente en el caso del Cloro.
- Según la proporción usada de *Eucalyptus nitens*, se observan efectos en los distintos parámetros.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados señalan que los pellets confeccionados con mezclas entre biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* en distintos porcentajes, cumplen con los parámetros de humedad, contenido de ceniza, tamaño y poder calorífico, específicamente con los límites inferiores indicados para cada uno de ellos en la Norma ISO 17225-2. La durabilidad mecánica y cantidad de finos de los pellets producidos registraron valores fuera de la Norma, atribuible a la mezcla utilizada de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens*. Ello se ratifica al observar los resultados de la mezcla M2 (25/75 nitens/radiata), que presentó las mayores desviaciones.

En la caracterización química del pellet resultante, destaca el valor del Cloro, en una cifra que supera en todas las muestras lo establecido en la norma NCh-ISO 17225. Este es un factor importante ya que la presencia de este elemento puede generar problemas de depósitos y corrosión en los equipos durante la combustión.

Durante el trabajo de peletizado la biomasa fue procesada hasta alcanzar una humedad y granulometría adecuada, inferior al 15% en promedio y 6 mm, respectivamente. Se observó que a medida que aumenta la proporción de *Eucalyptus nitens* se requirió de mayor tiempo para el proceso de molienda, originado en la mayor dureza de la especie.

Durante el proceso de peletizado, la mezcla M1 (50/50 nitens/radiata) requirió humectación debido al incremento en el tiempo de procesado y el consiguiente aumento de temperatura, logrando generar pellet con buena dureza y tamaño, con presencia de partículas finas. Luego del enfriamiento, el pellet obtenido conservó su tamaño y dureza.

La mezcla M2 (25/75 nitens/radiata) también requirió de humectación debido al incremento en el tiempo de retención de la biomasa en la matriz, con el consiguiente aumento de temperatura, y la formación de pellets más oscuro debido a la carbonización de la biomasa. El pellet obtenido resultó de mayor fragilidad y con más presencia de finos y de material sin conformar.

En el caso de la muestra M3 (75/25 nitens/radiata) se debió ajustar la humedad hasta un 15%, logrando obtener pellets de buena apariencia y tamaño, más claros que los anteriores, con menor presencia de material sin conformar respecto a las otras muestras.

Los resultados de este estudio señalan que todos los pellets obtenidos a partir de diferentes mezclas de biomasa de *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata* son de

características similares entre todas las muestras de biomasa utilizadas.

Se observaron parámetros con rangos fuera de lo establecido por la norma en todos los pellets, lo que sucedió en el caso del Cloro, durabilidad mecánica y cantidad de finos. Estos mismos resultados fueron mencionados por Pinilla et al. (2023) al realizar un estudio similar con una mezcla de biomasa de *Eucalyptus globulus* y pino radiata.

Los parámetros físicos de durabilidad mecánica y cantidad de finos se relacionan directamente con el proceso de peletizado y de la biomasa utilizada, y se ha señalado que pueden ser mejorados ajustando el proceso de producción del pellet mediante un mayor número de ensayos pilotos, considerando siempre como variables críticas el tamaño de partículas, sobre todo en especies latifoliadas de mayor dureza como lo es el *Eucalyptus nitens*.

Los estudios han señalado la importancia de evaluar la posibilidad de procesar materiales de mayor dureza, o bien, la necesidad de disminuir el tamaño de partícula y trabajar con una matriz de menor tamaño. Además, durante el proceso se debe evitar que la biomasa utilizada pierda agua en forma excesiva al momento de ingresar al equipo de peletización.

En el caso de los parámetros físicos del pellet, como durabilidad mecánica y contenido de finos, estos pueden ser optimizados en una producción a mayor escala, considerando:

- Utilizar un menor tamaño de partículas.
- Aumentar la humedad de trabajo.
- Regular la razón de alimentación, dependiendo del tipo de equipo utilizado, de manera de controlar las condiciones que aumentan la temperatura por fricción en la matriz.

En cuanto a los parámetros químicos se destaca los resultados obtenidos con el Cloro, con resultados por sobre la norma. Considerando que el Cloro es una propiedad de las biomásas utilizadas, una de las alternativas para mejorar este parámetro es modificar el porcentaje de las mezclas con diferentes proporciones de pino radiata.

En general los resultados del contenido de Nitrógeno y Azufre están dentro de lo exigido por la norma, siendo conveniente estudios complementarios de metales (Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc) y del comportamiento de punto de fusión de cenizas.

Las mezclas de biomásas de *Pinus radiata* y de *Eucalyptus nitens* ensayadas son posibles de utilizar para la producción de pellets, debiendo cuidar el porcentaje de la biomasa en relación a la de *Pinus radiata*, especialmente para reducir el contenido de Cloro, incluyendo nuevas opciones de mezclas de especies.

Se requiere de nuevos estudios sobre la calidad de los pellets producidos a partir de biomasa de diferentes especies forestales que crecen en Chile, o sus mezclas, de manera de aumentar las opciones de abastecimiento de biomasa y disminuyendo así la dependencia de este sector con la industria del aserrío.

Indudablemente, las opciones de abastecimiento de biomasa para el sector del pellet deben ser analizadas desde el punto de vista de su presencia en los territorios, de manera de contar en forma segura con una adecuada oferta de volumen de materia prima, considerando aspectos de:

- Crecimiento y productividad de las opciones forestales en la zona de interés
- Superficie que permita el abastecimiento permanente hacia las plantas de pellet
- Ubicación
- Disponibilidad real (competidores)
- Calidad de su biomasa para la producción de Pellet
- Requerimientos en el proceso productivo del pellet al utilizar otros tipos de biomasa

Las exigencias de la Ley 21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía que define nuevos escenarios normativos que regula la producción y comercialización de los Biocombustibles Sólidos, requiere en el caso específico del pellet, de adecuada información para la toma de decisiones, procesos de planificación, fortalecimiento y competitividad del sector, requerimientos del mercado, nuevos aspectos normativos, características de la biomasa a utilizar y especialmente, de la calidad del pellet producido para su comercialización en el país.

Sobre la biomasa es cada vez más importante conocer de su disponibilidad, más aún con el creciente aumento del número de unidades productivas, y también conocer su ubicación, la seguridad en su abastecimiento y su calidad.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Regional de Desarrollo Regional (FNDR) del Gobierno Regional del Biobío, por el apoyo a la ejecución del programa “Alternativas Propietario Forestal Bosques Para Energía”, Código BIP: 30135001-0, en cuyo marco se generó esta publicación.

REFERENCIAS

ACHBIOM. (2024). Observatorio Pellets. Asociación Chilena de Biomasa.

Baettig, R. (2018). Innovación en biocombustibles sólidos densificados de origen agrícola para consumidores domiciliarios urbanos e industriales. Informe final de proyecto. Descripción de biocombustibles sólidos densificados elaborados en el proyecto FIC Región del Maule. 2018. Universidad de Talca, <http://ficbiomasas.otalca.cl/>

Bellolio, R. & Karelavic, 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. 28 p.

CDT (2019). Usos de energía de los Hogares en Chile 2018. In-Data SpA. Santiago.

CNE (2020). Anuario estadístico de energía 2019. Comisión Nacional de Energía. En: <http://www.cne.cl>

Fernández-Puratich, H., Hernández, D. & Lerma Arce, V. (2017). Characterization and cost savings of pellets fabricated from Zea may waste from corn mills combined with Pinus radiata. Renewable Energy, Vol. 114, Part B, Pages 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.048>

Gysling, J. & Bañados, J.C. (2023). Subproductos madereros de la industria del aserrío 2023. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 193. 82 p.

Hall, P. & Jack, M. (2010). Los grandes bosques como fuentes de energía: Uso de la tierra y repercusiones económicas y medioambientales. Unasylva N° 235/235.

INFOR. (2023). Programa FNDR Alternativas Propietario Forestal, Bosques para Energía, Informe de proyecto. Gobierno Regional de la Región del Biobío-Instituto Forestal, Chile.

INN. (2021). Norma ISO 17225-2 Biocombustibles sólidos – Especificaciones de combustibles y clases – Parte 2: Certificación de Pellets de madera. Instituto Nacional de Normalización. En: <https://ecommerce.inn.cl/iso-17225-2202178870>.

Liu, Z., Mi, B., Jiang, Z., Fei, B., Cai, Z. & Liu, X. (2016). Improved bulk density of bamboo pellets as biomass for energy production. USDA Forest Service / UNL Faculty Publications. 323. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.011>

Martinsson, L. (2003). Materials in Sweden for future production of fuel pellets. A review of possible materials in short- and medium Long term. Sweden.

Ministerio de Energía. (2022). Agenda de Energía 2022-2026. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. 128 p. En: <https://energia.gob.cl/documentos/agenda-energia-2022-2026>

Ministerio de Energía. (2023). Propuesta desde la mesa del Pellet para el desarrollo del sector. Documento orientador. Ministerio de Energía Gobierno de Chile. 32 p.

Ministerio de Energía (2024). Balance Energético Nacional. <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

Paczkowski, S., Sauer, C., Anetzberger, A., Jaeger, D. & Pelz, S. (2023). Utilization of black locust (*Robinia pseudoacacia*) sawdust as an alternative pelletization raw material. Biomass Conv. Bioref., Vol. 14. Pp.: 25583–25597. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04998-w>

Pegoretti, H. (2021). Evaluación de las propiedades de diferentes especies con potenciales energéticos para la elaboración de pellet de calidad. Congreso Online Internacional Forestal, CONIFLOR. Mayo 2021.

Pelz, S. & Steinbrink, J. (2010). Análisis de materias primas y combustibles sólidos de madera (CSM). Universidad de Rottenburg. Departamento SENCE-Dendroenergía. Seminario Internacional del proyecto FIA. Marzo 2010

Pinilla, J.C., Luengo, K., Navarrete, M. & Navarrete, F. (2021). Estudio del pellet en base a especies forestales que crecen en la Región del Biobío. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 241. 58 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32064>

Pinilla, J.C. & Luengo, K. (2021). Antecedentes Descriptivos de la Producción y Mercado del Pellet en Chile. Instituto Forestal, Chile. Instituto Forestal, Chile. Documento de Divulgación N° 55. 33 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31337>

Pinilla, J.C., Luengo, K., Navarrete, M. & Navarrete, F. (2022). Antecedentes de abastecimiento de biomasa con fines energéticos, el caso del Pellet en Chile. Ciencia e Investigación Forestal, CIFOR, V.28(2), páginas: 57-69. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.565>



Pinilla, J.C., Navarrete, F., Luengo, K., Navarrete, M., García, J. & Casanova, K. (2023). Caracterización del pellet elaborado en base a mezcla de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en la región del Biobío. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 265. 34 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32706>

Pinilla, J.C., Navarrete, F., García, J., Navarrete, M., Casanova, K. & Luengo, K. (2024). Comportamiento de las Importaciones de Pellet de madera en Chile durante los últimos 10 años. *Ciencia & Investigación Forestal*, 30(2), 5–20. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.609>.

Poblete, P., Gysling, J., Álvarez, V., Bañados, J.C. Kahler, C., Pardo, E. Soto, D. & Baeza, D. (2023). Anuario Forestal 2023. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 192. 280 p.

Salazar, F. (2018). El Mercado del Pellet en Chile 2006-2016. Presentación en seminario Escenarios del Pellets en la región del Biobio. Programa FIC Gobierno Regional Región del Biobío – Instituto Forestal. Concepción, julio 2018.

UDT (2023). Informe Final 2024 RT-054-021 “Estudio de factibilidad de producción de pellets”. Unidad de Desarrollo Tecnológico, Universidad de Concepción





