Informe Técnico N° 265

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

INSTITUTO FORESTAL
2023

Las fotografías e imágenes incorporadas en tapas o texto de la presente publicación provienen de archivo institucional o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación.

Informe Técnico N° 265

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

Juan Carlos Pinilla Suarez[1], Felipe Navarrete Ulloa, Karina Luengo Vergara,
Mauricio Navarrete Torres, Joaquin García Inostroza y Karoline Casanova del Río

Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobio
FNDR /FIC-2021 Código Bip 40036155
Financiado por el Gobierno Regional del Bio Bio

INSTITUTO FORESTAL
2023

[1] Investigadores, Instituto Forestal, Sede Bio Bio, Concepción, Chile. jpinilla@infor.cl

INSTITUTO FORESTAL - Chile
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago.
F. 56 2 223667115
www.infor.cl

ISBN N° 978 956 318 274 – 3 Versión Impresa
ISBN N° 978 956 318 275 – 0 Versión Digital
Registro Propiedad Intelectual N° 2024 A 4957

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

Pinilla, J.C.; Navarrete, F.; Luengo, K.; Navarrete, M.; García, J. y 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. P. 34.
https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32706

INDICE

	Página
PRÓLOGO	1
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES SOBRE EL PELLET	5
El Pellet	5
Usos del Pellet	10
Caracterización del Pellet y Abastecimiento de Materia Prima	10
Plantas de Pellet en Chile	10
OBJETIVOS DEL ESTUDIO	14
MATERIAL Y MÉTODO	14
Diseño Proceso Obtención Biomasa para Fabricación del Pellet	14
Procesos y Análisis Realizados	16
RESULTADOS	17
Preparación de la Biomasa	17
Ensayos de Peletizado	17
Resultados Caracterización de Pellets	19
- Parámetros Físicos	19
- Parámetros Químicos	25
COMENTARIOS GENERALES	28
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	30
REFERENCIAS	32

PRÓLOGO

La región del Biobío es la principal productora de pellet del país, de 45 plantas productoras de pellet en el país 13 se encuentran en esta región. Indudablemente esto se asocia a la alta concentración de la industria forestal, lo cual es una ventaja para producir este producto recientemente calificado como Biocombustible luego de la aprobación de la Ley 21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía, norma que regula la producción y comercialización de los biocombustibles sólidos, el pellet y la leña entre ellos.

El uso del pellet ha presentado un permanente incremento en el país, originado esto 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 reconoce a la biomasa como un material limpio y renovable.

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

El Instituto Forestal (INFOR) cuenta entre sus líneas de investigación de una 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 combustibles derivados de la madera, entre otros aspectos.

Con el apoyo del Fondo de Innovación y Competitividad de la Región del Biobío (FIC), del Gobierno Regional del Biobío, INFOR está desarrollando el “Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobío”.

Este programa plantea apoyar los esfuerzos para mejorar la competitividad del sector de las energías renovables no convencionales en la región, centrado en la producción y uso de biocombustibles (leña, pellet, otros) y considera el desarrollo de herramientas que permitan el encadenamiento y fortalecimiento de su gestión productiva y comercial, propiciando al mismo tiempo el abastecimiento sustentable de biomasa en la cantidad y la calidad requerida por el sector de los bioenergéticos en la región y la generación de puntos de encuentro de los sectores relacionados con estos en la región.

El Programa FIC se originó a partir de las demandas y brechas detectados en la región en torno al uso de la biomasa como materia prima para la generación de energía, a lo que se agregaron los cambios en los aspectos normativos y los nuevos escenarios de producción y comercialización de biocombustibles derivados de la nueva Ley.

En relación con el pellet, se observó que las empresas productoras manifestaron inquietudes respecto al abastecimiento de materia prima requerido para sus procesos productivos y el aseguramiento de los beneficios a los usuarios de este tipo de combustible.

Por lo anterior, el Programa FIC considera analizar opciones de innovación y desarrollo económico a través de la articulación o encadenamiento productivo de diferentes actores de la bioenergía en la región, el desarrollo de estudios tecnológicos para generación de información y conocimiento y el fortalecimiento de las capacidades de pymes de la energía y propietarios forestales a través de un programa permanente de difusión y transferencia de tecnologías, información, procesos e innovaciones.

En este ámbito, el programa desarrolla estudios para caracterizar la biomasa utilizada en los procesos de producción de pellet y busca ampliar las opciones de abastecimiento de biomasa

forestal utilizando aquellas especies presentes en la región. Con estos fines se genera y difunde información que permita analizar las condiciones actuales de la industria del pellet a nivel regional.

Dentro de este marco se presenta este informe técnico que presenta los resultados de un estudio de caracterización del pellet producido a partir de la mezcla de biomasa de pino radiata y *Eucalyptus globulus*, los cuales fueron comparados con la Norma Chilena 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

El Instituto Forestal (INFOR) en su sede Bio Bío está desarrollando el Programa del Fondo de Innovación y Competitividad (FIC) “Programa estratégico regional para la innovación y desarrollo de oportunidades sustentables en el uso de la biomasa forestal para la generación de energía renovables en la región del Biobío”.

La iniciativa aborda apoyar el desarrollo de mercados de los productos energéticos elaborados en base a biomasa forestal en la región del Biobío, aumentando las opciones de abastecimiento y favoreciendo oportunidades de negocio y avances en la diversificación energética que permitan aumentar y fortalecer la competitividad regional. El Programa FIC se enfoca en apoyar la innovación y el desarrollo económico a través de la articulación y encadenamiento productivo de los actores de la bioenergía en la región, incluyendo el análisis de los nuevos escenarios normativos y su productividad y competitividad. Se ejecutan estudios para generar información y conocimiento para el fomento y uso de la biomasa forestal en la generación de energía en la región. En este trabajo se considera generar espacios para generar una visión común que apoye la coordinación de la innovación y desarrollo de oportunidades en uso de la biomasa forestal como energía,

Este Programa FIC Regional se generó sobre la base de demandas y problemas existentes en la región en relación con el sector de la energía en base a biomasa forestal, reconociendo en ello el carácter forestal del territorio. En ello se incluye los nuevos marcos normativos y requerimientos que este sector enfrentará en el corto plazo.

Se considera, la entrega de manuales técnicos de fabricación, formatos de comercialización y modelos de productividad para leña y el desarrollo de un programa de difusión, capacitación y transferencia para fortalecer capacidades de pymes de la energía y propietarios forestales, todo enfocado en aumentar la competitividad de sectores relacionados con la generación de energía en base a biomasa forestal.

En este escenario, las empresas productoras de pellet han manifestado su inquietud respecto de la seguridad en el abastecimiento de biomasa forestal para sus procesos productivos, del desarrollo de la industria del pellet en general y de los mecanismos y herramientas para mejorar su competitividad**.**

Teniendo presente la estrecha relación entre la industria del aserrío y la industria del pellet, se debe considerar que cualquier variación en la producción del sector del aserrío, incide directamente en el volumen disponible de materia prima para la producción de pellet, lo cual compromete satisfacer la demanda creciente por este bioenergético. 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.

El presente informe presenta los resultados de los estudios de los parámetros físicos y químicos principales del pellet elaborado a partir de mezclas de biomasa de pino radiata con *Eucalyptus globulus*, 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, siendo neutra en las emisiones de carbono frente a la generada por combustibles como el petróleo y sus derivados, y el carbón mineral, condiciones que la transforman en una energía renovable y limpia.

Los recursos forestales y sus productos derivados constituyen una de las principales exportaciones del país, lo que implica un elevado volumen de subproductos provenientes de la

industria forestal primaria y secundaria. Estos subproductos actualmente son utilizados por las empresas forestales como recurso energético renovable para su abastecimiento térmico y eléctrico mediante procesos de cogeneración para sus procesos industriales, como el secado de la madera aserrada y la producción de celulosa, entre otros, e incluso entregando excedentes de energía eléctrica al sistema interconectado del país (Bellolio y Karelovic, 2011).

Desde la perspectiva económica, la energía de biomasa forestal tiene un vasto potencial en Chile, teniendo como fuentes generadoras recursos provenientes del manejo del bosque nativo, las plantaciones forestales, masas asilvestradas y los subproductos de la industria del aserrío.

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 y 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).

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, a lo que se agregan suministros limitados y sujetos a fuerzas políticas y económicas.

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

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Determinar la factibilidad de producción de pellet a partir de diferentes mezclas de biomasa de especies forestales que crecen en la región del Biobío, que han demostrado su adaptabilidad a las condiciones de sitio junto con un adecuado crecimiento y productividad, y caracterización según normas del pellet producido.

ANTECEDENTES SOBRE EL PELLET

El Pellet

Cualquier escenario de inseguridad energética genera amenazas y pérdida de competitividad, y es al mismo tiempo una oportunidad para fomentar el uso de energías renovables, como es la participación de la biomasa forestal como fuente de diversificación de la matriz energética, ya sea para la generación de electricidad, energía térmica o agua sanitaria, a través del uso de productos energéticos fabricados a partir de biomasa forestal como son el pellet, la leña o el chip térmico, que permitan satisfacer necesidades energética a nivel domiciliario e industrial.

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.

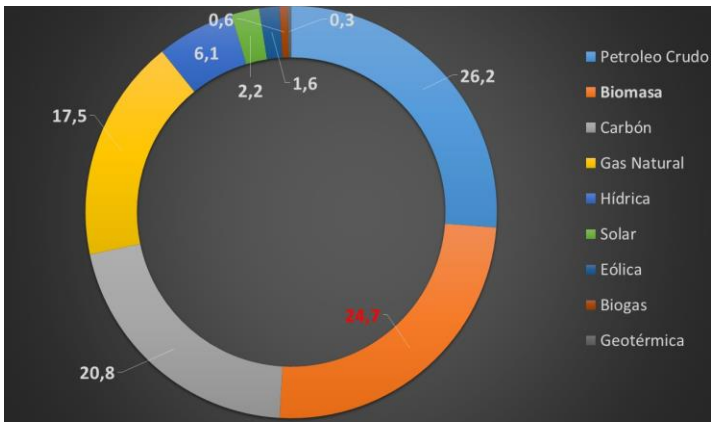
Este escenario requiere generar un entorno que cuente con la participación de todos los actores, de manera que en forma conjunta puedan avanzar hacia la sustentabilidad de energía, donde sea posible la articulación, investigación, innovación y la generación de herramientas de apoyo para la adecuada gestión de la biomasa para energía aprovechando la vocación forestal de los territorios.

Ello también en la búsqueda de opciones y medidas que permitan aumentar la productividad, apoyar el crecimiento económico y la generación de empleo, así como impulsar el desarrollo de nuevos emprendimientos y oportunidades de negocios relacionados a la generación de energías renovables.

La matriz energética de Chile está compuesta principalmente por combustibles fósiles que se deben importar y sobre los cuales existe incertidumbre y variabilidad respecto de su precio y disponibilidad, siendo afectados por las fluctuaciones del precio internacional del petróleo y los problemas de abastecimiento del gas natural.

Respecto del consumo de la biomasa como calefacción domiciliaria, esta se utiliza fundamentalmente a través de estufas de combustión lenta, con un incremento en el uso de pellet, como ya se ha señalado.

En Chile la participación de la biomasa en la matriz energética primaria alcanza al 25%, siendo superada solo por los combustibles derivados del petróleo (Figura N°1), y representa el 92% de las energías renovables. La leña sin duda es el principal energético que se utiliza en un alto porcentaje de los hogares de la zona Centro-Sur del país, con cifras que señalan que cerca de 2 millones de hogares utilizan leña y que cerca del 30% de los hogares en todo el país usan leña, con especial fuerza en las regiones de los Ríos, Los Lagos y Aysén (CDT, 2019 (Ministerio de Energía, 2023).



(Fuente: Ministerio de Energía, 2023)

Figura N° 1
EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA OFERTA DE ENERGÍA PRIMARIA

La biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar y si esta se produce en forma sostenida, en el mismo nivel en que se consume, esa batería durará indefinidamente. En el caso del uso de pellet, durante la combustión se libera una mayor cantidad de elementos amigables con el medio ambiente, en comparación al uso de combustibles fósiles, representando una solución de calefacción en estufas y calderas eficientes para utilizar en la actualidad como una alternativa de reemplazo a la leña.

Las principales características técnicas del pellet están dadas por su alta densidad y homogeneidad, tanto en la textura y forma, además de presentar un bajo contenido de humedad y un comportamiento similar a un fluido en manipulación y rendimiento, convirtiéndose así en un combustible sólido limpio y eficiente, al alcanzar una combustión cercana al 98,5%, con una baja producción de ceniza y emisiones. La elección de un pellet de calidad es muy importante, ya que se asegura un mayor aporte calorífico y un adecuado funcionamiento de las calderas o estufas de biomasa. Un pellet de mala calidad deja un exceso de residuos y puede acabar atascando el funcionamiento de estos artefactos.

El pellet de madera, se ha consolidado como un recurso energético de gran relevancia en la actualidad. Este combustible sólido, obtenido a partir de la compactación de los subproductos de madera, ha experimentado en el país un permanente incremento en su demanda. Esta creciente preferencia 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 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.

Este aumento constante en la demanda refleja la búsqueda continua de soluciones energéticas más limpias y viables, ubicando al pellet como un protagonista en la transición hacia una matriz energética más sostenible. Además, el pellet es parte de los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), PDA que en el caso de la región Biobío, aborda la comuna de Los Ángeles y el Gran Concepción, este último con 11 comunas.

En los últimos años en Chile, el uso de pellet como combustible para su uso domiciliario o industrial, ha presentado un incremento en su consumo. Esto se debe principalmente a:

- Problemas ambientales atribuibles al uso de la leña húmeda (sobre el 25% en contenido de humedad).

- Oportunidad de dar uso a un recurso disponible, derivado de la industria del Aserrío y remanufactura, principalmente de pino radiata.
- Apoyar los programas de descontaminación.
- Representar una alternativa de calefacción cómoda y fácil de usar y almacenar, a lo que se agregan cambios culturales en los consumidores.
- Existencia de un programa de recambio de calefactores (Ministerio de Medio Ambiente) y Programas de Descontaminación Ambiental (PDA) en algunas ciudades.

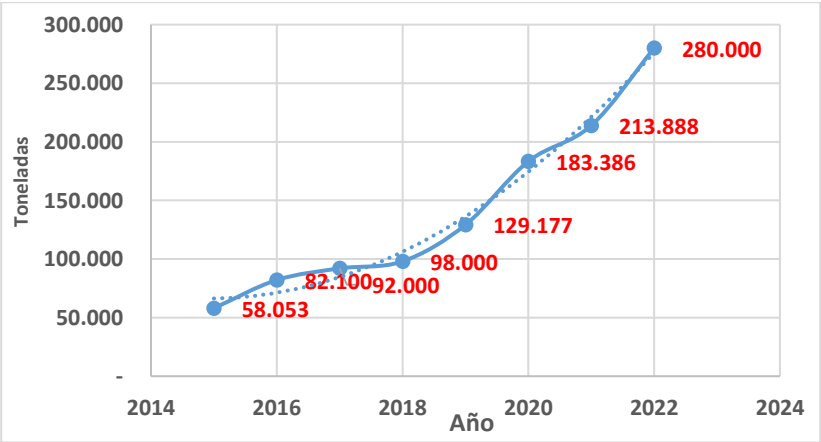
Este aumento de la demanda ha implicado un mayor requerimiento por biomasa proveniente de la industria del aserrío, principalmente a partir de pino radiata, donde el volumen de aserrín y viruta es el requerido para el proceso productivo del pellet. El aumento de la demanda por este biocombustible implica, 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, la polución ambiental y la eficiencia energética, entre otros.

De trabajos anteriores de INFOR sobre la industria del pellet (Salazar, 2018; Pinilla y Luengo, 2021; Pinilla *et al.,* 2022) se obtiene la producción de pellet de madera según año, 2015 a 2022, que se indica en el Cuadro N°1 y Figura N°2.

Cuadro N°1
PRODUCCIÓN DE PELLET EN CHILE SEGÚN AÑO

Año	Producción (t)
2015	58.053
2016	82.100
2017	92.000
2018	98.000
2019	129.177
2020	183.386
2021	213.888 (*)
2022	280.000 (**)

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



(Fuente: INFOR, elaboración propia)

Figura N° 2
PRODUCCIÓN DE PELLET EN CHILE SEGÚN AÑO

En general, se han detectado diferentes brechas a partir del trabajo de distintas instituciones y de los productores de pellet, las que se pueden resumir en:

- No existe información permanente y actualizada en ámbitos de la oferta y el consumo de pellet (déficit), y otros antecedentes relacionados.
- Se requiere de conocer la disponibilidad real de materia prima para la producción de pellet por región y desarrollos de tecnología e innovaciones en las distintas etapas de la cadena de valor del pellet para aumentar la disponibilidad de materia prima.
- Asegurar la calidad del pellet, cumpliendo con parámetros exigidos según la nueva normativa a implementar.
- Analizar opciones del modelo de producto, estableciendo requerimientos y costos sobre la utilización de la biomasa extraída directamente desde el bosque para su uso en la producción de pellet.
- Opciones para aumentar el abastecimiento de biomasa forestal para su uso en la producción de pellet.

Una de las mayores interrogantes que hoy enfrenta la industria de pellet se relaciona con si se podrá contar con la materia prima requerida, en adecuada calidad y cantidad, para responder a la demanda creciente por este producto que se ha podido observar en los últimos años y que se espera siga creciendo en los próximos.

Esto es un factor clave que posibilita o impide la concreción de nuevos emprendimientos en este sector. El abastecimiento de biomasa de adecuada calidad es una de las etapas principales de la producción de pellet, dado que en la actualidad existe una completa dependencia con el desarrollo productivo de la industria del aserrío, única abastecedora de la industria del pellet.

En cuanto a las características de esta biomasa, su calidad es relevante en el proceso de peletizado, dado que una biomasa inadecuada (húmeda, sucia, con metales, etc.) genera problemas en el proceso de fabricación, ya sea afectando los equipos para su fabricación o bien, en la calidad del producto final, lo que afectaría a los artefactos donde se combustiona el pellet.

Es necesario por tanto trabajar para generar información formal y validada, la cual pueda estar disponible para disminuir brechas y superar las actuales barreras para el desarrollo de este biocombustible.

Desde el punto de vista del abastecimiento de materia prima, las actuales fuentes de biomasa son los subproductos secos generados en la industria del aserrío y remanufactura de madera, principalmente aserrín y viruta, los cuales dada la alta demanda que han tenido enfrentan en la actualidad una reducción de su volumen disponible, debido a requerimientos de las propias plantas de pellet que aumentaron su producción, a la generación de energía que requieren los aserraderos para sus propios procesos productivos, a su uso en calderas de generación, procesos de la agroindustrias (secado, calefacción), la industrias de tableros y los planteles de crianza, entre otros. La principal fuente de abastecimiento corresponde a materia prima de pino radiata, pero también en un porcentaje menor basa su producción en especies como pino oregón y lenga.

Como se ha señalado, 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 se estima en el año 2022 alcanzó un volumen total cercano a los 4,74 millones de metros cúbicos, como resultado de un flujo que se inició con el consumo de 16,3 millones de metros cúbicos sólidos con corteza (m^3 scc) de trozos aserrables, para una producción de 7,86 millones de metros cúbicos de madera aserrada. 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 que se mantuvieron trabajando.

Los principales destinos de estos subproductos fueron la comercialización (62,4%) y el autoconsumo (35,6%) (Gysling y Bañados, 2023). Para el sector del pellet, estos autores 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).

Figura N° 3
MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LA PRODUCCIÓN DE PELLET

Lo anterior ha motivado a que la industria de pellet deba en algunos casos recurrir al uso de biomasa con un mayor contenido de humedad, requiriendo para ello disponer de la tecnología para poder secarla o bien incurrir en gastos para procesos externos de secado. Como se ha señalado, se requiere incrementar los volúmenes potenciales de materia prima, que permitan abastecer la industria del pellet, ya sea buscando alternativas tecnológicas para utilizar los subproductos húmedos disponibles en la industria del aserrío, generar la biomasa a través del establecimiento de plantaciones destinadas para dicho fin, incluyendo el investigar sobre otras especies forestales, y/o producir pellet a partir de mezclas de especies forestales, entre otras opciones, que permitan diversificar la matriz de abastecimiento.

Contar con opciones derivadas de la diversificación de la materia prima y la caracterización de la calidad del pellet resultante representa una opción para disponer de un mayor abastecimiento de materia prima para la industria del pellet. Esto también requiere abordar la utilización de normativas de calidad de los pellets y de sus requerimientos según tipo de consumo, ya sea domiciliario o industrial, validada y actualizada en relación al desarrollo del mercado actual y futuro.

Diversos autores señalan aspectos claves que se utilizan para determinar la calidad del pellet. Algunos de estos aspectos se presentan en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2
CARACTERÍSTICAS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL PELLET

Característica	Requerimiento
Brillantez	Un buen pellet es brillante, con una superficie lisa, longitud uniforme y no debe tener polvo.
Color	Debe tener un color uniforme, pues si presenta una variedad de colores, delataría la presencia de cuerpos extraños, como papel, tierra, plástico u otros materiales no derivados de la madera.
Estructura	Su estructura debe ser compacta, sin grietas ni cortes profundos y al tocarlo, no debe desmoronarse el cilindro.
Densidad	La densidad del pellet debe ser superior a la del agua, una buena manera de comprobarlo es sumergir una porción de pellet en agua, si esta tiene la densidad adecuada se hundirá.
Tiempo de inmersión	También hay que tener en cuenta que, si pasados unos cinco minutos de su inmersión, este sigue hundido y de forma compacta, significa que posee aglutinantes artificiales provocando en su combustión un exceso de humos.

(Fuente: Haverland, 2021)

Usos del Pellet

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).

Caracterización del Pellet y Abastecimiento de Materia Prima

El pellet a nivel nacional es reconocido y clasificado por la Norma Chilena ISO 17225-2 (INN, 2021) que indica su clasificación según parámetros físicos y químicos para que se produzca en el país para su uso a nivel domiciliario o industrial.

En dicha norma, la cual actualmente tiene un carácter voluntario, se identifica los principales parámetros técnicos que debe tener el pellet al momento de su fabricación.

En el nuevo marco legal establecido a partir de la declaración del pellet como un biocombustible (Ley N°21.499 sobre Biocombustibles Sólidos del Ministerio de Energía), en el futuro cercano el pellet producido en el país deberá para su comercialización contar con la certificación o acreditación de calidad según la norma ISO 17225-2.

En Chile se produce principalmente un pellet de carácter domiciliario, principalmente 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.

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 (DU %m/m) = > 96,5%.
- Poder calorífico (KWH/Kg) = >4,6.
- Contenido de cenizas = < 2%

Plantas de Pellet en Chile

A octubre del 2023 se constata el funcionamiento de cerca de 45 plantas de pellet en Chile, distribuidas entre las regiones de Valparaíso y Magallanes.

La distribución y número de plantas productoras de pellet, según región, se presenta en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
DISTRIBUCIÓN Y NÚMERO DE PLANTAS PRODUCTORAS DE PELLET SEGÚN REGIÓN

Región	Plantas (N°)	(%)
Metropolitana	1	2,2
Valparaíso	2	4,4
O´Higgins	2	4,4
Maule	9	20,0
Ñuble	3	6,7
Biobío	13	28,9
Araucanía	7	15,6
Los Ríos	6	13,3
Los Lagos	1	2,2
Aysén	---	
Magallanes	1	2,2
Total	**45**	

(Fuente: INFOR, elaboración propia, noviembre 2023)

Pese a que las plantas productoras de pellet están presentes en varias regiones del país, es importante destacar que en la macrozona conformada por las regiones de Maule, Ñuble, Biobío y La Araucanía se concentra la mayor cantidad de ellas, con un total de 32 plantas, lo que representa el 71% del total de plantas productoras del país.

Biobío es la región con la mayor cantidad de plantas productoras de pellet del país, con un número de 13, representando el 29% del total de plantas productoras. Esta cifra se basa en que la región del Biobío genera la mayor cantidad de subproductos de la industria del aserrío que está siendo utilizada como materia prima por la industria del pellet, tanto en esta región como en las vecinas, debido a los desplazamientos de biomasa hacia otras regiones. En términos de producción, la región del Biobío concentra cerca del 75% de la producción total de pellet del país.

Gysling y Bañados (2023) señalan que la región del Biobío lidera la producción de subproductos madereros del aserrío, con 1,47 millones de m^3 y una participación del 31%, algo inferior a la que registró en el 2021 (32,6%). En segundo lugar, se mantiene la región del Maule, con 1,2 millones de m^3 y una participación del 25,3%, que tuvo una baja de medio punto porcentual respecto del 2021. El tercer lugar es para La Araucanía, con el 14% de la producción de subproductos y el cuarto para Ñuble con el 12,8%. En estas cuatro regiones se concentra la mayor parte de la actividad industrial basada en la madera de pino radiata, particularmente la del aserrío, donde esta especie participa con cerca del 98% de la producción nacional.

En cuanto al número de plantas productoras, es importante mencionar que en marzo del año 2022 se contabilizaban cerca de 24 empresas en el país, cantidad que se elevó a 45 en 2023. Si bien el aumento es importante, hay que considerar que la producción de subproductos de la industria del aserrío utilizables por la industria del pellet (aserrín, viruta) se ha mantenido estable, en una cifra cercana a los 3 millones de toneladas, es decir, la disponibilidad de biomasa para la industria pellet es la misma, pero aumentó el número de plantas. Además, de las diferencias en cuanto al tipo de materia prima que utilizan para la fabricación de pellet, entre las 45 plantas existen diferentes capacidades productivas, nivel de avances tecnológicos en sus procesos y diferenciación de la modalidad de abastecimiento de materia prima, entre otros aspectos.

La producción de pellet puede verse afectada por diversos factores, algunos de los cuales requieren de información que permita a los productores tomar adecuadas decisiones según condiciones de mercado y proyecciones de consumo.

Dada la importancia que tiene el abastecimiento en calidad y cantidad de materia prima, la estrecha relación entre la industria del pellet y la del aserrío es un factor que debe ser monitoreado. Ello significa la necesidad de construcción de indicadores, seguimiento, cuantificación y monitoreo permanente, de modo de prevenir situaciones o riesgos de desabastecimiento de biomasa.

Dado los escenarios de consumo que señalan un aumento de la demanda en los próximos años, derivado de políticas ministeriales o cambios en las preferencias del consumidor, se hace indispensable la comunicación entre la industria del aserrío y la del pellet, reconociendo que la disponibilidad de subproductos del aserrío para su uso en pellet (y otros productos o mercados) tiene un límite superior cercano a las 3 millones de toneladas, lo que sin duda debe ser considerado en las proyecciones futuras, planificación de políticas públicas y toma de decisiones.

Se requiere, entonces, aumentar la disponibilidad de los subproductos generados por la industria del aserrío y remanufactura, viruta y aserrín de pino radiata, lo que indudablemente se relaciona con el mayor uso de la madera en la construcción y otros productos. Lo mismo sucede con estrategias de difusión entre los aserraderos de modo de poder, por ejemplo, disponer de mayor cuidado en su almacenamiento.

Una de las opciones identificadas es la utilización de biomasa proveniente de otras especies forestales. Para esto se requiere de información para poder contar en forma segura con esta biomasa, la que se refiere principalmente a las superficies que abarcan según región, ubicación, disponibilidad y su calidad para producir pellet, entre otros aspectos (Pinilla *et al*., 2021). Ello implica necesariamente modificaciones en el proceso de producción, incorporando etapas de cosecha, trozado, descortezado y astillado.

El poder contar con esta información condiciona de manera importante las opciones para su utilización en la producción de pellet, lo que debe ser apoyado con estudios tecnológicos que entreguen información validada a nivel de escala comercial, de manera de identificar nuevas fuentes de abastecimiento de materia prima proveniente de nuevas especies forestales (Pinilla *et al*., 2021).

En el tema tecnológico se requieren de estudios del tipo de biomasa y su calidad a utilizar para la producción de pellet en Chile, analizando distintas especies, características del aserrín o virutas y el uso de mezclas de biomasa, principalmente con pino radiata. Esto requiere de un programa de estudio con su respectivo análisis de calidad en laboratorio, cuyos resultados puedan estar a disposición de la industria.

Con este propósito se realizó un estudio de caracterización del pellet producido a partir de mezclas de biomasa de dos especies forestales que crecen en la región del Biobío, las que corresponden a *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, especies que han demostrado su potencial de crecimiento en la región, como opción de abastecimiento de materia prima para la producción de pellet con la calidad acorde a lo establecido por las normas. El Programa FIC desarrolla iniciativas para apoyar el desarrollo de mercados de los productos energéticos elaborados en base a biomasa forestal en la región del Biobío, intentando aumentar las opciones de abastecimiento y oportunidades de negocio apoyando la diversificación y seguridad energética que permita fortalecer la competitividad regional (INFOR, 2021).

El grupo objetivo para enfrentar estos nuevos escenarios necesita de herramientas e información estratégica, que les permita aumentar su competitividad y la sustentabilidad de sus negocios, siendo las inversiones en Energías Renovables No Convencionales (ERNC) una opción para ello, a lo que se agrega la difusión de los aspectos tecnológicos para fomentar su utilización, propuestas de desarrollo y capacitación para aumentar la oferta de biomasa desde los predios.

La iniciativa FIC abarca, entre otros temas, generar información técnica para favorecer el uso del pellet como ERNC, a través de la obtención de información validada que apoye el desarrollo el proceso productivo y su mercado en conjunto.

En el marco de este programa se realizó el estudio de caracterización del pellet producido a partir de 2 especies forestales, de manera de evaluarlo para su utilización como materia prima para la elaboración de pellet.

La elección de la especie *Eucalyptus globulus* para la realización del estudio se basa en la superficie que cubre en el país, con 580.493 ha, siendo la segunda especie forestal plantada luego del *Pinus radiata*, especie que cuenta con una superficie de 1.266.576 ha. *Eucalyptus globulus* representa el 25,1% de la superficie de plantaciones forestales, acumulada a diciembre de 2021, y en la región del Biobío la especie cuenta con una superficie de 187.667 ha, representando el 29,6% de superficie de plantaciones forestales en la región (Poblete *et al*., 2023).

Por las razones expuestas se seleccionó a esta especie para la realización del estudio de mezclas de biomasa para la producción de pellet, además de conocer de la experiencia en Brasil, en donde un importante número de plantas productoras utiliza diversas especies de eucalipto en sus procesos.

Un reciente estudio de INFOR señala que, en cuanto a los países exportadores de pellets, Brasil es el principal país que abastece a Chile (Pinilla *et al.,* 2023).

MATERIAL Y MÉTODO

Para el desarrollo del estudio, se obtuvo muestras de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*. Las muestras de eucalipto se obtuvieron a partir de la cosecha de árboles de la especie desde un rodal en la zona de Tomé, los que fueron descortezados en terreno, trozados y trasladados a la sede Biobío de INFOR en Concepción, para proceder a su chipeado.

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. Posteriormente, la fabricación del pellet y su análisis de caracterización fue realizado en el laboratorio de la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción.

La metodología general consideró las siguientes etapas:

- Obtención y acondicionamiento de las materias primas (*Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*) para el proceso de producción de los pellets, incluyendo los pasos previos de triturado y secado.

- Preparación de 3 mezclas de biomasa de ambas especies, considerando las siguientes proporciones:

Cuadro N° 4
MEZCLAS DE BIOMASA UTILIZADAS EN EL ESTUDIO

Mezcla	Porcentaje de Biomasa	
	***Eucalyptus globulus* (%)**	***Pinus radiata* (%)**
1	50	50
2	25	75
3	75	25

- Proceso de producción de pellets con la materia prima en dependencias del laboratorio de la Universidad de Concepción (Unidad de Desarrollo Tecnológico, UDT), proceso que consideró para la generación del producto la definición de los rangos de humedad y el tamaño de la matriz.

- Ensayo de caracterización en el Laboratorio de Servicios Analíticos, realizando un análisis de los pellets elaborados respecto de la Norma ISO 17225-2 "Biocombustibles sólidos - Especificaciones de combustibles y clases - Parte 2: Certificación de Pellet de madera" (INN, 2021), norma que especifica valores máximos para distintos parámetros fisicoquímicos como diámetro, longitud, contenido de cenizas, durabilidad, poder calorífico, entre otros.

Diseño Proceso Obtención Biomasa para Fabricación del Pellet

Para el desarrollo del estudio, se realizó el diseño de la metodología para obtener la biomasa requerida para la fabricación del pellet, la que consideró:

- Selección de rodal desde donde obtener la biomasa requerida de *Eucalyptus globulus.*

- Cosecha de un número determinado de árboles (10).

- Descortezado y trozado de los árboles en terreno.

- Transporte de la biomasa a la sede de INFOR en Concepción.

- Astillado de las trozas de *Eucalyptus globulus* para la obtención de al menos 60 kilos de biomasa.

- Obtención de aserrín seco desde la empresa Green Pellets

- Preparación de las 3 muestras de mezclas de biomasa, de aproximadamente 40 Kg de cada mezcla.

- Envío mezclas de biomasa previamente identificada, al laboratorio de la UDT de la Universidad de Concepción, para la fabricación y caracterización de pellet basadas en los parámetros técnicos definidos en la norma.

- En el laboratorio de la UDT se procedió a realizar una molienda de la materia prima a un tamaño final de 5 mm y asegurar, además, un porcentaje de humedad inferior a un 10% de las mezclas de biomasa.

- Se elaboraron los pellets en la UDT utilizando una peletizadora móvil con una capacidad de 100 kg/h, gestionando parámetros como la humedad inicial de las materias primas y la razón de alimentación, de manera de poder obtener pellets de madera de la mejor calidad posible, elaborando un pellet de 6 mm de diámetro.

- Una vez obtenidos los pellets a partir de las diferentes mezclas de biomasa, estos fueron caracterizados según los parámetros de la NCh-ISO 17225-2, generando una ficha técnica por cada muestra. Los análisis requeridos fueron:

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

El proceso de obtención de las muestras de biomasa y su acondicionamiento previo al proceso de peletizado incluyó previamente el triturado y tamizado.

Figura N° 4
VOLTEO Y EXTRACCIÓN DE MUESTRAS, DESCORTEZADO, ASTILLADO, TAMIZADO Y BIOMASA OBTENIDA

Procesos y Análisis Realizados

Con los estudios de fabricación de pellet a partir de diferentes mezclas de biomasa y su caracterización energética, se realizó una búsqueda de información bibliográfica y se efectuaron consultas a productores de pellet, en cuanto a cuáles serían los parámetros más relevantes a considerar en la evaluación del pellet producido, así como también revisar las normas existentes que regulan el proceso de generación y caracterización de este energético.

Este proceso de consulta y revisión señala en el tema de caracterización energética del pellet que se deben evaluar algunos parámetros físicos básicos y que el resultado de este análisis se debe comparar con la norma chilena existente ISO 17.225-2, que establece rangos para la clasificación del pellet.

Estos parámetros corresponden a características físicas, como durabilidad, contenido de finos, humedad y contenido de cenizas, y poder calorífico.

RESULTADOS

Preparación de la Biomasa

En la Figura N°5 se muestra el material tal cual fue recibido.

Figura N° 5
MUESTRAS 1, 2 Y 3 ENVIADAS A LA UDT

Las mezclas de biomasa presentaron un promedio de 23,5% de contenido de humedad y una granulometría mayor a 5 mm, por lo que las muestras fueran sometidas a etapa de secado seguido de molienda, antes de iniciar el proceso de peletizado. Para el secado de las mezclas se utilizó un secador rotatorio con vapor sobrecalentado (120°C) obteniéndose un contenido de humedad final de 12,6%. Para el proceso de molienda se utilizó un molino de martillo con malla de 5 mm para asegurar obtener una muestra homogénea previa al peletizado.

Figura N°6
BIOMASA A UN TAMAÑO FINAL DE 5 MM DE LAS MEZCLAS 1, 2 Y 3, OBTENIDAS LUEGO DEL PROCESO DE MOLIENDA

Ensayos de Peletizado

Posterior a la molienda de las materias primas se procedió a realizar las pruebas de peletizado de las muestras con las humedades luego del secado, las que correspondieron entre el 12 y 15%. Se utilizó un equipo con capacidad de 100 kg/h y matriz de 6 mm. Una de las variables a monitorear en el proceso de peletizado es la humedad inicial de la materia prima, la que puede variar según la materia prima, el equipo y el proceso de operación. Considerando que se trata de mezclas de biomasa que incluye a eucalipto, que se estima un material más duro, lo que puede generar calor en la matriz de la peletizadora, lo que seca aún más el material durante la formación del pellet. Según el proceso, puede existir la necesidad de humectar la muestra mediante adición de agua pulverizada y homogeneización en equipo mezclador.

El peletizado de la muestra M1 (50% de *Pinus radiata* y 50% *Eucalyptus globulus*) no requirió humectación y por lo tanto se trabajó a 14,1% de humedad, logrando peletizar con éxito la muestra y obteniendo pellet con buena dureza y de tamaño un poco menor respecto de la muestra M2 (75% *Pinus radiata* y 25% *Eucalyptus globulus)*. El proceso se realizó de manera continua sin observarse sobrecalentamiento de la matriz.

La muestra M2 debió ser humectada hasta un 14,5% de humedad, obteniendo pellets de buena calidad, con un leve sobrecalentamiento de la matriz. Los pellets generados fueron de tamaño normal, con una buena dureza al enfriase y baja cantidad de material sin conformar (material que no llegó a transformarse en pellet).

En el caso de la muestra M3 (75% de *Eucalyptus globulus* y 25% de *Pinus radiata*) se debió ajustar la humedad hasta un 15,7%, logrando obtener pellets de buena apariencia y tamaño, pero más quebradizos que el obtenido con las muestras M1 y M2 y con mayor cantidad de material residual no utilizado para producir pellet.

Se observa que, al aumentar la proporción de eucalipto, biomasa de mayor dureza, se sobrecalienta la matriz de la peletizadora, resultando, además, un pellet de un color un poco más oscuro, derivado esto último del mayor sobrecalentamiento.

Figura N°7
PELLETS PRODUCIDO A PARTIR DE LA MEZCLA DE BIOMASAS, MEZCLAS 1, 2 Y 3

Durante el proceso inicial se observó también la generación de material fino que pasó por el equipo sin llegar a generar pellet. Una consecuencia en situaciones de baja humedad del material es el aumento de la fricción y temperatura en la matriz del equipo de peletizado, lo cual ocasiona una descomposición de la superficie de los pellets que se logró formar.

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.

Se obtuvieron pellets de buena calidad, de tamaño normal y dureza, además de una baja cantidad de material residual no utilizado para producir pellet.

Resultados Caracterización de Pellets

En el Laboratorio de Servicios Analíticos de la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la UDT se realizó la caracterización física de los pellets producidos a partir de las mezclas de biomasa analizadas, comparando los resultados 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. La norma cubre solo pellets de madera producidos a partir de las materias primas siguientes:

- Bosque, plantaciones y otra madera virgen.
- Subproductos y residuos de la industria del procesado 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 N°5.

Cuadro N°5
RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICOS DEL PELLET PRODUCIDO SEGÚN MEZCLA DE BIOMASA

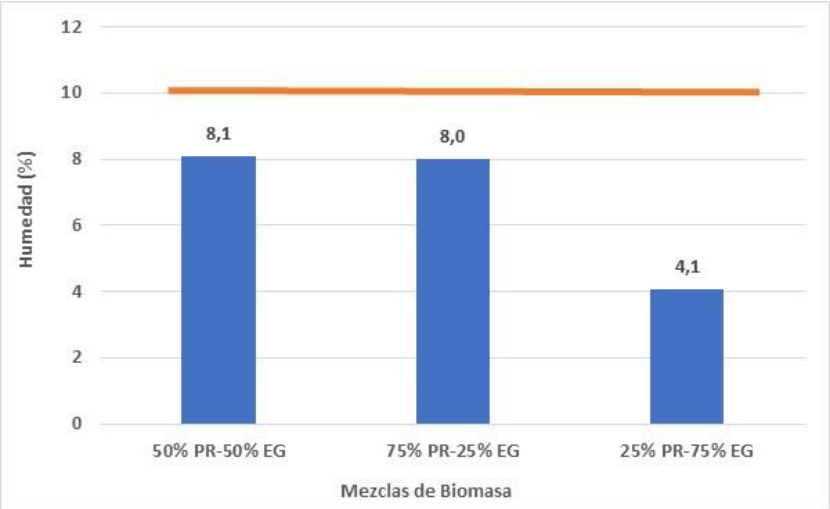
Parámetro	Unidad	Nch-ISO 17225-2			Mezcla Pellet (1)		
		A1	A2	B	M1	M2	M3
Humedad	(%)	<= 10,0			8,08 ± 0,45	8,00 ± 0,18	4,08 ± 0,59
Contenido de Cenizas	(p/p)*	<= 0,7	<= 1,2	<= 2,0	0,52 ± 0,21	0,25 ± 0,1	0,56 ± 0,08
Durabilidad Mecánica	(p/p)	>= 97,5	>= 97,5	>=96,5	86,77 ± 1,29	88,48 ± 2,61	83,1 ± 4,13
Finos	(%)	<= 1,0			8,24 ± 0,66	7,98 ± 3,42	13,28 ± 0,29
Poder Calorífico Inferior	(MJ/Kg)	>= 16,5			16,77	16,82	16,53
Diámetro de Pellet, D06	mm	6 ± 1,0			6,56 ± 0,29	6,54 ± 0,34	6,55 ± 0,25
Longitud de Pellet	mm	3,15 <= L >= 40			11,22 ± 3,87	12,25 ± 3,36	11,57 ± 3,77

(Fuente: UDT, 2023)
(1): Mezcla 1: 50% de Pino radiata – 50% *Eucalyptus globulus*
Mezcla 2: 75% de Pino radiata – 25% *Eucalyptus globulus*
Mezcla 3: 25% de Pino radiata – 75% *Eucalyptus globulus*
* p/p: Porcentaje Peso a Peso (% P/P)

En relación con lo establecido por la norma NCh-ISO 17225-2, para la clasificación de los pellets, las categorías del Cuadro N° 5, referidas como A1, A2 y B, corresponden a:

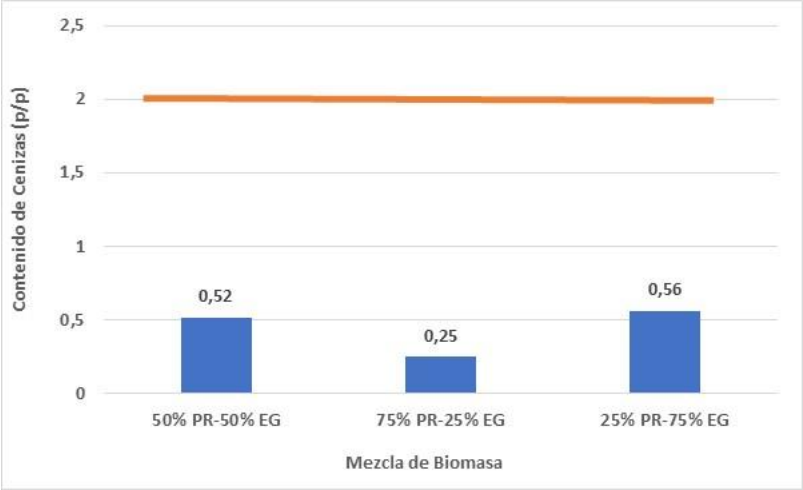
A1: Pellet producido a partir de biomasa de fuste y residuos de madera no tratada químicamente
A2: Pellet producido a partir de árboles enteros sin raíces, fuste, restos de poda, residuos de madera no tratada químicamente
B : Pellet producido a partir de biomasa de bosques, plantaciones y otra madera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

Los resultados de la caracterización física del pellet resultante al utilizar una mezcla de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* se presentan en las siguientes Figuras.



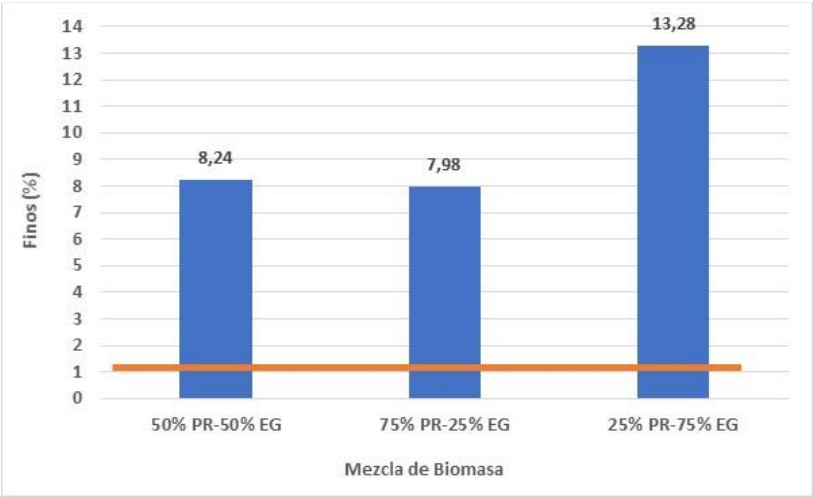
(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N° 8
RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD



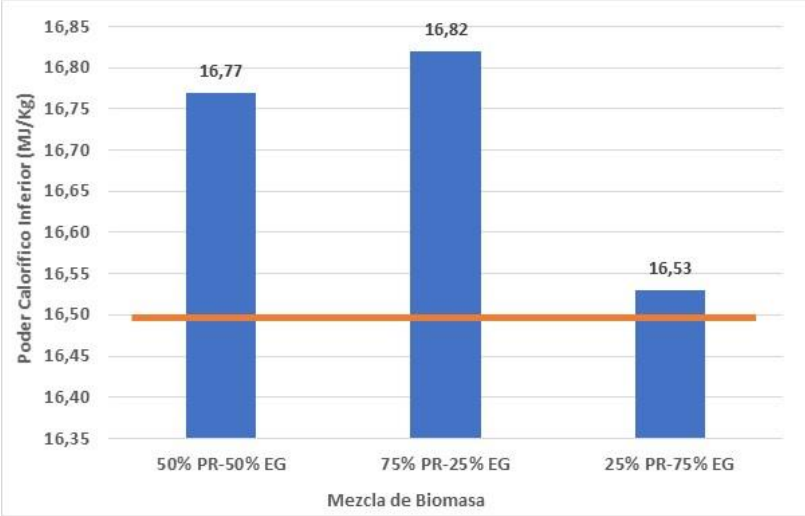
(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N° 9
RESULTADOS DE CONTENIDO DE CENIZAS



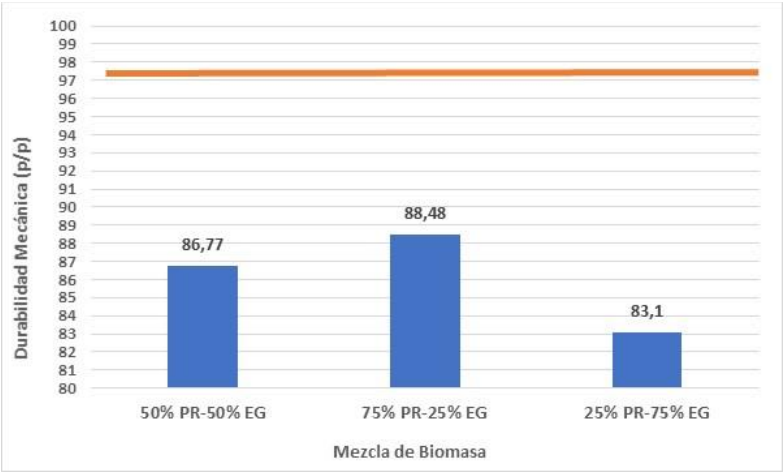
(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N° 10
RESULTADOS DE CONTENIDO DE FINOS



(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N° 11
RESULTADOS DE PODER CALORÍFICO



(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N° 12
RESULTADOS EN DURABILIDAD MECÁNICA

De acuerdo a estos resultados es posible señalar:

- Todos los pellets producidos con las diferentes mezclas de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* cumplen con los parámetros de poder calorífico inferior, humedad, diámetro y longitud de pellets.

- En relación con el contenido de ceniza, el pellet producido con todas las mezclas de biomasa testeadas presenta valores aptos para su uso en el ámbito domiciliario o industrial.

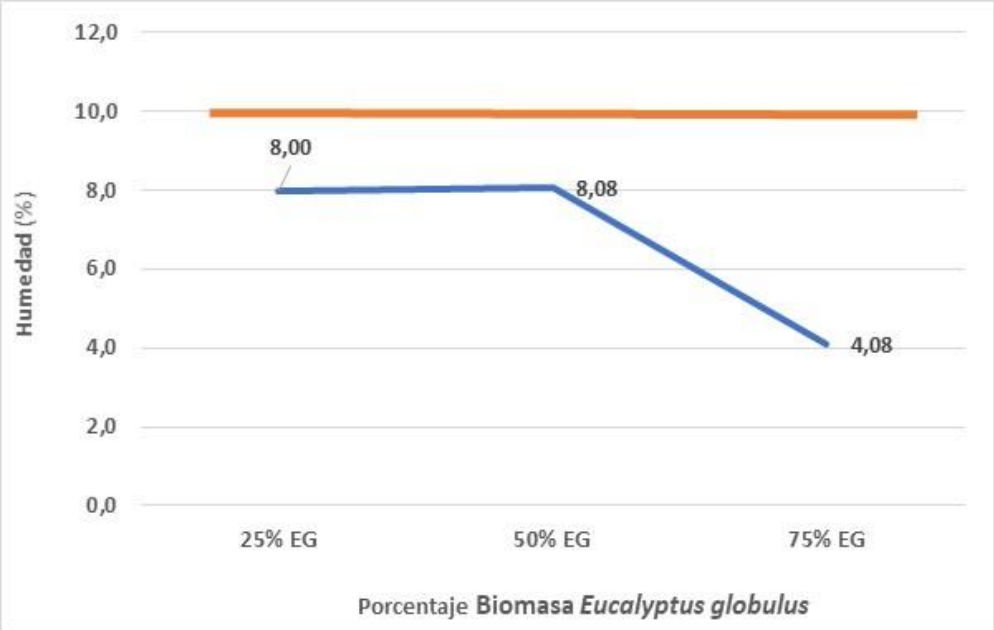
- La durabilidad mecánica y cantidad de finos se encuentran fuera de rango, resultado que debe estar relacionado con el uso en diferentes porcentajes de biomasa de *Eucalyptus globulus.*

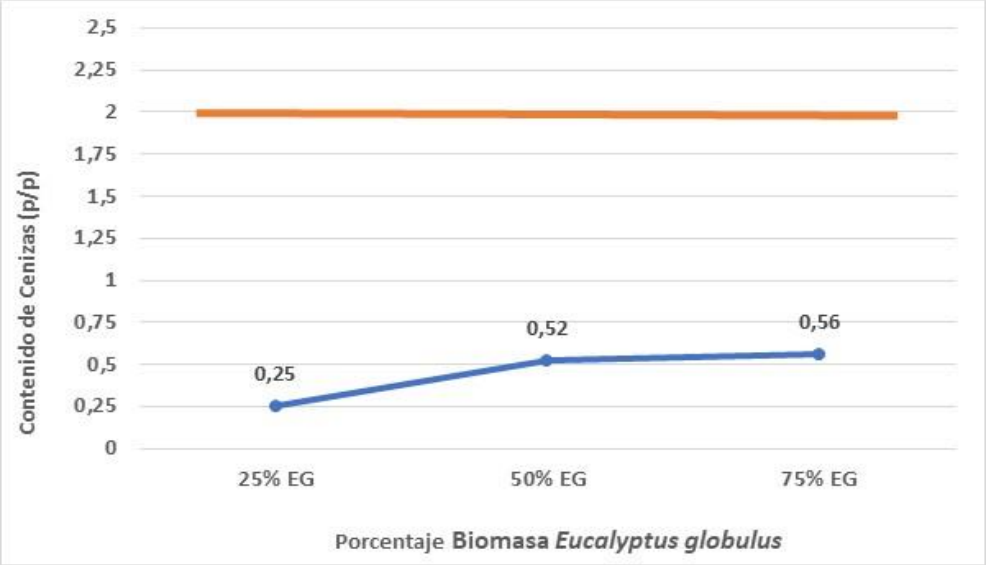
- La mezcla que utilizó un mayor porcentaje de biomasa de *Eucalyptus globulus presentó* mayores complejidades al momento de producir el pellet dado que la mayor dureza o densidad de la madera de esta especie generaba problemas en la molienda.

- Según la literatura los resultados fuera de norma como la durabilidad mecánica y la cantidad de finos pueden ser mejorados mediante un peletizado a mayor escala, ajustando los protocolos según las características físicas que entreguen los pellets durante su elaboración.

Dado que el objetivo del estudio es analizar los resultados de usar distintos porcentajes de participación de *Eucalyptus globulus* en la mezcla para la producción de pellet y los parámetros resultantes de este producto, se clasificaron los resultados según las distintas proporciones de esta biomasa.

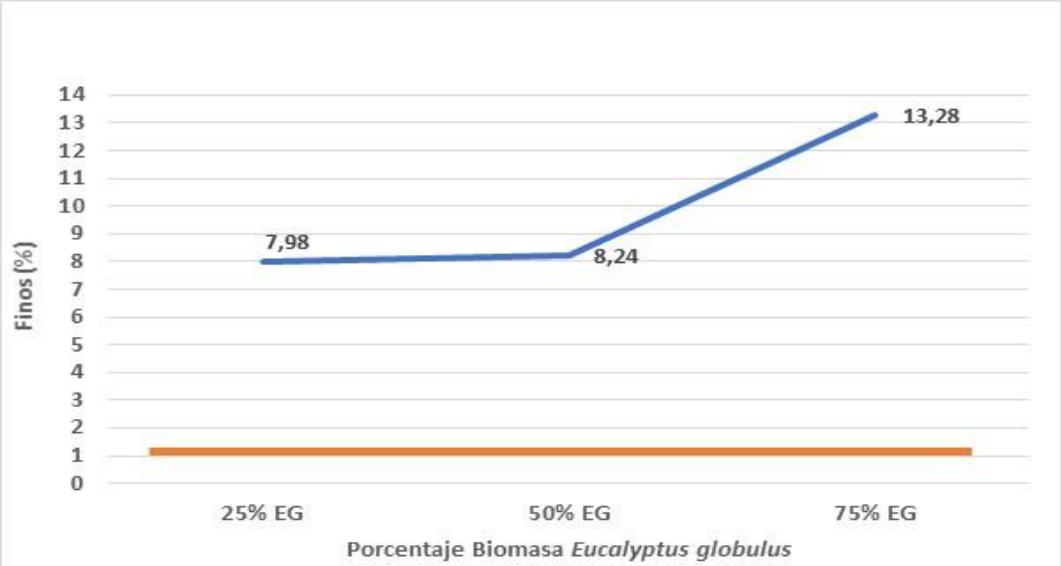
Estos resultados se presentan en las siguientes Figuras donde es posible observar efectos significativos en los distintos parámetros.

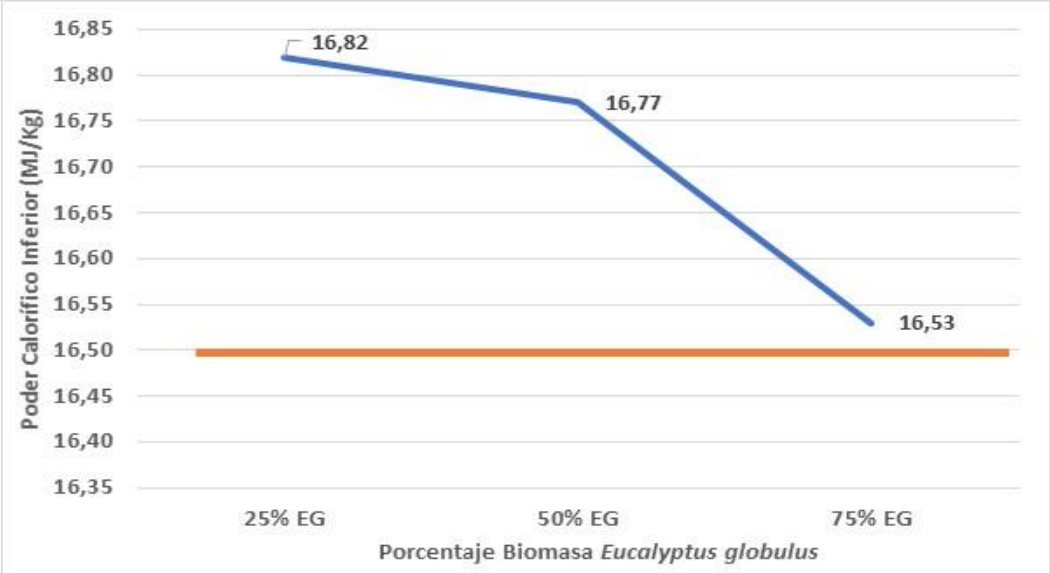




(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

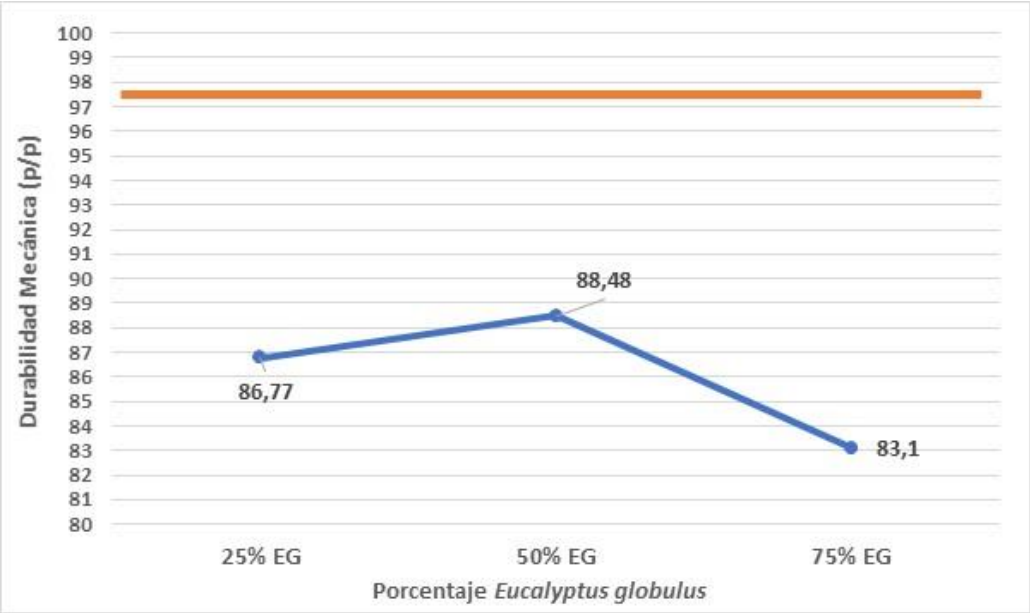
Figura N° 13
RESULTADOS DE HUMEDAD Y CONTENIDO DE CENIZA SEGÚN PARTICIPACIÓN DE LA BIOMASA DE *Eucalyptus globulus*





(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N° 14
RESULTADOS DE CONTENIDO DE FINOS Y PODER CALORÍFICO SEGÚN PARTICIPACIÓN DE LA BIOMASA DE *Eucalyptus globulus*



(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N° 15
RESULTADOS DE DURABILIDAD MECÁNICA SEGÚN PARTICIPACIÓN DE LA BIOMASA DE *Eucalyptus globulus*

- **Parámetros Químicos**

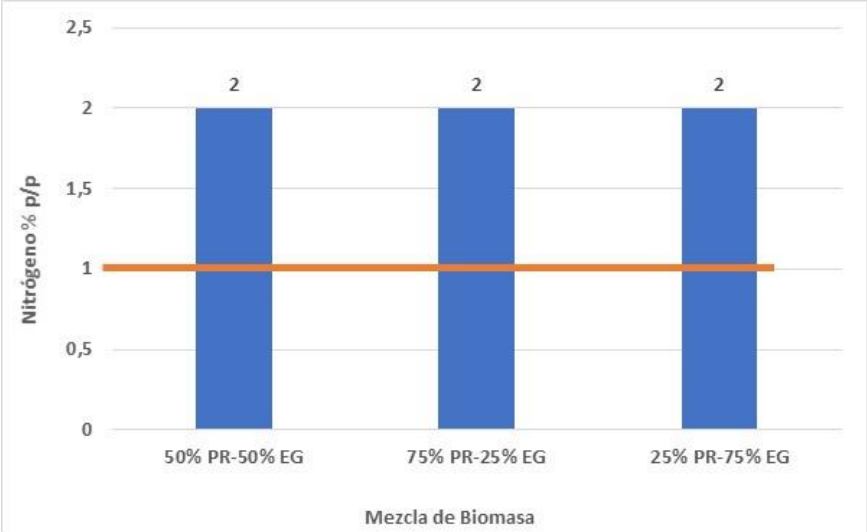
Los resultados de los estudios de la caracterización de los parámetros químicos del pellet fabricado con las 3 mezclas de biomasa se presentan en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6
RESULTADOS DE PARÁMETROS QUÍMICOS DEL PELLET PRODUCIDO SEGÚN MEZCLA DE BIOMASA

Parámetro	Unidad	Nch-ISO 17225-2			Mezclas Pellet (1)		
		A1	A2	B	1	2	3
Nitrógeno	% p/p	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Carbono	% p/p		n/a		46,03 ± 2,2	44,88 ± 0,06	46,13 ± 1,4
Hidrógeno	% p/p		n/a		6,89 ± 0,7	6,94 ± 0,4	7,01 ± 3,7
Azufre	% p/p	≤ 0,04	≤ 0,05	≤ 0,05	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Cloro	%	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03	0,033 ± 0,002	0,028 ± 0.001	0,038 ± 0.000

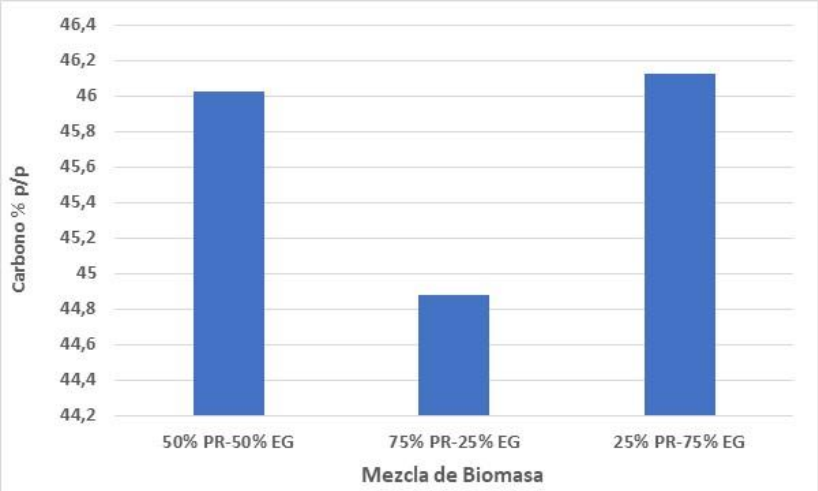
(Fuente: UDT, 2023)
(1). Mezcla 1: 50% de Pino radiata – 50% *Eucalyptus globulus*
Mezcla 2: 75% de Pino radiata – 25% *Eucalyptus globulus*
Mezcla 3: 25% de Pino radiata – 75% *Eucalyptus globulus*

Los resultados de los análisis se presentan en las siguientes Figuras.



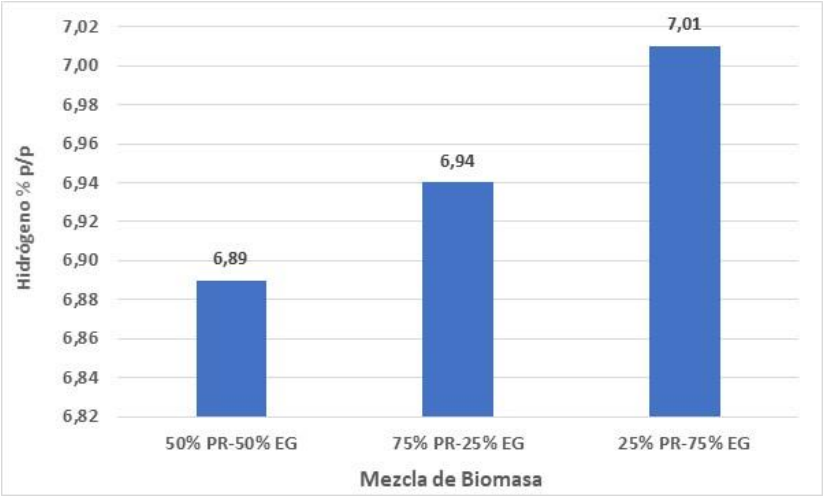
(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N°16
RESULTADOS EN NITRÓGENO



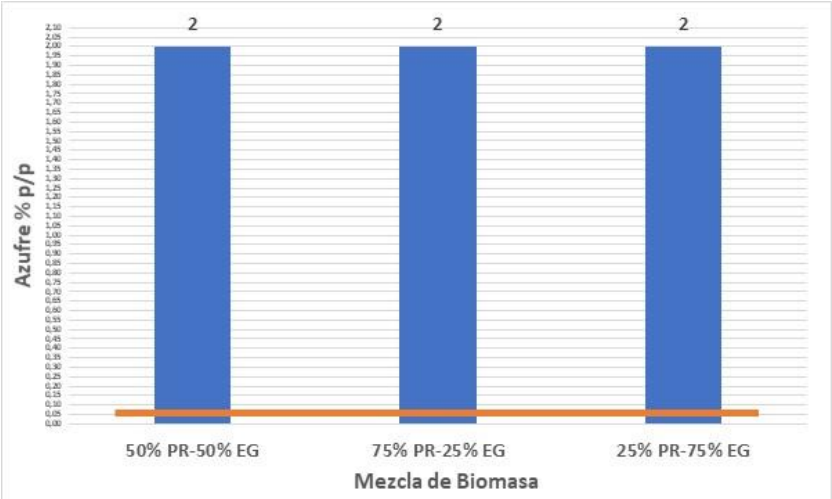
(Sin valor referencia Norma Nch-ISO 17225-2)

Figura N° 17
RESULTADOS EN CARBONO



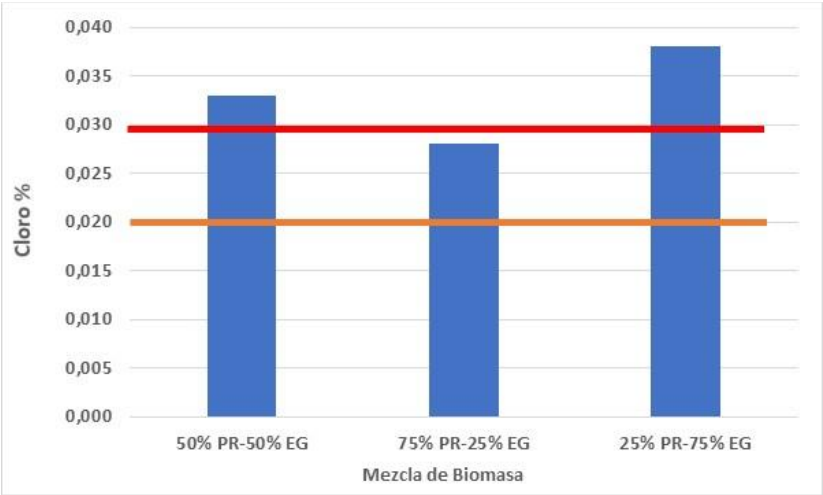
(Sin valor referencia Norma Nch-ISO 17225-2)

Figura N°18
RESULTADOS EN HIDRÓGENO



(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

Figura N°19
RESULTADOS EN AZUFRE



(Valor referencia Norma NCh-ISO 17225-2 -----)

(Valor referencia uso industrial ------)

Figura N° 20
RESULTADOS EN CLORO

De acuerdo a estos resultados es posible señalar:

- Para los parámetros de Nitrógeno, Azufre y Cloro, se observa que todos los pellets producidos con las diferentes mezclas de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* no cumplen con los rangos exigidos, con valores finales superiores a lo establecido.

- En relación con el Cloro se debe señalar que su presencia en valores superiores puede provocar problemas en el funcionamiento de los equipos y su corrosión durante la combustión.

- La utilización de este tipo de mezclas en la producción de pellet debe considerar nuevos estudios de los porcentajes a utilizar de modo de minimizar los valores de los parámetros químicos.

- Según la proporción usada de *Eucalyptus globulus*, se observan efectos significativos en los distintos parámetros

COMENTARIOS GENERALES

El incremento de la actividad económica en torno al mercado de pellets requiere de elementos básicos que actuales y potenciales productores deben conocer para planificar y manejar. Entre estos se cuentan por cierto los costos de producción, los requerimientos de inversión, la calidad de la biomasa a utilizar, la disponibilidad de ella y la seguridad en su abastecimiento, las estructuras normativas, los mercados a abordar, la relación biomasa equipos a utilizar y la tecnología disponible. Todo ello repercutirá en la competitividad del negocio.

Existe concordancia en cuanto a que la producción de pellets enfrentará desafíos relacionados con la calidad de la biomasa utilizada en su producción, con una creciente participación

de maderas duras y con escenarios de menor disponibilidad de materia prima. Ello de acuerdo con la disponibilidad de especies forestales presentes en cada región.

En este sentido, la opción de utilizar en Chile mezclas de biomasa, utilizando aserrín o viruta de pino radiata con biomasa de *Eucalyptus* 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. Esto se debe complementar con estudios que permitan determinar potenciales especies para su uso en la producción de pellet, analizando si el producto final cumple con todas las normas.

En Suecia, 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 la producción de pellets, básicamente debido a que es favorable económicamente y medioambientalmente.

Un estudio para mejorar la calidad de los pellets de bambú, mezcló las partículas de bambú con pino, aumentando la densidad aparente, disminuyendo el contenido de cenizas y aumentando el contenido fino (Liu *et al*. 2016). De igual forma, Fernández-Puratich *et al.* (2017) señalan que el mezclar los desechos de maíz con pino en una proporción 50 y 50% podría significar un ahorro sustancial en materias primas.

Pelz y Steinbrink (2010) estudiaron especies forestales que crecen en la región de Los Ríos para su uso en la producción de pellet, concluyendo que algunas de ellas son adecuadas, indicando que las especies seleccionadas se pueden peletizar, pero que el proceso requerido para el uso de estas especies es más exigente que en el caso de las coníferas que se utilizan regularmente. Su estudio indicó que para la mayoría de los parámetros de calidad de los pellets producidos se logra el nivel más alto de calidad de la norma europea.

En su estudio se concluyó que *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 Bio Bío, en donde los parámetros obtenidos permiten clasificarla como A2.

Baettig (2018) señala que la mezcla más promisoria de residuos está constituida por el rastrojo de trigo pre tratado y madera, la que, sin embargo, presentan valores excedidos en emisión de gases, pero que deberán ser motivo de mayor estudio en el futuro.

Existe también una coincidencia en la necesidad de una transferencia de conocimiento y de tecnología a través de la cadena de proceso para producir pellets, además de aspectos como el astillado, secado, molido y tamizado.

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 la fabricación de pellet y la producción de energía térmica, añadiendo que, sin embargo, las especies presentaron menores capacidades para bioenergía en comparación al *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 Categoría A1 indicados en 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.

En estos estudios se requiere, además, analizar la eficacia económica de este tipo de soluciones para abastecer la industria del pellet. Esto implica un análisis a distintas escalas, tanto local, comunal, provincial o regional, así como también conocer de las tecnologías disponibles para el uso de este tipo de material y las condiciones de ubicación, transporte y abastecimiento de la biomasa (Pinilla *et al.,* 2021).

Recientemente, Paczkowski *et al*. (2023) proponen una proporción del 25 % de *Robinia pseudoacacia* en mezclas con aserrín de coníferas como límite para cumplir los criterios de la norma A2 de la norma europea DIN EN ISO 17255-2. Señala que esto permitiría un consumo de aserrín de *Robinia pseudoacacia* de aproximadamente 6 millones de toneladas por año en Europa, lo que indica un alto potencial para el aserrín de madera dura como materia prima alternativa para la producción de pellets en general.

En este proceso, además de verificar las propiedades físico-químicas de una especie en particular, se requiere conocer de su disponibilidad en un territorio en específico y, a partir de su densidad básica, estimar la oferta de biomasa seca por unidad de superficie de esta especie. Ello permitiría decidir si es factible o no la utilización de una especie en particular.

Este análisis, de las distintas combinaciones de materia prima proveniente de diversas especies, permitiría generar recomendaciones sobre en qué circunstancias utilizar uno u otro tipo de materia prima, dependiendo la factibilidad y condiciones de disponibilidad de la biomasa, ubicación y costo, entre otros aspectos.

Los resultados obtenidos por los diversos estudios antes descritos, así como también por los obtenidos en el presente estudio, demuestran que, si bien es posible producir pellet a partir de la mezcla de biomasa de especies forestales, si no se cuenta con una superficie de interés plantada o establecida con ellas, no sería posible su utilización, ya que no se contaría con un abastecimiento constante y seguro de biomasa a partir de esta especie. En este sentido los esfuerzos se deben orientar a:

- Establecer la presencia de una especie de interés (hectáreas).
- Su ubicación a nivel de la región o regiones.
- Características físico químicas de su biomasa para poder establecer su factibilidad de utilización en la fabricación de pellet.
- Utilidad actual de la especie por parte de la industria (disponibilidad).
- Requerimientos para su utilización productiva (logística, procesamiento, otros).

De igual forma, es interesante analizar la producción de pellet en países desde donde está ingresando pellet a Chile, siendo de interés, por ejemplo, la experiencia de Brasil en donde se está produciendo y comercializando pellet fabricado a partir de especies de eucalipto, ya que en Chile existe una superficie importante cubierta con especies de este género.

Conociendo estos antecedentes será posible determinar la actual disponibilidad de biomasa posible de utilizar en la fabricación de pellet, así como también la disponibilidad potencial si se consideran las especies forestales que pueden ser establecidas en cada región.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados generales señalan en relación con la calidad del pellet obtenido que el uso de una mezcla de biomasa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en distintos porcentajes, cumple con los parámetros de *humedad, contenido de ceniza, diámetro y longitud de pellets 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 globulus*. Ello se ratifica al observar los resultados de la Mezcla M3 (75% *Eucalyptus globulus* y 25% Pino radiata), mezcla que presentó las más altas desviaciones y mayores problemas en la molienda asociado a la mayor proporción de *Eucalyptus*. Estos parámetros según lo consultado, pueden ser regulados durante un proceso industrializado de peletizado, donde estas variables se ajusten de forma continua, en función de las características físicas que vayan presentando los pellets.

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. El Cloro es una propiedad de las muestras de biomasa utilizadas, por lo que una solución a esta situación podría ser la utilización de mezclas de especies, similar a las de este estudio, con diferentes proporciones de pino radiata.

Durante el trabajo de peletizado la biomasa fue procesada hasta alcanzar una humedad y granulometría adecuada, 12,6% en promedio y 6 mm, respectivamente. Se observó que a medida que aumenta la proporción de *Eucalyptus globulus* se requirió de mayor tiempo para el proceso de molienda, originado en la mayor dureza de la especie.

La materia prima que utilizó un 50% de *Eucalyptus globulus*, M1, generó un pellet de calidad adecuada, solo con un aumento de temperatura durante el peletizado y disminución de la humedad en la etapa de formación del pellet, con una alta conformación de pellets y baja cantidad de finos.

La mezcla que utilizó el 25% de *Eucalyptus globulus*, M2, generó un pellet de buena calidad con una alta conformación de pellets y baja cantidad de finos, con un leve sobrecalentamiento de la matriz lo que se tradujo en la disminución de la humedad durante la formación del pellet.

Por el contrario, la materia prima que utilizó un 75% de biomasa de *Eucalyptus globulus*, M3, fue la más difícil de procesar, con un mayor tiempo en el proceso de molienda y una mayor temperatura en la matriz. Ello generó un pellet de un color más oscuro en comparación con los otros pellets fabricados y mayor cantidad de material sin conformar. Aun así, los pellets obtenidos son de características similares a los de las restantes muestras.

En general todos los pellets obtenidos 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.

Sobre la durabilidad mecánica y cantidad de finos se puede señalar que ambos parámetros se relacionan directamente con el proceso de peletizado y de la biomasa utilizada. Ello implica que ambos parámetros podrían 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 con mayor dureza como lo es *Eucalyptus globulus*. De igual forma, se requiere controlar la humedad inicial de las muestras y la homogeneización de la biomasa luego de la humectación, así como también regular la razón de alimentación al equipo de peletización, de manera de controlar las condiciones que aumentan la temperatura por fricción en la matriz.

En el proceso se requiere evaluar si el equipo de molienda es capaz de procesar materiales con un mayor grado de dureza, o bien, disminuir el tamaño de partícula, para lo cual se recomienda realizar procesos consecutivos de molienda o trabajar con matriz con menor tamaño de partícula. Además, el proceso de humectación y posterior homogeneización de las muestras podría ser

optimizado de manera de evitar que el material pierda humedad en forma rápida o excesiva al momento de ingresar al equipo de peletización.

Por lo tanto, 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 por ejemplo[2]:

- Utilizar un menor tamaño de partículas.
- Aumentar la humedad de trabajo.
- Regular la razón de alimentación dependiendo del tipo de equipo utilizado.

Lo contrario sucede con el Cloro, donde la opción para mejorar este parámetro en el pellet es modificando el porcentaje de las mezclas posibles de utilizar.

Luego de observar los resultados generales, se puede señalar que la mezcla de biomasas de *Pinus radiata* y de *Eucalyptus globulus* ensayadas son posibles de utilizar para la producción de pellets, debiendo cuidar el porcentaje de la biomasa que se use en conjunto con *Pinus radiata*, para reducir especialmente el contenido de Cloro, incluyendo nuevas opciones de mezclas de especies.

Dada la presencia de la especie *Eucalyptus globulus* en la región del Biobío, con 187.667 ha, representando el 29,6% de superficie de plantaciones forestales en la región, estos resultados son altamente interesantes, siendo una base para futuros nuevos desarrollos relacionados con la utilización de especies forestales en mezcla con biomasa de *Pinus radiata* para su uso en la producción de pellet a nivel regional.

Este tipo de estudios debe ser complementado con estudios para evaluar otros parámetros para definir si un pellet cumple o no los requisitos de calidad, considerando metales (Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc) y comportamiento de punto de fusión de cenizas.

Los resultados obtenidos, son alentadores, pero se requiere de nuevos estudios para obtener resultados más precisos sobre la calidad de los pellets producidos a partir de biomasa de diferentes especies forestales que crecen en Chile, de manera de contribuir a diversificar las fuentes de abastecimiento de materia prima de la industria del pellet y no depender absolutamente de lo generado por la industria del aserrío.

Este tipo de estudios debe ser un insumo para la definición de posibles especies con potencial de utilización y debe ser complementado en sus análisis considerando las características químicas del pellet producido.

REFERENCIAS

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.utalca.cl/

Bellolio, R. y Karelovic, P. (2011). Energía de biomasa forestal, lecciones internacionales y su potencial en Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Mayo 2011. 28p.

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.

[2] Roberto de Antonio G., 2020, Vicepresidente Ejecutivo European Bioenergy Network, España, comunicación personal.

Fernández-Puratich, H.; Hernández, D. and 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

Gysling Caselli, Janina y Bañados Munita, Juan Carlos (2023). Subproductos madereros de la industria del aserrío 2023. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 193. 82 p.

Hall, P. y Jack, M. (2010). Los grandes bosques como fuentes de energía: Uso de la tierra y repercusiones económicas y medioambientales. Unasylva Nº 235/235

HAVERLAND (2021). Como sabemos si el pellet es de Buena calidad.
En: https://haverland.com/2016/01/19/como-sabemos-si-el-Pellet-es-de-buena-calidad

INFOR (2021). Programa FIC BIOMASA, Informe de proyecto. Gobierno Regional de la Región del Bio Bio-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, Zhijia; Mi, Bingbing; Jiang, Zehui; Fei, Benhua; Cai, Zhiyong; and Liu, Xing'e (2016). Improved bulk density of bamboo pellets as biomass for energy production. USDA Forest Service / UNL Faculty Publications. 323. http://digitalcommons.unl.edu/usdafsfacpub/323

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

Ministerio de Energía (2023). Balance Energético Nacional.
https://visualizador.gobiernoabierto.gub.uy/visualizador/api/repos/%3Apublic%3Aorganismos%3Amiem%3Amiem_ben.wcdf/generatedContent

Paczkowski, S.; Sauer, C.; Anetzberger, A.; Jaeger, D. and Pelz, S. (2023). Utilization of black locust (*Robinia pseudoacacia*) sawdust as an alternative pelletization raw material. Available from: https://www.researchgate.net/publication/375339262_Utilization_of_black_locust_Robinia_pseudoacacia_sawdust_as_an_alternative_pelletization_raw_material [accessed Nov 28 2023]

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

Pelz, Stefan y Steinbrink, Jens (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 S., J.C.; Luengo V., K.; Navarrete T., M. y Navarrete U., F. (2021). Estudio del pellet en base a especies forestales que crecen en la Región del Biobío. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 241. P. 58. INFOR. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32064

Pinilla, Juan Carlos y Luengo, Karina (2021). Antecedentes Descriptivos de la Producción y Mercado del Pellet en Chile. Instituto Forestal, Chile. Documento de Divulgación N° 55. 33 p.

Pinilla, Juan Carlos; Luengo, Karina y Navarrete, F. (2022). Antecedentes descriptivos de la producción y mercado del Pellet en Chile durante el año 2021 (Avance). Línea de investigación biomasa forestal y energía. Instituto Forestal (INFOR), Sede Biobío, Concepción. Documento de Trabajo de proyecto. 16p.

Pinilla, J.C.; Luengo, K.; Navarrete, M.; Navarrete, F.; García, J. y Casanova, K. (2023). Importaciones de pellets de madera a octubre 2023. Línea de investigación biomasa forestal y energía. Instituto Forestal (INFOR), Sede Biobío, Concepción. Documento de Trabajo de proyecto. 10p.

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

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 2023 RT-054-021 “Estudio de factibilidad de producción de pellets”. Unidad de Desarrollo Tecnológico, Universidad de Concepción

INFOR

www.infor.cl