



Gobierno de
Tierra del Fuego
Antártida e Islas
del Atlántico Sur

Ministerio de
Producción y
Ambiente

Secretaría de
Desarrollo
Productivo
y PyME



CIEFAP
Conocimiento e Innovación en Bosques Patagónicos

Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y posibilidad de valorización como pellets de madera

Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur

Equipo de trabajo:

Gobierno de la Provincia de Tierra del Fuego, A.e.I.A.S.

Ministerio de Producción y Ambiente.

Dir. Gral. Ing. Agr. Parodi, Martin.

Dir. Ind. Ftal. Tec. Ftal. Ojeda, Javier J.

Dir. Manejo Ftal. Ing. Ftal. (Mg.) Paredes, Dardo R.

Depto. Adm. Ftal. Ing. Ftal. Farina, Sebastián.

Tec. Ftal. Univ. Trangoni Boto, J. Federico.

Tec. Gto. Amb. Fagnani, L. Antony.

Centro de Investigación y Extensión Forestal

Andino Patagónico (CIEFAP)

Ing. Andreassi, Leonardo G. Unidad de Biomasa.

Ing. Amb. Douat, Guillermo Unidad de Biomasa.

Ing. Agr. Salvaré, Fernando Unidad de Biomasa.

Ing. Zapata, Claudia Área de Tecnología de la Madera

Lic. Gto. Amb. Rega Babek, Marina J. Delegación

Tierra del Fuego A.e.I.A.S.



Febrero - 2022

Tabla de contenido

1. Preliminar	3
2. Resumen	3
3. Introducción	4
3.1. Contexto	4
3.2. ¿Qué es el Pellet de madera?	5
3.3. Usos del pellet	5
3.4. Calidad de la materia prima a utilizar y el producto	6
4. Objetivo	9
5. Alcance del proyecto	9
6. Abreviaturas	9
7. Resultados	10
7.1. Cuantificación Residuos	10
7.1.1. Residuos en Campo	10
7.1.2. Residuo en Aserradero	12
7.1.3. Volumen de Madera Aserrada	14
7.1.4. Toneladas de Residuos de Biomasa Seca	15
7.1.5. Potencial de Producción de Pellet	16
7.2. Fuentes de biomasa relevadas en Tolhuin	18
7.2.1. Muestra 1: Aserrín proveniente de aserraderos móviles.	20
7.2.2. Muestra 2: Viruta proveniente del cepillado de tablas.	21
7.2.3. Muestra 3: Cantoneras	23
7.2.4. Muestra 4: Pudrición Blanca	25
7.2.5. Muestra 5: Pudrición Marrón	26
7.2.6. Muestra 6: Material recolectado en campo antiguo	27
7.2.7. Muestra 7: Rollizo diámetro 22cm	28
7.2.8. Muestra 8: Rollizo diámetro 11cm	29
7.2.9. Muestra 9: Corteza proveniente de cantonera	30
7.2.10. Muestra 10: Corteza proveniente de rollizo de diámetro 22cm	31

7.2.11.	Muestras de humedad cantoneras	31
7.3.	Resultados de otras fuentes	32
7.4.	Uso de la Materia Prima para pellet	34
7.5.	Costos de producción de pellets	35
7.5.1.	Planta de pellet 300kg/h	35
7.5.2.	Planta de pellet 2000kg/h	42
7.5.3.	Comparación de costos	46
8.	Anexos	48
8.1.	ANEXO 1. Pellet de lenga en Chile	48
8.2.	ANEXO 2. Proceso de Peletizado	49
8.2.1.	Tratamientos previos y acopio de materia prima	49
8.2.2.	Chipeo	50
8.2.3.	Molienda	51
8.2.4.	Secado	51
8.2.5.	Acondicionado	51
8.2.6.	Peletizado	52
8.2.7.	Enfriado	52
8.2.8.	Tamizado	52
8.2.9.	Embolsado / Big Bag	52
8.3.	ANEXO 3. Control de calidad	53
8.4.	ANEXO 4. Utilización de calores residuales	53
8.5.	ANEXO 5. Proveedores	54
8.6.	ANEXO 6. Usos de la biomasa en formato astillas	54
9.	Bibliografía de referencia	59

1. Preliminar

Solicitante:

Gobierno de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

Ministerio de Producción y Ambiente.

Contacto: Secretaría de Desarrollo Productivo y PyME, Mg. Carolina Hernández.

Desarrollo de actividades:

Toma de muestras: Tolhuin - Tierra del Fuego

Desarrollo y análisis de laboratorio: Delegación Río Negro y Tierra del Fuego CIEFAP. Ministerio de Producción y Ambiente.

Fecha inicio: Marzo 2021

Fecha final: Febrero 2022

2. Resumen

Este trabajo tiene como objetivo aportar conocimiento a la generación de valor agregado en un residuo, como es todo lo que resulta del proceso de aprovechamiento e industrialización de la lenga, mediante su conversión en un recurso energético. El pellet es un formato de biocombustible obtenido a partir de la termocompresión de aserrín y otros derivados provenientes de la cadena foresto industrial.

Las grandes cantidades de material disponible para la producción de un commodity, como lo es el pellet, empujan a que se estudie la factibilidad de identificar un mercado para el desarrollo de esta tecnología. Esto puede contribuir a disminuir las cantidades de material combustible presente en las industrias (fijas y móviles), que son focos de alto riesgo para incendios forestales en el medio rural y en la interface de las comunidades.

En este informe se recolectaron diferentes tipos de residuos de origen forestal de la especie lenga (*Nothofagus pumilio*), (aserrín, viruta, cantoneras, entre otras). Las cuales fueron caracterizadas y comparadas con normas que establecen parámetros de calidad para regular el mercado de la biomasa. El resultado exhibe que la totalidad de los materiales analizados se adapta a dichas normativas con mayor o menor rigurosidad, para ser convertidos en un biocombustible confiable para el usuario y el medio ambiente.

Existen antecedentes de la producción de pellets de lenga en Chile para el cual hay un mercado como consecuencia de la escasez del suministro de gas natural. Esta es una realidad compartida, ya que la red que distribuye el gas en la Patagonia Argentina no logra cubrir toda la demanda. Por ello, la generación de un producto a partir de un residuo es una gran oportunidad para diversificar la industria maderera y valorizar los subproductos (poniendo en valor un residuo), reducir el volumen de madera abandonados en el bosque (removiendo los residuos combustibles abandonados), y brindar una alternativa energética sustentable y económica (respecto al gas envasado) para los hogares sin gas.

3. Introducción

3.1. Contexto

El Gobierno de la Provincia de Tierra del Fuego, A.e.I.A.S. mediante su representante en el Consejo Directivo del CIEFAP, puso de relieve la necesidad de buscar una alternativa productiva y sustentable a los residuos forestales que se generan mediante la actividad de los aserraderos y el aprovechamiento del bosque nativo.

La Unidad de Biomasa y la delegada en Tierra del Fuego del CIEFAP; junto con el personal del Ministerio de Producción y Ambiente de la provincia diseñaron una propuesta de análisis para el problema planteado. La misma se centró en realizar una estimación de residuos forestales, estudiar los parámetros físicos-químicos de distintas fuentes de biomasa residual en la zona de Tolhuin y evaluar la pertinencia para la fabricación de pellets de madera.

Los sectores productivos de la foresto-industria hacen uso del bosque nativo en forma activa; entre ellos se encuentran los Productores Forestales que según la integración de procesos y su escala se dividen en Obrajeros Forestales (OF) y los Pequeños Productores Forestales (PPF). Ambos desarrollan su actividad en lo que se denomina Reservas Forestales de Producción o Uso Múltiple (en dominio fiscal) y en Establecimientos Rurales con Bosque (en dominio privado). Los primeros, deben procesar la materia prima en industrias fijas, en tanto que los PPF pueden procesar en el bosque con medios portátiles.

Actualmente la industria forestal dedica su recurso al aprovechamiento primario de la madera. Principalmente producen madera aserrada, y pallets para uso exclusivo de la industria de montaje de productos electrónicos.

El sector genera residuos tales como aserrín, virutas, despuntes, corteza y costaneros que son quemados a cielo abierto y en menor caso, acumulados sin ningún tipo de monetización. Los residuos voluminosos generados y abandonados en el campo, aumentan la carga de fuego en caso de un ígneo. Paralelamente la quema a cielo abierto incrementa la polución urbana y la probabilidad de incendios de interface.

Es muy importante para la provincia abordar el problema ocasionado por el manejo inapropiado de los residuos, de forma multisectorial.

La información producida y expuesta en este informe sumado a la existente, permitirá avanzar en el desarrollo de las distintas alternativas disponibles en y para la provincia.

Por consiguiente, el presente informe “Análisis de Residuos Forestales de lenga en Tolhuin (TdF)” busca contribuir en la incorporación de la biomasa residual forestal como fuente energética renovable. Promoviendo una alternativa para la valorización de “residuos” como un potencial negocio basado en la comercialización de subproductos de la foresto industria.

3.2. ¿Qué es el Pellet de madera?

Es un biocombustible sólido producto de la termocompresión de aserrín o material molido de madera, operación de la cual se obtienen pequeñas unidades cilíndricas compactas con un largo que varía entre los 5 mm y 30 mm. Existen diferentes diámetros normalizados para los pellets, pero los más utilizados en equipos de combustión son de 6mm de diámetro.

La peletización es el proceso de transformación de biomasa de mayor auge en la actualidad, en especial en Europa. Debido a sus pequeñas dimensiones, alta densidad y baja rugosidad superficial, el producto posee excelentes cualidades de fluidez a granel, lo que permite su utilización en equipos automatizados para la generación de energía térmica, como estufas y calderas, a través de una dosificación controlada de material en función de los requerimientos energéticos. Esta dosificación automática, en conjunto con diferentes parámetros que controlan la combustión,

permiten obtener en equipos relativamente económicos, rendimientos que superan en muchos casos el 90%, operando con eficiencias prácticamente constantes tanto a cargas máximas como parciales.



3.3. Usos del pellet

En nuestro país existe un pequeño y emergente mercado de biocombustibles sólidos, sin embargo, a nivel global existen mercados desarrollados con gran consumo de pellets. Estos mercados importan este combustible en grandes cantidades, donde la demanda es insatisfecha. Ellos poseen reglamentaciones acerca de la calidad de estos biocombustibles.

Durante el proceso de adopción, han realizado gran cantidad de estudios orientados a tipificar las características de las biomásas utilizadas que son aptas para la producción de distintos productos bioenergéticos. Estos son la base para la normativa y regulaciones que cada país fue adoptando, y actualmente se han generalizado en una normativa internacional cuya última edición es la ISO 17225.

Allí se reúnen las especificaciones que deben cumplir tanto la biomasa sin procesar como los productos bioenergéticos obtenidos de transformar esa biomasa, para que sean destinados a usos comerciales. Las normas y estándares definidos permiten a los productores diseñar su proceso de peletización y para ello la incorporación de equipos, partiendo de un combustible con características definidas, obrando por maximizar los rendimientos, minimizar los consumos energéticos y reducir las emisiones al mínimo posible.

El marco normativo da la posibilidad a los usuarios de elegir una calidad acorde a sus necesidades, tal como ocurre con los diferentes grados de calidad en las naftas, por ejemplo. Esto último es de gran importancia en equipos de baja potencia, ya que en instalaciones que utilicen biomasa para la generación de energía (con consumos superiores a 1MW) permiten como insumo, biomásas de menor calidad que equipos de pequeña escala.

Uso alternativo:

Poniendo de lado el uso energético, el pellet es utilizado como cama sanitaria de animales, el uso más habitual es para gatos. Este producto no tiene los mismos requerimientos que los pellets energéticos, por lo que puede ser un buen mercado para ciertas biomásas que no alcancen las características requeridas para este fin.

3.4. Calidad de la materia prima a utilizar y el producto

Si bien es posible peletizar biomásas provenientes de diferentes fuentes, no solo madera (residuos agrícolas, carbón, semillas, etc.). El combustible más utilizado en equipos de combustión de mediano y bajo porte son los pellets de madera.

Normativa para pellet de madera ISO 17225-2.

La normativa internacional que define las distintas calidades de pellets es la ISO 17225-2. En ella se establecen valores o umbrales para los parámetros o características del pellet. Dependiendo de los valores que el biocombustible posea, esta norma los posicionará, dentro de las categorías definidas: A1, A2 o B. Siendo la categoría A la de mayor calidad.

Los parámetros contemplados para la categorización son:

- **Origen del material.** Residuos de aserradero, residuos de poda, árbol entero, etc.
- **Contenido de cenizas.** Cantidad de material inorgánico en la biomasa. Porcentaje respecto del peso seco del material.
- **Composición Química.** Elementos como el N, S, Cl, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn.
- **Poder calorífico.** La energía por kg de combustible a la humedad del mismo.
- **Diámetro y Largo del pellet.** Son parámetros dimensionales del pellet.

- **Contenido de Humedad.** Contenido de agua en porcentaje respecto del peso total (b.h.).
- **Contenido de Finos.** Porcentaje de material de tamaño menor a 3.15mm que posee una muestra dada de pellets.
- **Aditivos.** Es un material que se introduce intencionalmente en conjunto con la materia prima.
- **Densidad a granel.** Cantidad de kg de producto que ocupan un volumen de un m³.

De los parámetros citados, algunos dependen específicamente del tipo de biomasa. Siendo factible mejorar estos mediante distintas estrategias o procesos (upgrading); otros están asociados al proceso productivo de peletizado. En continuación analizaremos los parámetros básicos de las diferentes materias primas que se encuentran en la zona de Tolhuin. Se expone una tabla de valores umbrales de los parámetros objetivos del análisis, según las categorías definidas:

Biomasa para pellets para uso doméstico

Propiedad /Método de análisis	Unidad	A1	A2	B
Origen y fuente ISO 17225-1		1.1.3 Fuste 1.2.1 Residuos de madera no tratada químicamente ^a	1.1.1 Árboles enteros sin raíces ^a 1.1.3 Fuste 1.1.4 Residuos de corta 1.2.1 Residuos de madera no tratada químicamente ^a	1.1 Bosque, plantaciones y otra madera virgen 1.2 Subproductos y residuos de la industria del procesamiento de la madera 1.3.1 Madera usada no tratada químicamente
Cenizas, A, ISO 18122	% (m/m) en base seca	A0.7 ≤ 0,7	A1.2 ≤ 1,2	A2.0 ≤ 2,0
Poder calorífico neto, Q, ISO 18125	MJ/kg o kWh/kg según se recibe	Q16.5, 16,5≤Q≤19 or Q4.6, 4,6≤Q≤5,3	Q16.3, 16,3≤Q≤19 o Q4.5, 4,5≤Q≤5,3	Q16.0, 16,0≤Q≤19 or Q4.4, 4,4≤Q≤5,3
Nitrógeno, N, ISO 16948	% (m/m) en base seca.	N0.3 ≤ 0,3	N0.5 ≤ 0,5	N1.0 ≤ 1,0
Azufre, S, ISO 16994	% (m/m) en base seca	S0.04 ≤ 0,04	S0.05 ≤ 0,05	S0.05 ≤ 0,05
Cloro, Cl, ISO 16994	% (m/m) en base seca.	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.03 ≤ 0,03

Tabla 1: Parámetros tenidos en cuenta para este documento (1.2, 1.2.1, 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5, 1.2.6, 1.2.7, 1.2.8, 1.2.9, 1.2.10)

Aclaración: La tabla anterior posee los parámetros que serán analizados para distintos tipos de materias primas relevadas en el próximo apartado. Sin embargo, existen otros elementos / parámetros que deben ser verificados para garantizar la calidad en caso de que se desarrolle un análisis de inversión.

Uso Industrial

Existe una tabla equivalente a la anterior orientada a pellets de madera para uso industrial donde los límites para cada parámetro son más permisivos.

Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y posibilidad de valorización como pellets de madera

Otras Normativas

Existen países que poseen sus propias normativas, donde estos parámetros o límites pueden cambiar. (Por ejemplo, Pellet Fuel Institute).

Compradores sin normativa de referencia.

Puede existir el caso, de que el comprador exija una serie de parámetros más acotados. Por ejemplo, parámetros acordes a los que requiere cierta estufa o caldera. El manual de algunas estufas informa sobre el umbral de valores para esos parámetros.

4. Objetivo

El objetivo de este análisis es realizar una estimación de residuos producto del aprovechamiento forestal y la foresto industria existente; determinar valores de referencia de parámetros físicos-químicos de distintas fuentes de biomasa residual de la zona de Tolhuin y brindar tal información en pos de determinar la factibilidad de uso en el proceso de peletizado para la fabricación de pellets de madera. Analizar costos del proceso a dos (2) escalas productivas (pequeña y mediana). Finalmente, realizar la producción de pellets con su análisis de los parámetros de proceso implementado, llevado a cabo en la planta experimental de peletizado del CIEFAP en la Provincia de Río Negro.

5. Alcance del proyecto

- El presente documento se centra en el uso de los materiales residuales para la producción de pellets para generación de energía. Por lo tanto, no fueron analizados ni puestos en valor otros formatos de monetización de residuos; además, es un análisis parcializado de su utilización.
- Para su ejecución se tomaron muestras de diferentes fuentes de biomasa en el mes de marzo de 2021. Los resultados hacen referencia a estas y servirán como un primer análisis que oriente acciones y proporcione una primera aproximación para caracterizar las distintas fuentes. Es recomendable antes de realizar un proyecto de gran porte, realizar muestreos y análisis de la materia prima específica para aumentar la confiabilidad de los resultados.
- Las recomendaciones brindadas en el trabajo no deben suponerse suficientes para la selección, sino una orientación de los ítems a considerar para el pedido de cotización de equipamiento.

6. Abreviaturas

b.h. Base húmeda

b.s. Base seca

m/m: Masa en masa

DGDF: Dirección General de Desarrollo Forestal

OF: Obrajeros Forestales.

PPF: Pequeños Productores Forestales.

7. Resultados

7.1. Cuantificación Residuos

Aquí se identifica los residuos generados de los distintos productores dentro del periodo forestal, que se extiende desde el 1 mayo al 30 de abril del siguiente año. Se incorporan datos brindados por la DGDF y por distintas empresas privadas.

7.1.1. Residuos en Campo

Se considera residuo de campo a: aquella materia vegetal constituida en partes del volumen de viga que no es extraído del área, pudiendo quedar dispersa o acumulada en canchones de acopio producto del trozado y saneado de fustes para su carga y traslado a playa de acopio en aserradero. Todo ello posterior a la cosecha forestal.

Clasificación para la identificación de residuo en campo:

- Mala calidad
- Pudriciones internas
- Defectos
- Hongos
- Criterios técnicos

METODOLOGÍA:

La obtención de valores de residuos originarios del aprovechamiento forestal consideró un porcentaje del volumen habilitado a extracción (valor específico por productor) resultado de la cubicación en pie que efectúa la DGDF y corresponden a los “datos del permiso habilitante” expresados en $m^3 \times año^{-1}$, en su mayoría del periodo forestal 2019-2020. Aquellos productores de los cuales la DGDF no acreditó actividad, se consideró el valor histórico de producción (8 PPF) que la misma proveyó.

FÓRMULA APLICADA:

$$(1 - \text{Porcentaje de extracción}) \times \text{Permisos de corta período 2019-2020 (m}^3 \times \text{año)} = \text{RESIDUO DE CAMPO (m}^3 \times \text{año)}$$

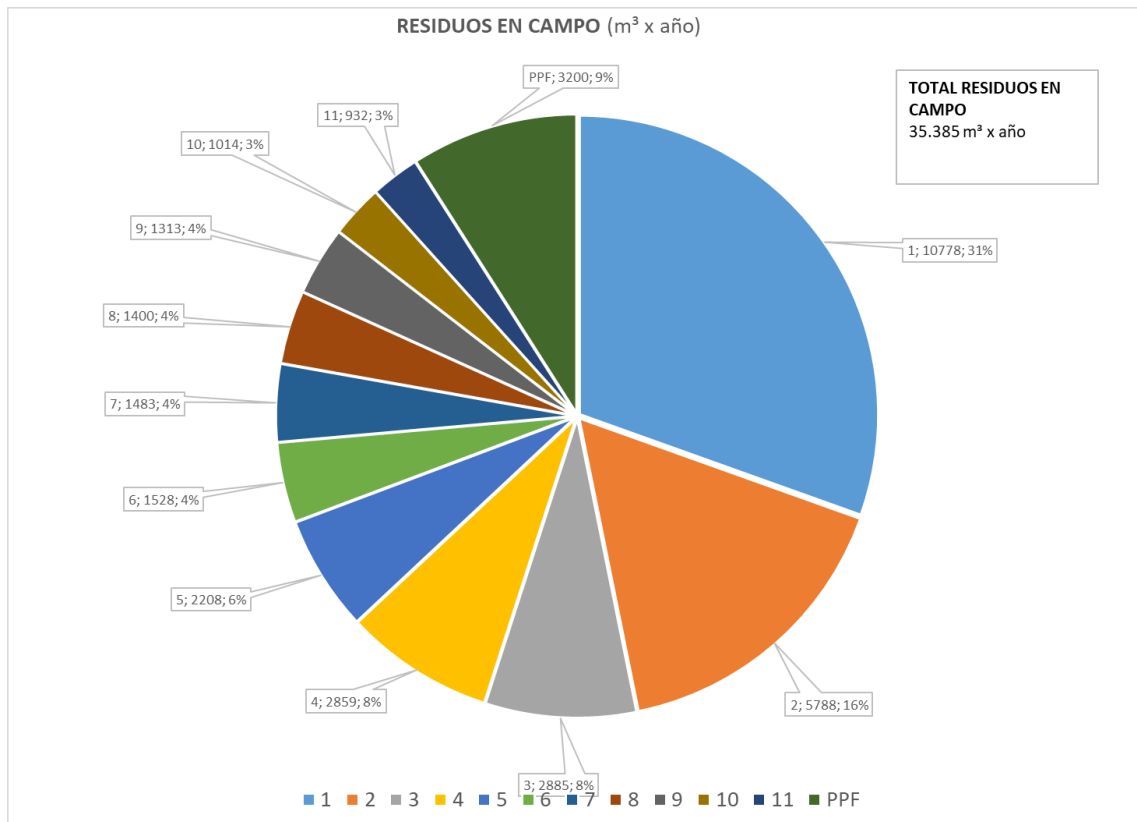


Gráfico 1: RESIDUOS EN CAMPO ($m^3 \times \text{año}$)

En el gráfico 1, se aprecia un total de 12 productores: Obrajeros forestales a los que se les asignó un número para su seguimiento (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10), y otro único denominado PPF el cual agrupa un total de 20 productores (baja producción).

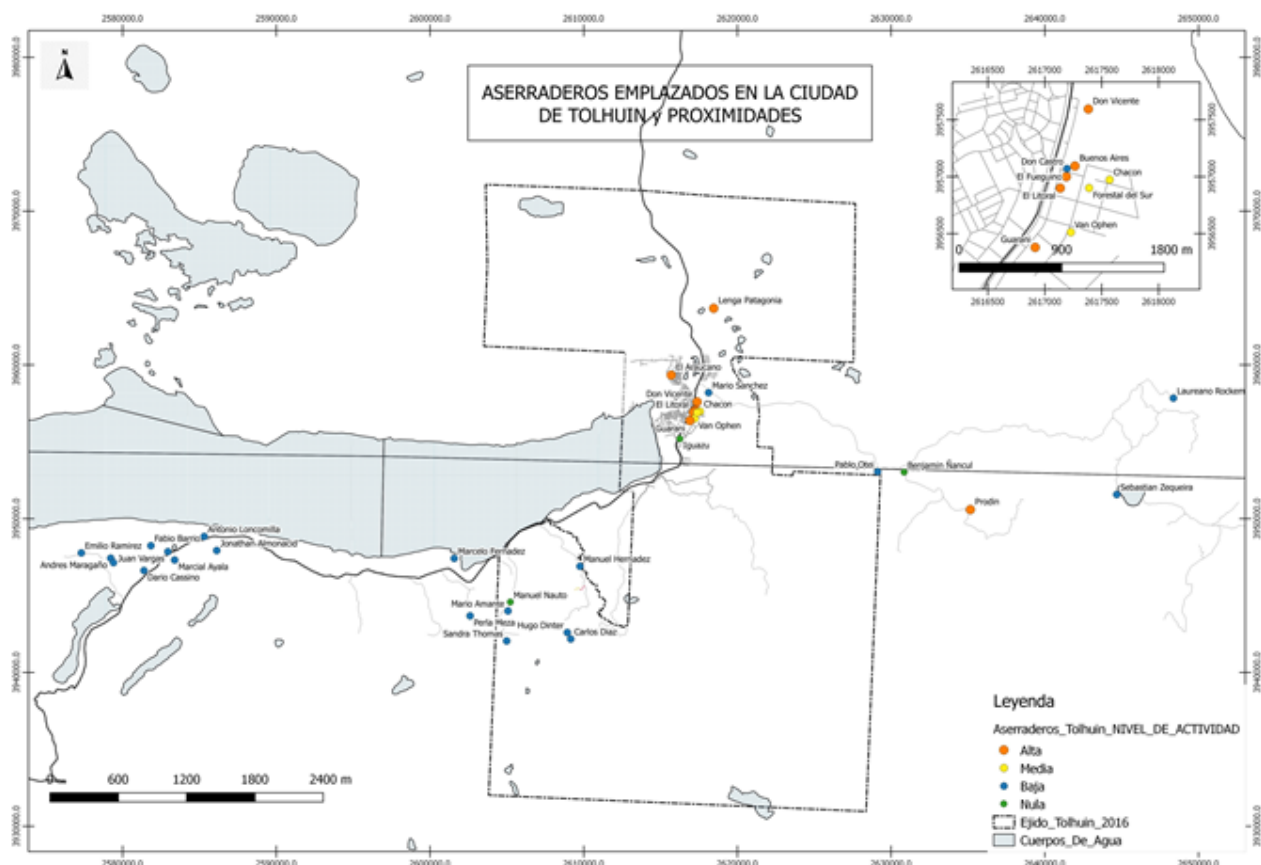
Dentro de los 11 productores, 9 pertenecen a la categorización de Obrajeros Forestales y 2 pertenecen a la categoría PPF (7 - 11), en esta ocasión se los consideró individualmente a razón de su porcentaje significativo de residuos.

El valor total obtenido de residuo en campo en el período forestal 2019-2020 es de 35.385 $m^3 \times \text{año}$.

7.1.2. Residuo en Aserradero

Residuo en aserradero: Considerado como la resultante de los descartes del proceso productivo industrial.

Los aserraderos contemplados en este análisis se encuentran situados en la localidad de Tolhuin. Los aserraderos fijos se emplazan en el ejido urbano, mientras que los aserraderos móviles desarrollan actividades dentro del área de aprovechamiento forestal (bosque).



Mapa 1: Aserraderos en la Ciudad de Tolhuin, brindado por la Dirección de Foresto Industria.

Se observa en el Mapa 1, los Aserraderos de la Ciudad de Tolhuin y alrededores. De color naranja podemos atender a la industria con mayor actividad.

Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y posibilidad de valorización como pellets de madera

METODOLOGÍA:

La obtención del volumen de residuos en aserradero considera el volumen habilitado a extracción expresados en $\text{m}^3 \times \text{año}$, que corresponden a los “datos del permiso habilitante” del período forestal 2019-2020, ajustado por el coeficiente o porcentaje de extracción. A ello se aplica un coeficiente en porcentaje del residuo en aserradero (valor obtenido en base al rendimiento del aserradero: $1 - \% \text{ rendimiento}$). Se considera un valor porcentual de 65 %. Valor que se generalizó para todos los productores.

FÓRMULA APLICADA:

$$\text{Permisos de corta período 2019-2020 (m}^3 \times \text{año)} \times \text{Porcentaje de extracción} \times \text{Porcentaje de residuo en aserradero} \\ = \text{RESIDUO DE ASERRADERO (m}^3 \times \text{año)}$$

Rendimiento de madera aserrada: proporción de madera en escuadría producto de aserrar una unidad de volumen en trozas (Ferreira *et al.* 2004).

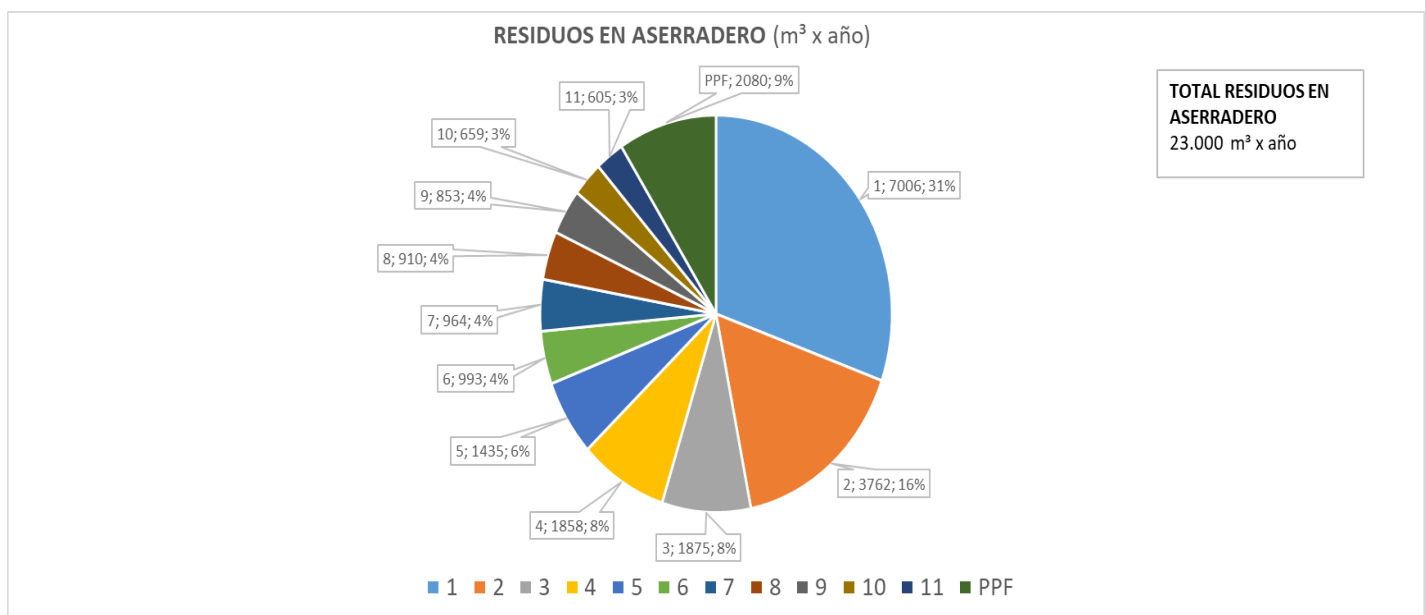


Gráfico 2: RESIDUOS EN ASERRADERO ($\text{m}^3 \times \text{año}$)

Se observa en el gráfico 2, el total del residuo en aserradero en el período forestal 2019-2020 siendo este de 23.000 $\text{m}^3 \times \text{año}$. Donde se destacan en porcentaje de generación de residuos los primeros 5 obreros forestales.

7.1.3. Volumen de Madera Aserrada

METODOLOGÍA:

Para la obtención del volumen de madera aserrada por cada productor considera el volumen habilitado a extracción expresados en $m^3 \times \text{año}$, que corresponden a los “datos del permiso habilitante” del período forestal 2019-2020, ajustado por el coeficiente o porcentaje de extracción. A ello se aplica un coeficiente en porcentaje del rendimiento en aserradero. Para la asignación de este valor se consideró un 35 %, dato brindado por empresas privadas. Valor que se generalizó para todos los productores.

FÓRMULA APLICADA:

$$\text{Permisos de corta período 2019-2020 (m}^3 \times \text{año)} \times \text{Porcentaje de extracción} \times \text{Porcentaje rendimiento aserradero} \\ = \text{VOLUMEN DE MADERA ASERRADA (m}^3 \times \text{año)}$$

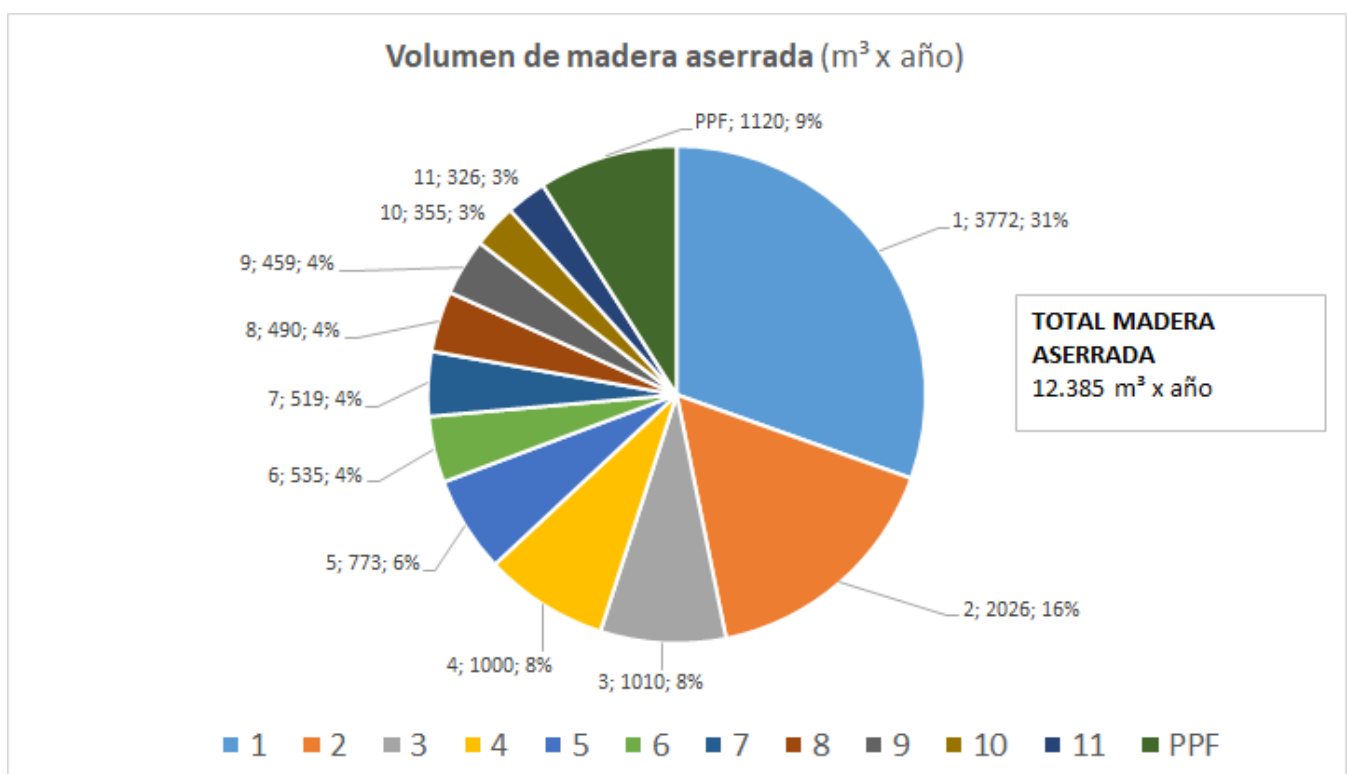


Gráfico 3: VOLUMEN DE MADERA ASERRADA ($m^3 \times \text{año}$)

Se observa en el gráfico 3, el total del volumen de madera aserrada en el período forestal 2019-2020 siendo este de 12.269 $m^3 \times \text{año}$. Es de destacar que solo el 15 % del volumen total pertenece a los PPF (7,11 y PPF).

7.1.4. Toneladas de Residuos de Biomasa Seca

METODOLOGÍA:

En base a los resultados del método 1.1.2 sobre cada productor y expuestos en gráfico 2 (Residuo de aserradero), se obtuvo el volumen en toneladas (t) de residuos de biomasa seca en el período 2019-2020. Aplicando los datos de residuos de aserradero expresados en $m^3 \times \text{año}$, y la densidad de la lenga Seca ($0,47 \text{ t}/m^3$).

El valor expresado en t/m^3 de densidad básica de la especie *Nothofagus pumilio* se obtuvo del informe técnico “Herramienta para negocios sustentables en biomasa forestal Región de Aysén Infor. (HERRAMIENTA PARA NEGOCIOS SUSTENTABLES EN BIOMASA FORESTAL REGIÓN DE AYSÉN INFOR. 2017). Y con lo comprobado en el Laboratorio de Unidad de Biomasa Delegación Río Negro del CIEFAP.

FÓRMULA APLICADA:

Residuo de aserradero ($m^3 \times \text{año}$) x Densidad Lenga Seca = TON RESIDUOS BIOMASA SECA PERÍODO 2019-2020

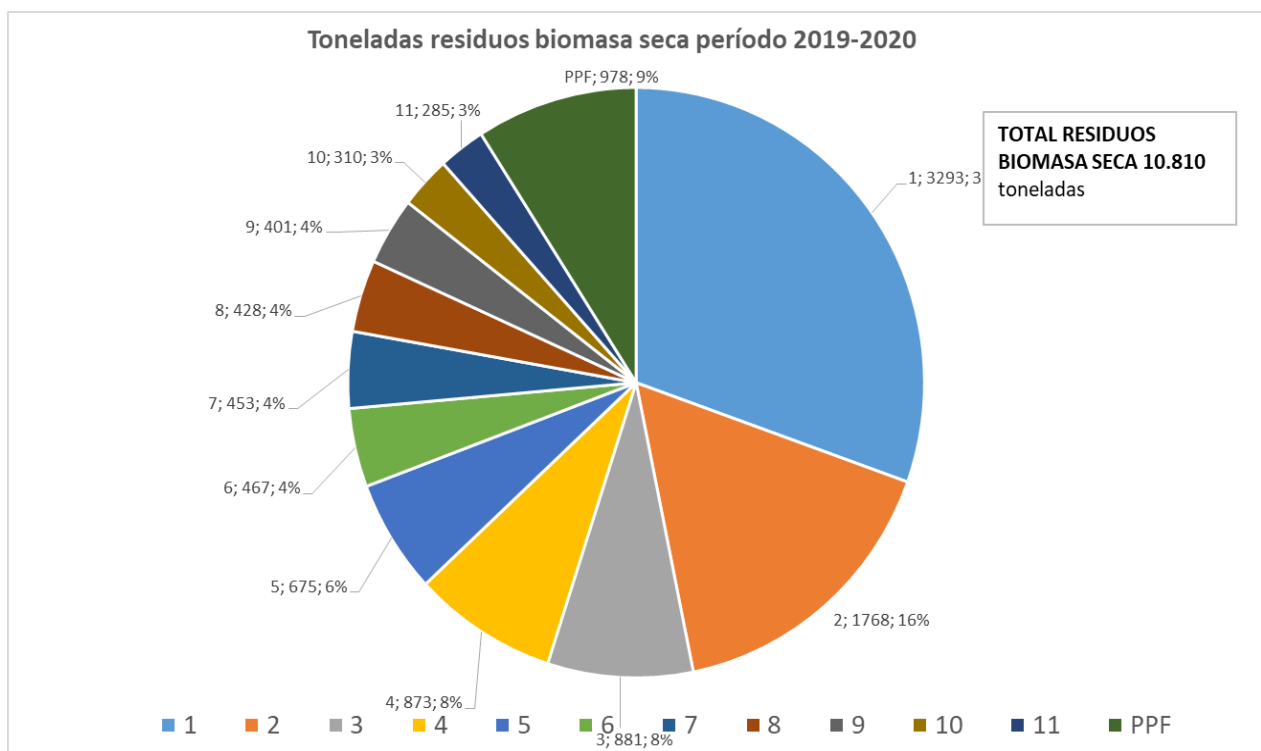


Gráfico 4: TONELADAS RESIDUOS BIOMASA SECA PERÍODO 2019-2020

Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y
posibilidad de valorización como pellets de madera

Se observa en el gráfico 4, el total de residuos de biomasa seca disponible en los aserraderos siendo este de 10.810 toneladas en un período forestal.

7.1.5. Potencial de Producción de Pellet

METODOLOGÍA:

El valor de producción potencial de pellet según disponibilidad de insumo básico, se obtuvo para una industria donde su jornada de trabajo es de 8 hs día por año laboral, se consideró el valor otorgado por el gráfico 4 (toneladas residuos biomasa seca período 2019-2020).

FÓRMULA APLICADA:

$$\text{Ton. Residuos biomasa seca período 2019-2020} / 220 (\text{días productivos}) / 8 (\text{hs}) = \text{PRODUCCIÓN PLANTA 8 HS/DÍA PERÍODO 2019-2020}$$

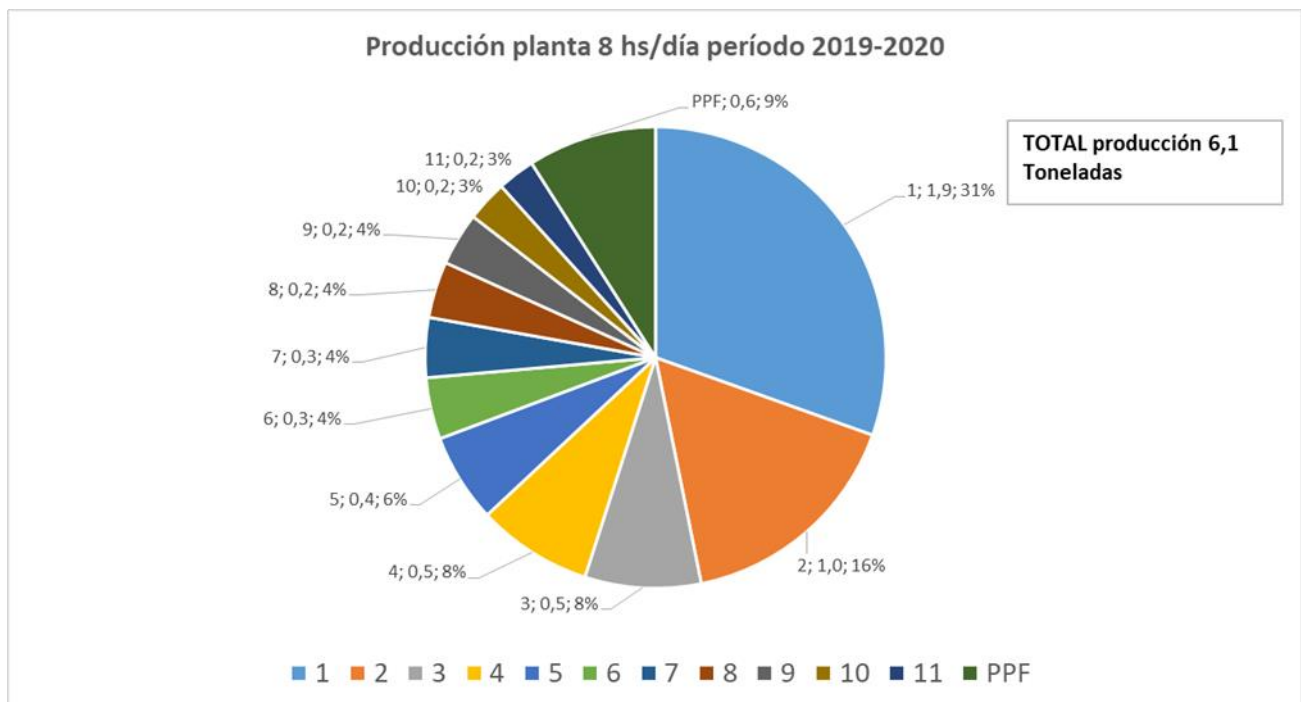


Gráfico 5: PRODUCCIÓN PLANTA 8 HS/DÍA ($m^3 \times \text{año}$) período 2019-2020

PRODUCTORES	Permisos de corta período 2019-2020 VVSC (m³ x año)	Residuo en aserradero (m³ x año)	Volumen de madera aserrada (m³ x año)	Toneladas Residuos Biomasa Seca período 2019-2020	Producción planta 8 hs/día período 2019-2020
1	21.556	7.006	3.772	3.293	1,9
2	11.576	3.762	2.026	1.768	1,0
3	5.769	1.875	1.010	881	0,5
4	5.717	1.858	1.000	873	0,5
5	4.416	1.435	773	675	0,4
6	3.055	993	535	467	0,3
7	2.966	964	519	453	0,3
8	2.800	910	490	428	0,2
9	2.625	853	459	401	0,2
10	2.028	659	355	310	0,2
11	1.863	605	326	285	0,2
PPF	6.400	2.080	1.120	978	0,6
TOTAL	70.771	23.000	12.385	10.810	6,1

Tabla 2: resultados cuantificación residuos forestales y producción pellets

A partir del residuo en aserradero se calculó la materia prima disponible para la producción de pellets, en donde se los multiplicó por la densidad de la Lengua Seca 0,47 t/ m³. Este resultado es el volumen de materia prima disponible (t) (5ª columna, tabla 2) para producción en los aserraderos. Su fracción por los 220 días laborables y 8 hs por jornada laboral, resulta en la producción de pellets por hora en toneladas por aserradero potencial (6ª columna, tabla 2).

La tabla 2 exhibe el orden de los productores en virtud al potencial por escala de producción, donde se demuestra que el productor 1 y 2 (color azul en la tabla 2 columna sexta) representan un 47 % de la producción de pellets (gráfico 6) y que el 1 genera una oferta de biomasa factible para alimentar una planta de 2 t.; mientras el productor 2 para una planta de 1 t.

El restante 44% de la producción corresponde a 7 OF y 2 PPF (color naranja en la tabla 1, columna 6ª). En su mayoría se emplazan en el ejido urbano de Tolhuin y exhiben un potencial de producción de baja escala. Lo cual permite especular en destinar esa materia prima para otros subproductos o distintas asociaciones. Por último, queda el agrupado de PPF con un 9 % de la producción (color gris en la tabla 2, columna 6ª).

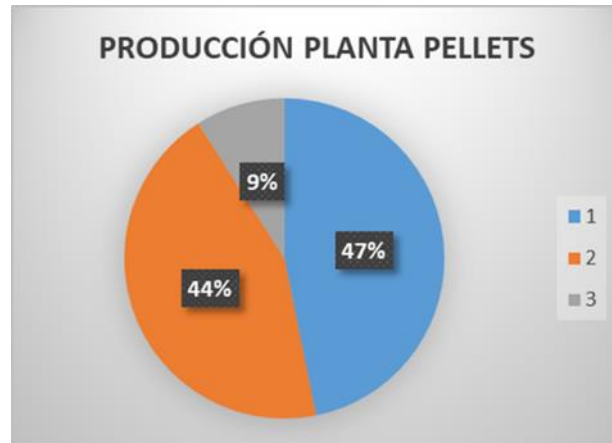


Gráfico 6: PORCENTAJES DE PRODUCCIÓN

7.2. Fuentes de biomasa relevadas en Tolhuin

Como parte de este trabajo se realizó un análisis de distintas fuentes de biomasa relevadas en la zona. Se buscó analizar para cada fuente los parámetros que se consideran críticos, para elaborar un informe sobre las estrategias de mejora o utilización de estos recursos para la producción de pellets.

METODOLOGÍA:

La recolección de muestras de biomasa se realizó identificando, primero los distintos subproductos de cada eslabón de la industria de la madera y de los aprovechamientos forestales junto a las Direcciones de Industria Forestal y de Manejo Forestal de la DGDF. Con ellos y personal de las delegaciones CIEFAP Tolhuin – TDF y Bariloche – RN se hizo la colecta de las muestras y su preparación para ser enviadas a la delegación Río Negro para ser analizadas en la Unidad Biomasa.

Especie: Lenga (<i>Nothofagus pumilio</i>)	
Muestra	Fuente / Descripción
1	Aserrin proveniente de los aserraderos móviles (bajo techo).
2	Viruta proveniente de cepillado de tablas secadas en forma industrial.
3	Cantoneras de diversos espesores.
4	Pudricion Blanca.
5	Pudricion Marron.
6	Material recolectado en campo antiguo (aserreo en campo - año de generacion 2008 - 2009)
7	Rollizo diametro 22cm de Raleo Aguas Blancas (1 mes de antigüedad)
8	Rollizo diametro 11cm de Raleo Aguas Blancas (1 mes de antigüedad)
9	Corteza proveniente de cantonera
10	Corteza proveniente de rollizo diametro 22cm raleo de aguas blancas

Tabla 3: Muestras. Elaboración CIEFAP

7.2.1. Muestra 1: Aserrín proveniente de aserraderos móviles.



Descripción: La muestra fue tomada en el aserradero lenga Patagonia. El residuo proviene del corte inicial del tronco, contiene partículas de corteza propias del proceso y en principio no se observa contaminación de tierra, siendo dirigido por una cinta transportadora a una tolva. Se notó y registró por los presentes olor a combustible o aceite en la muestra, propio del proceso. Este punto puede ser crítico dependiendo de la normativa de calidad de pellet que se quiera acreditar.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Humedad (b.h.)	UB-PE-02-ISO 18134-2	32.5	% m/m b.h.
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 18122	0.98	% m/m b.s.
Densidad Aparente (b.h.)	UB-PE-06-ISO 17828	219.5	kg/m ³ b.h.
Contenido de Volátiles	PE-ER-06-ISO 18123	83.5	%
Poder Calorífico Superior	PE-ER-13-ISO 18125/EN 14918	4425/4552**	kcal/kg
Poder Calorífico Inferior a 8% de humedad	ISO 17225-1	3884/4185 (4.5/4.9)**	kcal/kg (kWh/kg)
Contenido de Cloro	PE-ER-15-ISO 16994	0.05	% m/m b.s.
Contenido de Azufre	PE-ER-16-ISO 16994	0.06	% m/m b.s.
Contenido de Nitrógeno (b.s.)	IRAM-SAGyP 29572-1	0.07	% m/m

Tabla 4: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

**Valores obtenidos por INTI/INTA respectivamente.

Observaciones:

La humedad cercana al 30-35 % b.h. da indicio de oreo o secado natural. La reducción de humedad debe verificarse en más muestras, ya que disminuye la energía requerida en el secado forzado necesario para llevar la materia prima al 13 % b.h. (humedad requerida en proceso de peletizado).

El contenido de cenizas cercano al 1% es mayor que el material de la muestra 2 (ver próxima muestra), ello se asocia principalmente al contenido de corteza entre los materiales comparados. Los resultados se pueden comparar, aunque la biomasa tiene distinta humedad, ya que el % de cenizas se informa en base seca.

Como conclusión se podría ubicar este residuo disponible en la categoría A2 (tabla 1). Ahora bien, dependiendo de la proporción de este residuo (aserrín) mezclado con otros de mejor calidad, podría obtenerse un valor medio menor y mejorar su categorización y posibilidad de usos. Por el contrario, si se trabaja con material descortezado se evita el tener que mezclar para encuadrar en producto pellet en una mejor categoría de la tabla 1.

7.2.2. Muestra 2: Viruta proveniente del cepillado de tablas.



Descripción:

Al igual que la muestra 1, fue tomada en el aserradero Lengua Patagonia. Esta provenía del cepillado de tablas secadas industrialmente. El material no presenta indicios de contenido de corteza. Así tampoco contiene ninguna contaminación extra de tierra pos ser la misma transportada por una cinta, ni bien es producida.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Humedad (b.h.)	UB-PE-02-ISO 18134-2	7.6	% m/m b.h.
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 18122	0.26	% m/m b.s.
Densidad Aparente (b.h.)	UB-PE-06-ISO 17828	111.6	kg/m ³ b.h.
Contenido de Volátiles	PE-ER-06-ISO 18123	84.6	%
Poder calorífico superior	PE-ER-13-ISO 18125	4262	kcal/kg
Poder Calorífico Inferior a 8% de humedad	ISO 17225-1	3918 (4.6)	kcal/kg (kWh/kg)
Contenido de Cloro	PE-ER-15-ISO 16994	0.07	% m/m b.s.
Contenido de Azufre	PE-ER-16-ISO 16994	0.04	% m/m b.s.
Contenido de Nitrógeno	IRAM-SAGyP 29572-1	0.04	% m/m

Tabla 5: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Observaciones:

La humedad cercana al 10 % b.h., consecuencia del proceso de secado de la madera, permitiría producir pellets, junto al residuo producto del despunte de tabla generados en el mismo sector. Todo sin necesidad de secar, pero considerando la necesidad de humedecer levemente la biomasa en la línea del proceso de peletizado.

El contenido de cenizas cercano al 0.3 % es coherente a la tabla 1. El valor de cenizas lo ubica en la categoría A1 (mayor calidad).

7.2.3. Muestra 3: Cantoneras



Descripción:

La muestra se tomó inmediatamente después de la generación del residuo. La pieza se eligió de modo que su relación corteza/madera representará un intermedio entre una pieza fina (relación que se acerca a 1) y otra de mayor espesor de madera, donde la relación tiende a 0. En función de las propiedades de la corteza (estudiadas más adelante) su influencia será de mayor gravitación si su proporción en la pieza es mayor, o lo que es decir, directamente proporcional.

Esta muestra, al igual que las demás, es reducida a un tamaño de 1 mm con el objetivo de homogeneizar y así evaluar sus propiedades.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Humedad (b.h.)	UB-PE-02-ISO 18134-2	39.0	% m/m b.h.
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 18122	2.29	% m/m b.s.

Tabla 6: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Se tomaron además otras dos muestras (tal lo enunciado en párrafo anterior), una de mayor espesor y otra de menor. Se analizó comparativamente el contenido de cenizas para observar su variación porcentual en función del espesor. Si bien hay más variables como el espesor de la corteza y diámetro del rollizo original, el análisis muestra la tendencia esperable: a mayor relación (o sea, más cercana a 1) corteza/madera, entonces mayor contenido de cenizas. La altura de la cantonera (en cm) fue medida como se muestra en las imágenes anteriores.

Contenido de cenizas (% b.s.)

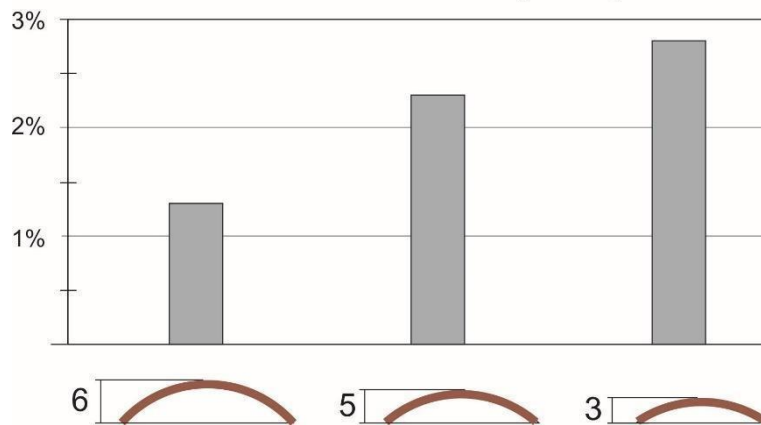


Gráfico 7: Contenido de cenizas. Elaboración CIEFAP

Observaciones:

El contenido de cenizas de la cantonera analizada, es mayor que el recomendado para las calidades más bajas de pellet doméstico, sin embargo, es coherente con el límite de cenizas para categorías de uso industrial. El espesor de corteza aumenta este parámetro y dependiendo del manejo de los rollizos la corteza puede acarrear tierra, aumentando aún más el contenido de cenizas.

7.2.4. Muestra 4: Pudrición Blanca



Descripción:

La muestra fue tomada de una porción de rollizo descartado, ubicado en cancha de acopio. Se seccionó la porción que evidenciaba pudrición, luego se procesó para su análisis de laboratorio. A este material, además del contenido de cenizas, se analizó su poder calorífico para compararlo con el material sin pudrición.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 18122	0.30	% m/m b.s.
Poder Calorífico Superior	EN 14918	4600	kcal/kg
Poder Calorífico Inferior a 8% de humedad	ISO 17225-1	4229 (4.9)	kcal/kg (kWh/kg)

Tabla 7: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Observaciones:

El valor de cenizas lo ubica en la categoría A1 (mayor calidad). Respecto al poder calorífico para un 8 % de humedad el valor se encuentra dentro de lo admisible para su uso doméstico, pero comparativamente con otras biomásas antes descriptas, es menor.

7.2.5. Muestra 5: Pudrición Marrón



Descripción:

La muestra fue tomada de una porción de rollizo descartado, ubicado en cancha de acopio. Se seccionó el sector correspondiente a la pudrición, que luego se procesó para su análisis de laboratorio. Además del contenido de cenizas, se analizó su poder calorífico para compararlo con el material sin pudrición.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 18122	0.18	% m/m b.s.
Poder Calorífico Superior	EN 14918	4832	kcal/kg
Poder Calorífico Inferior a 8% de humedad	ISO 17225-1	4443 (5.2)	kcal/kg (kWh/kg)

Tabla 8: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Observaciones:

El valor de cenizas lo ubica en la categoría A1 (mayor calidad). Respecto al poder calorífico para un 8 % de humedad se ubica en el límite de la norma para el uso doméstico, comparable a pellets de otras regiones.

7.2.6. Muestra 6: Material recolectado en campo antiguo



Descripción:

La muestra fue tomada de una pila de tablas en campo. Se estima, según registro de la DGDF, que fueron generadas 12 años atrás (2008-2009). Se evaluó, además de su contenido de cenizas, el poder calorífico para observar cambios respecto del material equivalente, pero actual.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 1812	0.52	% m/m b.s.
Poder Calorífico Superior	EN 14918	4598	kcal/kg
Poder Calorífico Inferior a 8% de humedad	ISO 17225-1	4227 (4.9)	kcal/kg (kWh/kg)
Densidad Sólida (Humedad 12% bh)	Aproximación por cálculo geométrico	520	kg/m ³

Tabla 9: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Observaciones:

El valor de cenizas lo ubica en la categoría A1 (mayor calidad), aunque el valor es mayor comparado con el material equivalente (Muestra 2). En principio, podría asociarse a la contaminación con tierra, aunque este supuesto debiera verificarse en otros ensayos. En tanto, el poder calorífico para un 8 % de humedad se ubicó en el límite superior que establece la norma para uso doméstico.

7.2.7. Muestra 7: Rollizo diámetro 22cm



Descripción:

La muestra fue tomada un mes después del tratamiento aplicado (raleo), en un bosque secundario ubicado en el sector denominado Aguas Blancas. Su propósito fue evaluar la biomasa proveniente de ejemplares juveniles. Para ello se seleccionó una pieza de diámetro promedio de 20 cm.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 1812	0.63	% m/m b.s.
Densidad Sólida (Humedad 25% bh)	Aproximación por cálculo geométrico	640	kg/m ³

Tabla 10: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Observaciones:

El valor de cenizas lo ubica en la categoría A1 (mayor calidad). El material contiene una corteza fina, que en la proporción de la pieza genera un valor de cenizas relativamente bajo. La corteza de esta pieza es analizada por separado más adelante.

7.2.8. Muestra 8: Rollizo diámetro 11cm



Descripción:

La muestra fue tomada un mes después del tratamiento aplicado (raleo), en bosque secundario en el sector denominado de Aguas Blancas. Con el mismo propósito que el 1.2.7, evaluar biomasa proveniente de ejemplares juveniles, se seleccionó una pieza de diámetro cercano a 10 cm.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 1812	0.55	% m/m b.s.
Densidad Sólida (Humedad 16% b.h.)	Aproximación por cálculo geométrico	650	kg/m ³

Tabla 11: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Observaciones:

El valor de cenizas lo ubica en la categoría A1 (mayor calidad). El material contiene una corteza fina, que en la proporción de la pieza genera un valor de cenizas relativamente bajo.

7.2.9. Muestra 9: Corteza proveniente de cantonera



Descripción:

La sub muestra se tomó de la muestra 1.2.3, proveniente de ejemplar adulto, con corteza corchosa (rollizo de entre 50 - 70 cm de diámetro). El objetivo, identificar las propiedades específicas en la corteza y así verificar su influencia.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 1812	4.14	% m/m b.s.
Poder Calorífico Superior	EN 14918	4996	kcal/kg
Poder Calorífico Inferior a 8% de humedad	ISO 17225-1	4594 (5.3)	kcal/kg (kWh/kg)

Tabla 12: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Observaciones:

El contenido de cenizas es coherente con los valores que figuran en la Tabla 1. Este valor (4 %) frente al de 0.3 % de madera sin corteza, es de esperar que tenga una alta incidencia porcentual, o peso significativo, en el contenido de cenizas de un material compuesto por ambos.

Si el objetivo es un producto (pellet) de bajo contenido de cenizas, es factible la implementación de distintas estrategias. Que van desde la remoción (previa o post molienda) a la formulación de una mezcla que incluya materiales de mejor calidad. En tal sentido, la categoría A2 para pellet doméstico incluye la opción de “árbol entero sin raíces”, como un ejemplo de material que incluye corteza.

Respecto al poder calorífico, para un 8 % de humedad, se ubicó por encima del límite de la norma para uso doméstico. Si bien el conjunto de parámetros de clasificación no lo hacen apto para uso doméstico, posee un elevado poder calorífico. Esto lo hace suficiente para uso energético con equipamiento tecnológico que permita operar su contenido de ceniza y otros elementos.

Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y
posibilidad de valorización como pellets de madera

7.2.10. Muestra 10: Corteza proveniente de rollizo de diámetro 22cm



Descripción:

La sub muestra se tomó de la muestra 1.2.7, ejemplar joven de 22 cm de diámetro. El objetivo, identificar las propiedades específicas en la corteza para este diámetro y así verificar su influencia.

Resultados:

Parámetro	Método*	Valor	Unidad
Contenido de Cenizas (b.s.)	UB-PE-03-ISO 1812	4.14	% m/m b.s.

Tabla 13: Resultados. Elaboración CIEFAP

*Los métodos de ensayo utilizados se basan en las normas detalladas para cada caso.

Observaciones:

El contenido de ceniza es coherente con valores informados en la Tabla 1. Aunque el valor es menor que la muestra anterior (1.2.9), similar a lo que ocurre con esta, su influencia es la causa del aumento sustancial del contenido de cenizas en la pieza total (madera y corteza).

7.2.11. Muestras de humedad cantoneras

Se analizó el contenido de humedad de cantoneras sobre un total de 42 muestras. Ubicadas en distintos sitios (pilas diferentes), con tiempos de estacionamiento diferentes y distintas posiciones dentro de la pila. El objetivo consistió en determinar el valor promedio de humedad y el rango de variación, con el propósito de precisar desde que punto se parte en la etapa de secado en el proceso, y que puede implicar ello en término de tiempos y costos.

Contenido de Humedad (b.h.)

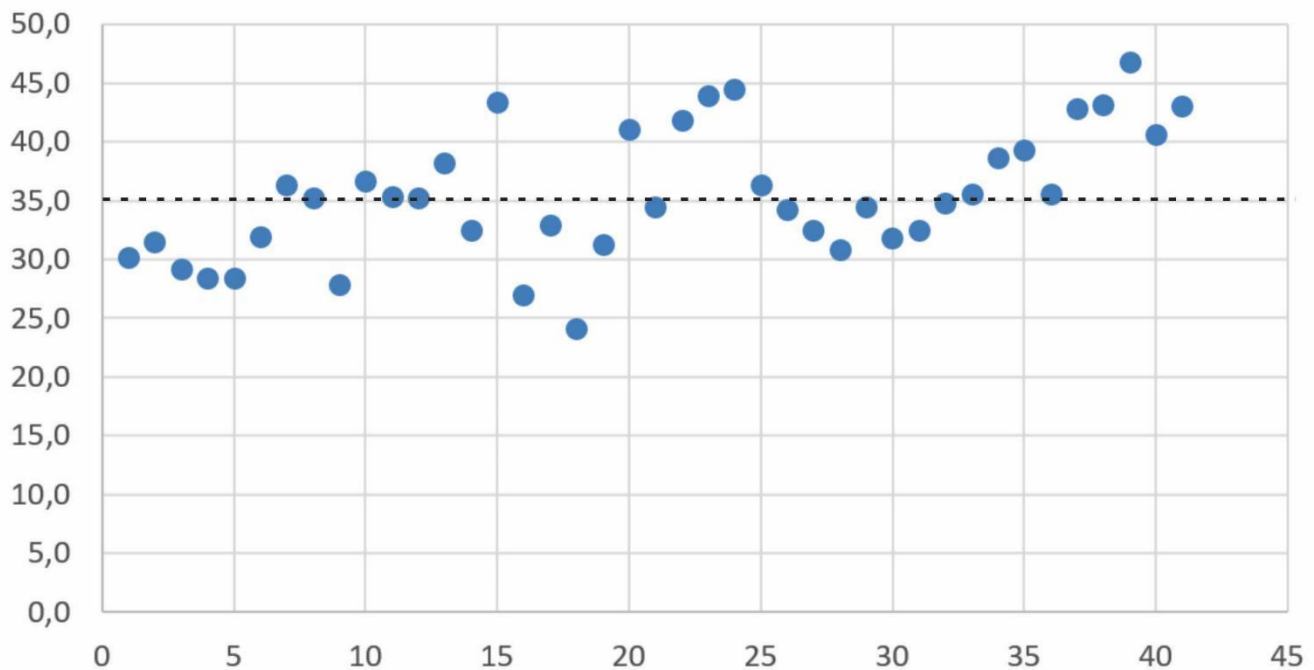


Gráfico 8: Contenido de Humedad. Elaboración CIEFAP

Dentro de la heterogeneidad de valores de contenido de humedad, el gráfico anterior nos permite ver un rango medio acotado entre 30 y 40%, con un promedio de 35%.

7.3. Resultados de otras fuentes

A continuación, se presentan otros resultados de la caracterización físico-química de biomasa de *Nothofagus pumilio* obtenidos en estudios realizados en Chile. Además, se incluyen valores de PCS adquiridos por laboratorios certificados.

Los valores de cenizas para el material de viruta determinados en los ensayos de laboratorio del presente documento son coherentes con los resultados de fuste de los documentos que se muestran a continuación.

Análisis astillas de lenga

ANÁLISIS PRÓXIMO		
Propiedad	Base húmeda	Base seca
Tipo	Astillas	
Tamaño de la astilla (cm3)	4 (2x2x1)	
Densidad aparente (kg/m3)	200	-
PCS (MJ/kg)	16.89	19.55
Contenido de humedad (%)	13.61	-
Contenido de material volátil (%)	72.72	84.18
Contenido de carbono fijo (%)	13.24	15.32
Contenido de cenizas (%)	0.44	0.5

Muestra analizada	Laboratorio	PCS (MJ/kg)
Astillas de Lenga	Monte Alto S.A.	19.46
	CENER	19.11
	CIEMAT	19.58

ANÁLISIS ÚLTIMO		
Propiedad	Base húmeda	Base seca
Tipo	Astillas	
Carbono	42.54	49.25
Hidrógeno	6.59	5.87
Oxígeno	50.13	44.04
Nitrógeno	0.08	0.1
Azúfre	<0.01	<0.01

Tabla 14: Fuente: (Magallanes. et al. 2014)

Distintas partes de la lenga

PODER CALORÍFICO SUPERIOR Y CONTENIDO DE CENIZAS DE LAS ESPECIES SEGÚN COMPONENTE ARBÓREO

Especie	PCS (kWh/kg)			Contenido de Cenizas (%)		
	Fuste	Rama	Ramilla	Fuste	Rama	Ramilla
Pino ponderosa	5,45	5,91	6,05	0,54	0,86	3,00
Pino contorta	5,34	5,71	6,04	0,47	0,49	2,00
Lenga	5,33	5,43	-	0,37	1,64	-
Nirre	4,92	4,94	-	1,29	3,55	-
Para comparación						
Valores típicos para madera de coníferas	5,2 - 5,5			0,2-0,5		
Valores típicos para madera nativa	5,1 - 5,3			0,2-0,5		

Tabla 15: Fuente: (Informe técnico N° 214. 2017)

Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y posibilidad de valorización como pellets de madera

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BIOMASA

Especie	Componente	Peso Seco (%)			
		C	H	N	S
Pino ponderosa	Fuste	51,07	6,59	< 0,2	0,05
	Rama gruesa	51,70	6,64	< 0,2	< 0,05
Pino contorta	Fuste	48,67	5,69	< 0,2	0,05
	Rama gruesa	47,90	5,78	< 0,2	< 0,05
Lenga	Fuste	46,60	5,54	< 0,2	< 0,05
	Rama gruesa	45,90	5,56	0,26	< 0,05
Ñirre	Fuste	46,00	5,45	0,21	0,05
	Rama gruesa	46,50	5,42	0,33	< 0,05

Tabla 16: Fuente: (Informe técnico N° 214. 2017)

7.4. Uso de la Materia Prima para pellet

Los resultados obtenidos en este trabajo son de muestras específicas, pero permiten corroborar situaciones comunes con otras materias primas utilizadas.

En relación al contenido de cenizas deberá ser menor a 0.7 % para un pellet clase A1, cual es demandado por los mercados para consumo hogareño, ya que se considera este producto como de calidad Premium. Los resultados obtenidos indican que la corteza es un elemento que aporta gran cantidad de cenizas, por ello debe ser extraída (idealmente antes del aserrío) o evaluada su relación en la madera que acompaña. El descortezado pre aserrío genera biomasa (aserrín) libre de corteza; y además, las máquinas descortezadoras más sencillas actúan mejor en piezas cilíndricas (rollizo).

El gráfico 9 muestra los resultados de cenizas para las distintas muestras del trabajo, pero referenciadas según el umbral máximo de contenido de cenizas de 0.7 % (línea de puntos), como límite de la calidad A1.

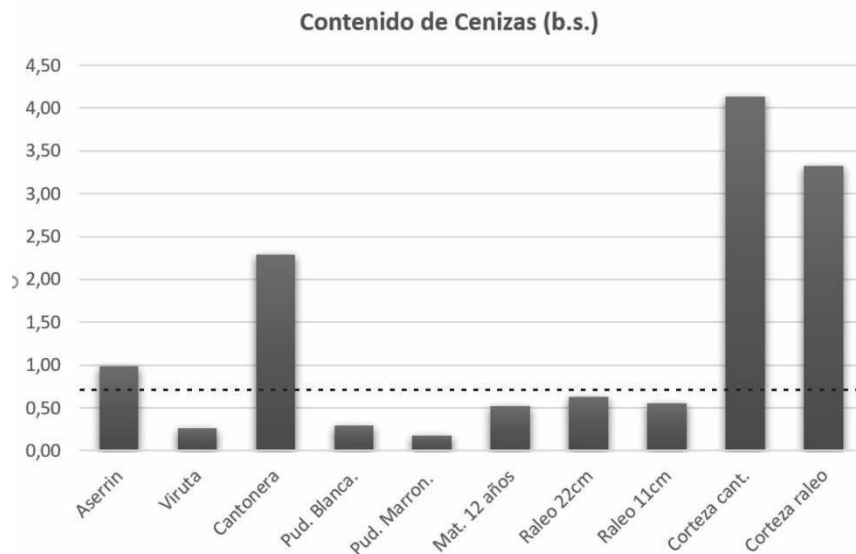


Gráfico 9: Contenido de Cenizas. Elaboración CIEFAP

7.5. Costos de producción de pellets

A fin de realizar la estimación de costos de producción en el proceso de peletizado, se definieron puntos críticos o condiciones de borde para conceptualizar distintos escenarios de una planta productiva. A continuación, se analizan 2 escalas productivas especificando los criterios asumidos para cada una. El objetivo es brindar el costo operativo de producción, no habiéndose considerado en el análisis, la ubicación de la planta, comercialización, impuestos, distribución, etc.

7.5.1. Planta de pellet 300kg/h

Esta pequeña escala de producción aumenta los costos por unidad fabricada. Igualmente se realiza el análisis de costos a fin de cotejar los componentes del costo que fluctúan en función de la escala y la variabilidad en función de ello. En este caso de estudio, la capacidad producción limita la elección o adición de algún equipo al proceso, en particular para el acondicionamiento de la biomasa. Y su tamaño en diámetro o ancho no debe ser mayor al del equipo de chipeado.

Ciclos de trabajo y producción

Se plantea el diseño y estudio de caso teórico de una planta de baja producción acorde a los volúmenes de material residual en un aserradero de pequeño porte. Esta producción se fija en 2100 kg de pellet por día, con solo un (1) turno diario para producción.

Considerando una jornada laboral de 8hs, se estima un tiempo de producción de 7 hs por jornada y 20 días al mes. Este supuesto representa unas 1680 hs anuales de producción.

En la tabla de costos operativos se realiza la evaluación para 1 turno como el descrito, y también para una planta trabajando doble turno.

Materia prima:

El informe contiene un apartado sobre la calidad de la materia prima (Apartado 3.3.4). En cuanto a su formato, en este estudio de caso y análisis se contempla el uso de materia prima en forma de tabla o fuste de pequeño diámetro. Se asume que el ancho de tablas o diámetro equivalente de las piezas es acorde a lo que acepta la chipeadora.

La humedad promedio de los insumos se supone en 50 % b.h., es decir que no considera ningún secado natural. Cualquier estacionado u oreado que permita reducir su humedad repercutirá en un menor costo de energía térmica en el proceso de secado forzado.

El pellet producido debe tener una humedad menor al 10 % b.h. En consideración, se requieren 3.720 Kg por turno de materia prima (humedad 50 % b.h.), para la producción estipulada.

El estudio, considera nulo el costo de la materia prima. Esto se sustenta en la disponibilidad de residuo en los aserraderos y en la posibilidad de suplir el contexto actual de quema. En el caso de utilizar otro material o insumo distinto al generado por el aserradero, será necesario considerar los supuestos de adquisición del material y el transporte (logística) en los costos de transporte.

Espacio físico, terreno y superficies cubiertas

Para este estudio de caso, el dimensionamiento de la planta prevé una superficie mínima de 80 m². Es recomendable contar con 150 m² de superficie cubierta y otros 200 m² de superficie semi-cubierta. Lógicamente el dimensionamiento de estos espacios depende de la logística de generación de la materia prima y del flujo de venta del producto.

Los costos utilizados por m² no incluyen instalaciones contra incendios, ni equipamientos para el transporte de materia prima desde los distintos puntos de la planta. Se asume que el aserradero posee una pala cargadora o mini-cargadora (tipo bobcat) para el movimiento de la materia prima. También considera como costo hundido el terreno donde se instalará, partiendo del supuesto que es propio o accesible por cesión de tierra pública fiscal. Tampoco se considera la instalación de silos intermedios o de acopio de gran porte, que pueden modificar parcialmente las superficies requerida en caso de su inclusión.

Es importante considerar en los cálculos y dimensionamiento de una planta, que el pellet no puede permanecer a la intemperie, y la producción debe estar protegida. Además, luego de su fabricación el pellet libera monóxido de carbono, por lo cual su acopio en silos o sitios cerrados se deberá tener en cuenta la peligrosidad de acumulación de este gas.

Para la superficie cubierta se consideró un costo de USD 300 por m² y un costo de USD 210 por m², para la semi-cubierta.

Maquinaria y consumo energético

Para esta planta de pequeña producción se selecciona un secador tipo “flash”. A continuación, se muestra un esquema de equipamientos:

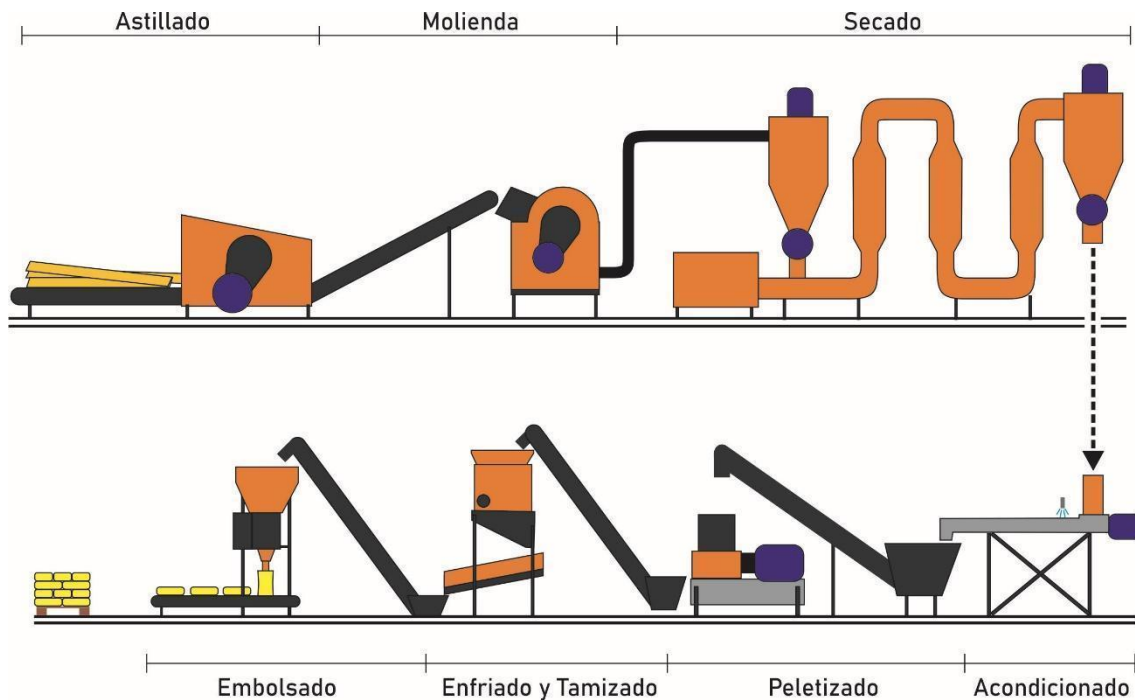


Diagrama de Proceso 300kg/h

Para conocer el monto de inversión en maquinaria se obtuvieron cotizaciones de diferentes proveedores y posteriormente se tomó un valor medio del rango obtenido. Este valor promediaba cotizaciones de origen europeo y chino.

Consumos energéticos

Consumo eléctrico.			Consumo Térmico
Equipamiento	Potencia nominal [KW]	Consumo horario [KWh]	Para el secado de biomasa se considera una humedad inicial de 50% b.h. y una final de 13%b.h. La cantidad de agua a evaporar en este proceso es de 261kg/h. Se consideran 3100 KJ/kg de agua evaporada. Este valor contempla un rendimiento térmico del secador del 75%. Consumo energético (térmico) horario: $E_{\text{secado}} = L_{\text{evap}} \cdot M_{\text{agua}}$ $E_{\text{secado 1 hora}} = 688200KJ = 191KWh$
Descortezadora	14	2	
Chipeadora / crusher	21	6	
Alimentador 1	0,75	0,5	
Molino martillos	15	12	
Ciclón 1	5	5	
Caldera	0,5	0,38	
Ciclón 2	15	10	
Acondicionador	2,25	2	
Alimentador 2	0,75	0,5	
Pelletizadora	37	35	
Alimentador 3	0,75	0,5	
Enfriado / tamizado	1,5	1	
Alimentador 4	0,75	0,5	
Embolsado	1,5	1	
Tableros electricos	1	1	
Total	116,75	77,38	
Consumo eléctrico anual por turno (1680hs) = 129.990KWh			Consumo térmico anual = 321.160KWh Lo que equivale a: 33.109m³ anuales de Gas Natural*. *PCI Gas Natural = 9.7KWh/m3

Tabla 17: Consumos Energéticos.

La tabla anterior detalla los consumos energéticos para un turno de 8hs. En la misma se puede observar el orden de magnitud de la potencia eléctrica instalada mínima de la planta.

Los costos por unidad de energía utilizados son los siguientes

Gas natural: 0.038 USD/m3

KWh eléctrico: 0.088 USD/KWh

El combustible considerado en el secado es gas natural, debido al bajo costo del mismo, fácil regulación y equipos más económicos. Existen equipamientos que utilizan biomasa en distintos formatos (x ej. corteza), pero se debe evaluar costo beneficio en cada caso.

Personal

Tarea	Cant. por turno	Costo mes USD
Operario para provisiones de biomasa / carga de producto terminado	1	531
Jefe de fábrica - control de proceso / mantenimiento / control calidad producción	1	713
Operaciones embolsado	1	531
Administración / venta*	0	
Total	3	

Tabla 18: Personal

Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y posibilidad de valorización como pellets de madera

* Se considera que la producción de pellet dentro de un aserradero dispone de la estructura administrativa del propio aserradero.

Insumos y Mantenimiento.

Este ítem considera los consumibles y materiales para el mantenimiento anual de la planta. Se estima como un 5% del costo inicial de maquinarias.

Estacionalidad

Según la información relevada, la producción de madera se mantiene durante todo el año y lo mismo ocurrirá con los residuos. La demanda será mayor en épocas invernales si el pellet se vende en el mercado local, mientras que, si el pellet se exporta al hemisferio norte, el consumo coincidirá con el verano local. Esto incide en la estrategia de acopio y producción.

Amortizaciones

Para obtener un estimado de costos operativos, se determinó una vida útil de 10 años para maquinarias y de 30 años para inmuebles. No se considera el costo financiero por pago de préstamos asociados a la adquisición del equipamiento o galpones. En caso de considerarlo, en las tablas está toda la información para poder extraer los datos necesarios.

Costos de inversión, operativos y por kg de pellet

	USD unitario	USD total grupo
Obra civil		
Sup cubierta (150m2)	\$ 45.000,00	
Sup semicubierta (200m2)	\$ 42.000,00	\$ 87.000,00
amortizacion obra civil (30 años)	\$ 2.900,00	
Equipamiento		
Maquinarias	\$ 218.000,00	
instalacion y puesta en marcha	\$ 32.700,00	\$ 250.700,00
amortizacion equipamiento	\$ 25.070,00	

Costos operativos	Un turno de operación diario		operación doble turno	
amortizacion obra civil	\$ 2.900,00		\$ 2.900,00	
amortizacion equipos	\$ 25.070,00		\$ 25.070,00	
Energia	\$ 12.729,89		\$ 25.459,78	
RRHH	\$ 21.302,53		\$ 42.605,06	
Insumos y mantenimiento	\$ 10.900,00	\$ 72.902,42	\$ 21.800,00	\$ 117.834,84
Produccion anual de pellets (Ton/año)	504		1008	
Costo kg de pellet en usd	\$ 0,14		\$ 0,12	
Costo kg de pellet en \$AR	\$ 14,46		\$ 11,69	

Tabla 19: Costos de inversión.

La tabla considera costos de producción industrial, no contempla impuestos, Ingresos brutos, Imp. a las ganancias, etc. Así tampoco todos los costos asociados a la comercialización ej.: transporte a puerto, comercialización y exportación.

Distribución de costos operativos

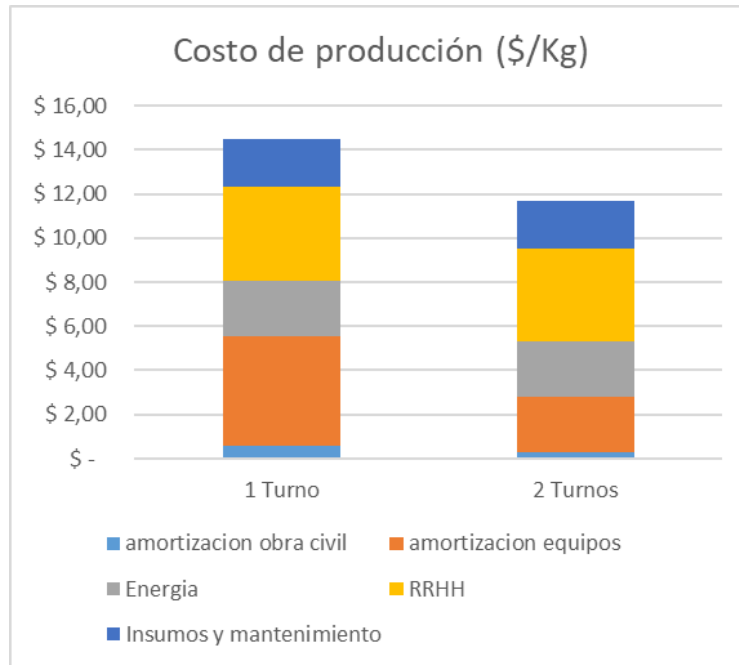


Gráfico 10: Costos. Elaboración CIEFAP

7.5.2. Planta de pellet 2000kg/h

Esta escala de producción es coherente con los residuos generados por un aserradero de mayor consumo, o productor que reúna distintos residuos. Se considera que la materia prima debe ser descortezada, y se realice antes de su ingreso a boca de sierra (sobre rollizos) a fin de liberar de corteza el aserrín y cantoneras; también, en rollizos de menor calidad que serán utilizados íntegramente para producción de pellets.

Ciclos de trabajo y producción

Con el objetivo de revalorizar los residuos madereros, se plantea el diseño y estudio de caso teórico de una planta de producción por turno de 14000 kg de pellet.

Considerando una jornada laboral de 8 hs, se estima un tiempo de producción de 7 hs y 20 días al mes. Representado este supuesto unas 1680 hs anuales de producción.

En la tabla de costos operativos se realiza una evaluación para 1 turno de 8 hs como el descrito y también para una planta trabajando doble turno.

Materia prima:

Este proceso plantea el descortezado de rollizos, en la etapa inicial o sea antes de su ingreso a boca de sierra, lo cual además de generar una mejora en la calidad de la biomasa, permite aumentar considerablemente la vida útil de las sierras, ya que además de la corteza, en ella vienen contaminantes adheridos (tierra, piedras).

Se considera la posibilidad de utilizar rollizos que no sea aptos para la generación de madera de calidad. Para ello, además del descortezado debe reducirse su tamaño pudiendo utilizar un partidor de troncos, y así lograr las dimensiones compatibles con la boca de alimentación de la chipeadora.

Residuos “sólidos” como tablas de calidad insuficiente o cantoneras libres de corteza son ingresadas en el proceso de peletizado, directamente en la chipeadora. Como se mencionó anteriormente.

La humedad inicial de la materia prima se estima en 50% b.h. es decir que no se considera ningún secado natural. Cualquier estacionado que permita reducir la humedad en forma natural repercutirá en un menor costo de energía térmica en el proceso de secado forzado.

El pellet producido debe tener una humedad menor al 10% b.h. Para la producción planteada de 2.000 Kg/h se requieren 25.2 t por turno de materia prima (humedad 50% b.h.)

Por otra parte, se considera nulo o como costo hundido el de la materia prima. Esto se sustenta en la disponibilidad de residuo en los aserraderos y en la posibilidad de suplir el contexto actual de quema. De utilizar para el proceso, otro material distinto al generado por el aserradero, se recomienda considerar los costos de transporte por tonelada de material biomásico.

Espacio físico, terreno y superficies cubiertas

La planta para esta capacidad de producción ocupa aproximadamente 180 m². Siendo conveniente contar mínimo de 300 m² de superficie cubierta y otros 400 m² de superficie semi-cubierta. Naturalmente, el dimensionamiento de estos espacios depende de la logística para el manejo de la materia prima generada y del flujo de venta del producto terminado. Los costos utilizados por m² no incluyen instalaciones contra incendios, ni equipamientos para el transporte de materia prima desde los distintos puntos de la planta. Al igual que en el estudio anterior se supone la disponibilidad en el aserradero de una pala cargadora o mini-cargadora (tipo bobcat) para el movimiento de la materia prima.

Para el caso de estudio se considera que el terreno donde se instala la planta es propio o es accesible mediante cesión de tierra pública fiscal.

En el diseño propuesto no se incluyen silos intermedios o de acopio de gran porte. Estos pueden modificar parcialmente las superficies necesarias.

Maquinaria y consumo energético

Para esta planta se selecciona un secador tipo “tambor rotativo” y una máquina de descortezado previo a las operaciones de aserrado. Aquí se muestra un resumen para la producción estudiada.

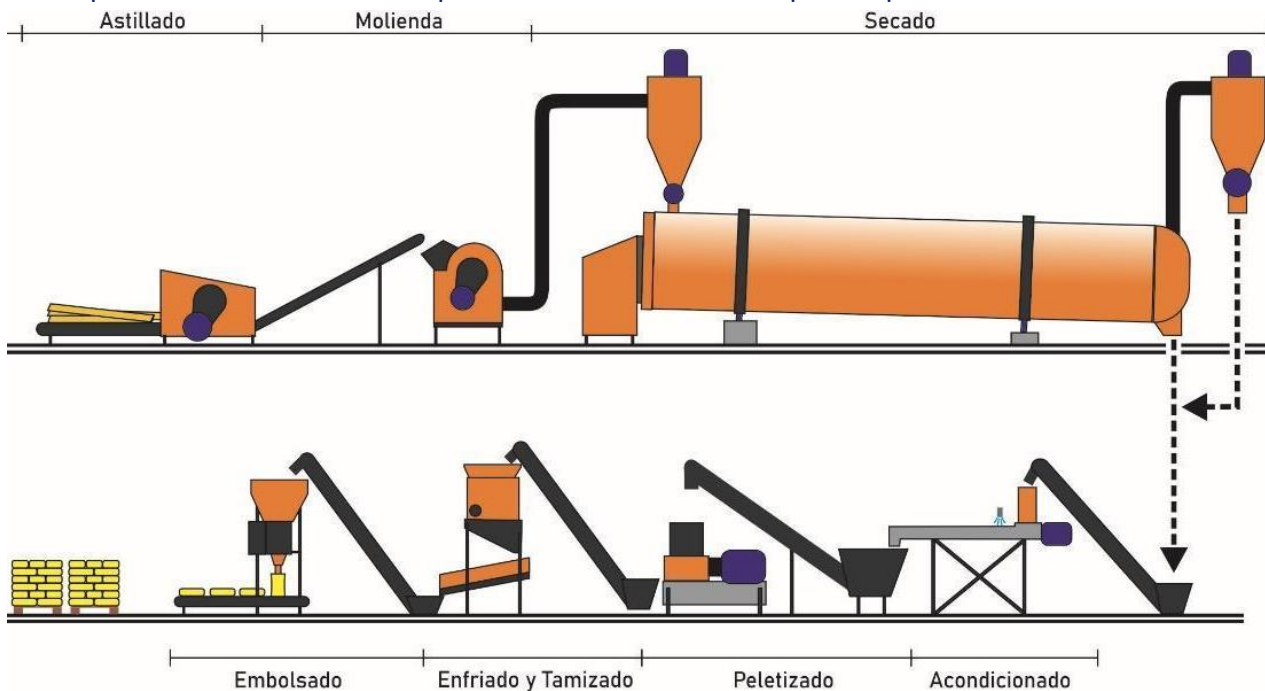


Diagrama de Proceso 2000kg/h

Se obtuvieron cotizaciones de diferentes proveedores. Se tomó un valor en el centro del rango de los obtenidos. Este valor promediaba cotizaciones de origen nacional, europeo y chino.

Consumos energéticos

Consumo eléctrico.			Consumo Térmico
Equipamiento	Potencia nominal [KW]	Consumo horario [KWh]	Para el secado de biomasa se considera una humedad inicial de 50% b.h. y una final de 13%b.h. La cantidad de agua a evaporar en este proceso es de 1480kg/h. Se considera un calor de vaporización de 3100 KJ/kg. El cual contempla el rendimiento del secador. Por lo tanto el consumo energético (térmico) horario es el siguiente: $E_{\text{secado}} = L_{\text{evap}} \cdot M_{\text{agua}}$ $E_{\text{secado 1 hora}} = 4588000KJ = 1274KWh$
Descortezadora	14	9	
Chipeadora / crusher	55	35	
Alimentador 1	3	2,25	
Molino martillos	90	72	
Ciclón 1	22	17,6	
Caldera	0,5	0,375	
Tambor rotativo	12	9	
Ciclón 2	30	24	
Acondicionador	3	2,25	
Alimentador 2	3	2,25	
Pelletizadora	160	150	
Alimentador 3	3	2,25	
Enfriado / tamizado	4	4	
Alimentador 4	3	2,25	
Embolsado	3	3	
Tableros electricos	1,5	1,5	
Total	407	337	
Consumo eléctrico anual por turno (1680hs) = 566.258KWh			Consumo térmico anual = 2.141.066KWh Lo que equivale a: 220.729m³ anuales de Gas Natural*.
			*PCI Gas Natural = 9.7KWh/m3

Tabla 20: Consumo energéticos.

La tabla anterior detalla los consumos energéticos para un turno de 8hs. En la misma se puede observar la potencia eléctrica instalada mínima de la planta.

Los costos por unidad de energía utilizados son los siguientes

Gas natural: 0.038 USD/m3

KWh eléctrico: 0.088 USD/KWh

Personal

Tarea	cant. por turno
Operario para provisiones de biomasa / descortezado	1
Jefe de fábrica - control de proceso / mantenimiento / control calidad producción	1
Operaciones embolsado / carga de producto terminado	1
Administración / venta*	0
Total	3

Tabla 21: Personal.

** Se considera que la producción de pellet dentro de un aserradero dispone de la estructura administrativa del propio aserradero.

Insumos y Mantenimiento.

Este ítem considera los consumibles y materiales para el mantenimiento anual de la planta. Se estima como un 5% del costo inicial de maquinarias.

Los gastos por servicios básicos, de comunicación, teléfono, internet, etc. se consideran absorbidos por el propio aserradero.

Estacionalidad

Según la información relevada, la producción de madera se mantiene durante todo el año y lo mismo ocurrirá con los residuos. Se debe tener en cuenta que la producción será en principio constante, y la demanda será mayor en épocas invernales si el pellet se vende en el mercado local, mientras que si el pellet se exporta al hemisferio sur, el consumo coincidirá con el verano local. Esto incide en la estrategia de acopio y producción.

Costos de inversión, operativos y por kg de pellet

	USD unitario	USD total grupo
Obra civil		
Sup cubierta (300m2)	\$ 90.000,00	
Sup semicubierta (400m2)	\$ 84.000,00	\$ 174.000,00
amortizacion obra civil (30 años)	\$ 5.800,00	
Equipamiento		
Maquinarias	\$ 400.000,00	
instalacion y puesta en marcha	\$ 60.000,00	\$ 460.000,00
amortizacion equipamiento	\$ 46.000,00	

Costos operativos	Un turno de operación diario		operación doble turno	
amortizacion obra civil	\$ 5.800,00		\$ 5.800,00	
amortizacion equipos	\$ 46.000,00		\$ 46.000,00	
Energia	\$ 58.415,48		116830,9694	
RRHH	\$ 21.302,53		42605,056	
Insumos y mantenimiento	\$ 20.000,00	\$ 151.518,01	40000	\$ 251.236,03
Produccion anual de pellets (Ton/año)	3360		6720	
Costo kg de pellet en USD	\$ 0,05		\$ 0,04	
Costo kg de pellet en \$AR	\$ 4,51		\$ 3,74	

Tabla 22: Costos de inversión.

En la tabla anterior se consideraron los costos de producción industrial, no están considerados Impuestos, Ingresos brutos, Imp. a las ganancias, etc. ni transporte a puerto, comercialización, exportación.

Distribución de costos operativos

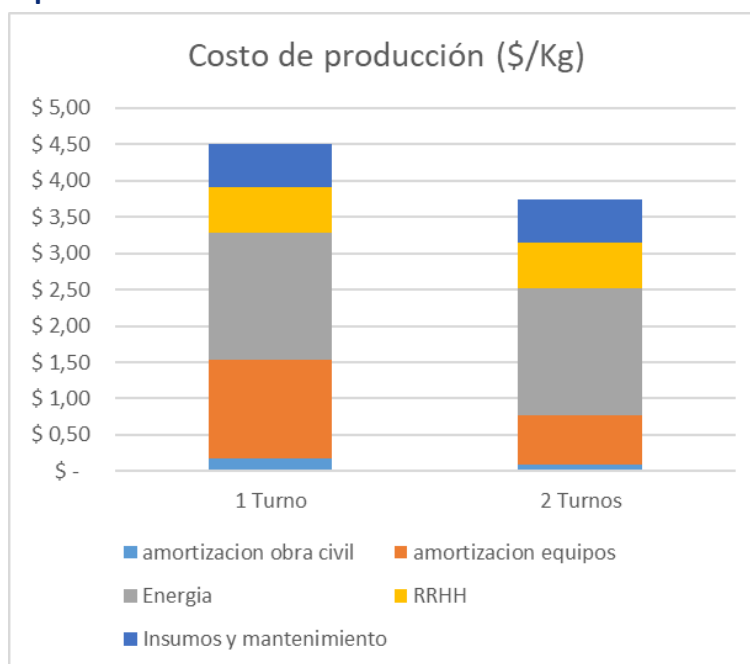


Gráfico 11: Costos. Elaboración CIEFAP

7.5.3. Comparación de costos

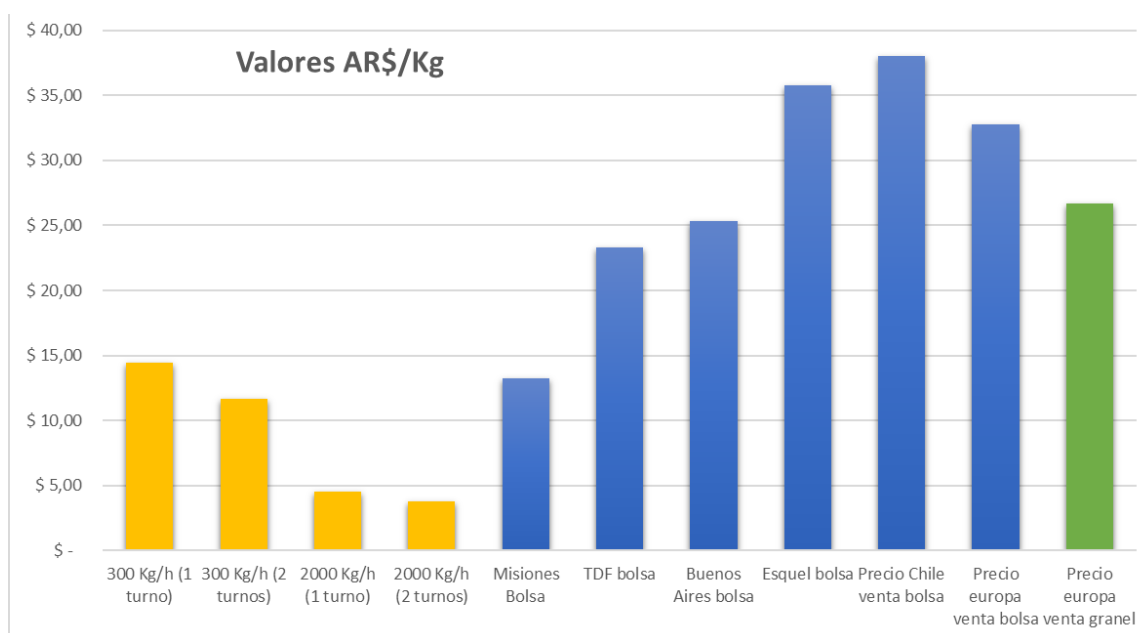


Gráfico 12: Costos. Elaboración CIEFAP

Las barras amarillas corresponden a los costos de transformación estimados en este documento (formato embolsado).

Las barras azules son costos de venta en distintos lugares convertidos a AR\$ según dólar oficial. (Fuentes: Chile-Infor, Europa-Avebiom, Argentina-Propia)

La barra verde es el precio de venta a granel en Europa convertidos a AR\$ según dólar oficial. (Fuente: Avebiom).

8. Anexos

8.1. ANEXO 1. Pellet de lenga en Chile

Es importante destacar que en la actualidad se producen pellets de lenga en Chile, a continuación, se muestra la web de un productor y luego más abajo datos sobre 3 fábricas de pellet a partir de lenga en este país, junto con información sobre el origen de la maquinaria que poseen.

The screenshot displays the website of IGNIS(TERRA), a company specializing in wood pellets. The header includes the company logo and navigation links: HOME, NUESTRA EMPRESA, PRODUCTOS, PROYECTOS, and TIENDA. A search bar and a shopping cart icon are also present. The main content area features a large image of several bags of 'Lenga PELLETS'. The bags are labeled with the company name, 'Lenga PELLETS', and 'Para calderas y calefactores de pellets'. A circular badge on the bags indicates 'PESO NETO 18 KG'. Below the image, the text 'IGNIS(TERRA) FABRICA PELLETS DE MADERA' is displayed, followed by the date 'Publicado el Apr 05, 2016' and the category 'Corporativo'. On the right side of the page, there are social media icons for Facebook, Twitter, and Pinterest. At the bottom left, there is a language selector showing 'Español' with a Spanish flag icon. At the bottom center, the text 'Energía limpia para calderas y calefactores domésticos' is visible.

Datos de producción e instalación de plantas en Chile.

Detalle de las principales plantas productoras de pellets									
Nombre	Contacto	Región	Localidad	Producción estim. 2018 (1)	Origen prensa	Secado	Especie principal	N° Trabajadores en pellets (2)	Mercados principales (Regiones) (3)
ECOMAS	Felipe Salazar	VIII	Los Ángeles	40.000	Europa	No	Pino radiata	15	R. Metrop. - Aysén
ANDES BIO-PELLET	José I. Viterbo	VIII	Los Ángeles	15.000	Europa	No	Pino radiata	12	Maule - Los Lagos
TRAIGUEN ENERGY	Sebastián Sölter	IX	Traiguén	12.000	Europa	Sí	Pino radiata	10	Bio-Bio - Los Ríos
PRO ENERGY	Renzo Godoy	VIII	Los Ángeles	9.000	China	No	Pino radiata	12	Maule - Araucanía
FUOCO / VENTURELLI	Mauricio Lobos	IX	Pillanlelún, Lautaro	9.000	Europa	No	Pino radiata	7	Reg. Metrop. - Aysén
BIOPOWER	Francisco Baeza	VIII	Coronel	6.500	Europa	No	Pino radiata	5	Bio-Bio - Araucanía
PELLET MAULE	Thiago Fornaro	VII	Constitución	5.000	EE.UU.	Sí	Pino radiata	4	Valparaíso - Maule
RECMA	Eduardo Vial	X	Puerto Varas	3.200	Europa	No	Pino radiata	3	Los Lagos
TRES VOLCANES	Samuel Salas	VII	Talca	3.000	s/i	No	Pino radiata	3	O'Higgins - Maule
PROSPERIDAD	Rodrigo Zambrano	VII	Talca	3.000	Europa	No	Pino radiata	3	R. Metrop. - Maule
BLOCK & CUTSTOCK	s/i	VIII	S. Pedro de la Paz	2.500	s/i	s/i	Pino radiata	3	Bio-Bio - Araucanía
FLOR DEL LAGO	Hernán Barrios	IX	Villarrica	2.200	Europa	No	P. oregón	3	Araucanía
ASERRADEROS COLLICO	Gastón Wilde	XIV	Mariquina	2.160	Europa	No	Pino radiata	4	Los Ríos
MADERAS SAN VICENTE	Jorge Vilicic	XII	Punta Arenas	1.800	China	Sí	Lenga	4	Aysén - Magallanes
FORESTAL RUSSFIN	Rodolfo Tirado	XII	Tierra del Fuego	1.300	China	No	Lenga	3	Aysén - Magallanes
BIOFLAM	Francisco Mac Clure	VII	San Javier	1.000	EE.UU.		Pino radiata	3	Reg. Metrop. y Maule
IGNISTERRA	Rodolfo Tirado	V	Villa Alemana	600	China	No	Lenga	2	Valparaíso - O'Higgins
OTROS	-	-	-	200	-	-	-	-	-
TOTAL tn/año				117.460					

Tabla 23: Fuente (Juan Escobar B. Ernesto Weil P. 2018).

8.2. ANEXO 2. Proceso de Peletizado

En el presente capítulo serán descritos los subprocesos que son necesarios para la fabricación de pellets. Dependiendo del nivel de automatización, control, seguridad y eficiencia se requieren diferentes equipos complementarios. En los siguientes párrafos se detalla en forma resumida los procesos principales de una planta.

8.2.1. Tratamientos previos y acopio de materia prima

De los componentes del proceso de peletizado analizados surgen como puntos críticos, la eliminación de contaminantes como tierra o piedras y por otra parte la separación de la corteza.

Si la materia prima posee corteza, deberá ser separada para lograr un pellet de mayor calidad y aumentar la durabilidad de las matrices de peletizado.

La corteza trae asociada suciedad y elementos nocivos para los sistemas mecánicos, ej: piedras. Para este proceso existen distintos tipos de máquinas las cuales deben ser acordes al producto a utilizar.

La corteza separada podría utilizarse como combustible para el secado del material utilizando un quemador industrial que pueda manejar el nivel de cenizas de este material.

Para materiales sucios que poseen tierra, un tamizado luego del chipeo puede ser una opción simple para reducirlos.

Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y
posibilidad de valorización como pellets de madera

Si la planta utiliza residuos o materiales que no poseen corteza, ni contaminaciones químicas el material puede ser dirigido a la siguiente fase del proceso dependiendo de su tamaño: chipeo, molienda o directamente al secado.

Si el material a utilizar posee un tamaño mayor al admitido por la chipeadora (proceso siguiente) se deberá reducir su tamaño eligiendo la mejor estrategia para el sitio en cuestión, puede ser mediante un partidor o mediante aserrado. Por ejemplo, los rollizos enteros con defectos que no posean una calidad acorde a la producción maderera.

La materia prima debe estar libre de clavos u otros materiales rígidos, de existir este tipo de elementos, se debe evaluar su extracción o desechar su utilización ya que puede dañar el equipamiento.

Respecto al acopio, cuando se monetiza los residuos y se incorporan a un sistema productivo, surge la necesidad de una estiba ordenada que permita su rápida toma y posicionamiento en la cinta de ingreso al proceso de peletizado. También es deseable que posibilidad de contaminaciones por tierra u otros agentes sean minimizadas, por ejemplo, cuando se utiliza una pala cargadora. El diseño del espacio y formato de acopio es una parte importante del proceso productivo.

8.2.2. Chipeo

En este proceso se fracciona el material en pequeñas partículas de aproximadamente entre 25 – 50 mm por medio de cuchillas o tambores. Generalmente en procesos estacionarios se utilizan chipeadoras de tambor con cinta transportadora que conduce el material hacia la boca de ingreso. Existen fabricantes que proveen líneas que reemplazan la chipeadora por una trituradora de muelas.



Chipeadora de tambor / www.abcmach.com



8.2.3. Molienda

El material chipeado sufre una nueva reducción de tamaño mediante un molino a martillos, aquí el tamaño de salida del molino debe ser menor al diámetro del pellet que se desea fabricar. Esto se logra mediante una malla perforada dentro del equipo, la cual retiene al material dentro, hasta que su tamaño sea menor al orificio de salida, el cual generalmente es de 4mm de diámetro.

Tanto en el ingreso como en la salida, se colocan imanes para retener partículas de metal que puedan haber ingresado en el proceso.



8.2.4. Secado

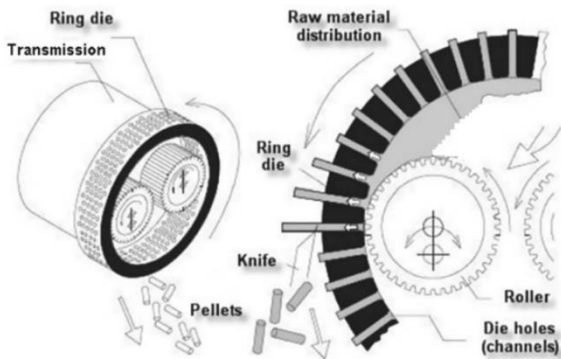
Dependiendo del nivel de inversión, automatismo y humedad de entrada del material, existen distintos tipos de tecnología para el secado. El secado natural puede ser una opción para extraer algo de humedad durante la estiba. Pero para obtener humedades cercanas al 13 % b.h. en forma homogénea, se debe recurrir al secado forzado con aire o gases calientes. En el diseño de la planta pequeña se optó por un sistema de secado flash, el cual es acorde para pequeñas producciones por su nivel de inversión. En el caso de la planta de 2 t, se opta por un secador de tambor rotativo.



8.2.5. Acondicionado

En función de materia prima y su variación de humedad al ingreso en el proceso, como de la precisión del secador o la temperatura de matriz alcanzada en producción, puede ser conveniente la adición de agua y algún ligante para aumentar la calidad y rendimiento del peletizado. Para ello se cuenta con equipamiento que permite la dosificación de estos elementos y luego una vigorosa mezcla para homogenizar el ingreso a la peletizadora.

8.2.6. Peletizado



Funcionamiento peletizadora matriz anular

La compactación se realiza en este proceso. Aquí el material es obligado a pasar a través de canales cilíndricos (orificios de 6mm) donde se calienta debido a la fricción a la vez que se compacta para formar un aglomerado denominado pellet. El pellet aún caliente es cortado por medio de una cuchilla para darle el largo deseado. Tanto la matriz que posee los orificios como los rodillos que empujan el material sufren desgastes y constituyen un costo importante en rectificado y reposición.

Para producciones menores a 1000kg/h se utilizan generalmente peletizadoras de matriz plana, y para producciones mayores, de matriz anular.

8.2.7. Enfriado

Este proceso aumenta la resistencia del pellet disminuyendo el fraccionamiento del mismo en el posterior cribado, además de reducir su temperatura para que la producción sea embolsada a una temperatura tal que no continúe evaporando la humedad que contiene el pellet (generalmente menor a 40°C)

8.2.8. Tamizado

Junto con el producto constituido viajan partículas de material que no ligaron formando los pellets, estas partículas de pequeño tamaño denominadas “finos” son separadas mediante un tamizado o cribado, generalmente realizado con malla perforada de 3mm.

8.2.9. Embolsado / Big Bag

El producto puede ser vendido a granel, en big bags o en bolsas de 13 a 15kg para uso doméstico de bajo consumo. En las plantas propuestas se contempló el embolsado en unidades de 15kg.



Análisis de residuos de lenga en la industria forestal y posibilidad de valorización como pellets de madera

8.3. ANEXO 3. Control de calidad

Dependiendo de las exigencias del mercado objetivo sobre la calidad del pellet producido, el fabricante deberá prever distintos niveles de control y gestión de la calidad para su producción. Especialmente si desea acreditar algún sello de calidad internacional como por ej. ENPlus (<https://enplus-pellets.eu/es/>). Este sello posee en su web, manuales instructivos sobre requisitos a cumplir del producto como del sistema de gestión de la calidad de la empresa.

En cualquier caso, es recomendable el control de calidad continuo del producto a lo largo de los distintos lotes fabricados teniendo en cuenta:

- Ensayos en laboratorios externos, relacionados con todas las propiedades enumeradas en el punto “10” (humedad, cenizas, composición química, propiedades físicas)
- Ensayos rutinarios en planta:
 - Contenido de humedad
 - Densidad aparente
 - Durabilidad mecánica
 - Longitud
 - Cantidad de finos.

Es conveniente la generación de un espacio o laboratorio de control de calidad interno, donde además de los reportes de verificación, se guarden muestras de los distintos lotes.

Por otra parte, estos controles permiten anticipar fallos en la producción al analizar las evoluciones diarias de cada uno de los parámetros estudiados.

8.4. ANEXO 4. Utilización de calores residuales

En los cálculos energéticos y esquemas mostrados anteriormente se consideró como combustible para el secado, gas natural. Utilizando secadores de banda es posible utilizar calores residuales de otros procesos. Un ejemplo de esto son los motores de generación eléctrica que eliminan un 60-70% de la energía entre los gases de escape y agua de refrigeración de camisas. Sería posible la utilización de este calor ubicando por ejemplo una planta de peletizado en la zona aledaña a una central de generación eléctrica. Lógicamente la factibilidad de utilizarlo dependerá del valor de mercado del gas natural y la inversión necesaria para aprovechar estos calores residuales.

8.5. ANEXO 5. Proveedores

Nombre	Contacto	mail
GL Biowood Developments	Lucas Palacios	info@glbiowood.com
Smart and Green energy	José A. Ramos	jramos@smartandgreenenergy.com
BIOTEK - EFETEK S.A.	José David García Lancheros	info@biotek.com.ar
Giuliani	Sebastian Vottero	svottero@giuliani-sa.com
HS-Machinery	David	info@hsbiopellet.com
La Meccanica	Gonzalo Girelli	girelli.g@lameccanica.it
Nova Pellet	Luis M. Streibl	lstreibl@irisnet.com.ar
GEMCO – ABC Machinery	Serena	serena@biofuelmachines.com
IPECO	Matías Wietz	m.wietz@ipeco.com.ar

8.6. ANEXO 6. Usos de la biomasa en formato astillas

A partir de los residuos sólidos se puede generar mediante el proceso de chipeo un biocombustible de procesamiento más sencillo que el pellet. Las astillas de madera pueden utilizarse en quemadores industriales y calderas domésticas diseñadas para tal fin.

Si bien cada equipamiento tiene sus requisitos sobre el combustible, los requerimientos sobre la biomasa son más flexibles que en el caso de los pellets. Estos también hacen referencia al origen del material, su humedad, contenido de cenizas, densidad aparente y granulometría.

Si bien su producción es más sencilla, al tener menor densidad energética requieren de mayores espacios de acopio y también de equipos de combustión más robustos y de mayor tamaño, que en general limitan su aplicación a consumos medianos-grandes.

8.7. ANEXO 7. Pellets

Los pellets de lenga fueron elaborados en la Planta Experimental de Peletizado (PEP) perteneciente a CIEFAP en el mes de mayo de 2021, y caracterizados en el laboratorio, del mismo organismo, en febrero de 2022, arrojando los siguientes resultados:

RESULTADOS				
Parametro	Método - Norma de ref.	Valor	Unidades	Repetibilidad
Humedad (ar)	UB-PE-02-ISO 18134-2	7.2	% (masa)	0.1
Cenizas (db)	UB-PE-03-ISO 18122	0.18	% (masa)	0.08
Densidad aparente (ar)	UB-PE-06-ISO 17828	691	kg/m ³	0
Densidad aparente (db)	UB-PE-06-ISO 17828	641	kg/m ³	-
Densidad sólida	UB-PE-07-ISO 18847	1.33	g/cm ³	0.00
Diámetro medio	UB-PE-13-ISO 17829	6.04	mm	0.04 (d.e.)
Longitud media	UB-PE-13-ISO 17829	12.1	mm	5.8 (d.e.)
% de pellets L<10mm	UB-PE-13-ISO 17829	23.7	% (masa)	-
% de pellets L>40mm	UB-PE-13-ISO 17829	0	% (masa)	-
cantidad de pellet L>45mm	UB-PE-13-ISO 17829	0	unidades	-
Durabilidad mecánica	UB-PE-14-ISO 17831-1	82.16	%	0.10

Tabla 24: Propiedades de los pellets de lenga elaborados

De todos los parámetros analizados, hay que resaltar que la durabilidad mecánica está por debajo de los valores establecidos por la norma ISO 17225-2 para todas las clases de pellets para uso residencial, comercial e industrial. Esto, podría estar asociado a una rápida degradación de los pellets, con una gran generación de polvo posterior. Sin embargo, dicho parámetro está muy vinculado al proceso de producción (y no tanto a la materia prima), siendo la temperatura, la humedad y la presión de los rodillos, variables claves en el mejoramiento de esta característica.



Pellets de lenga elaborados

Además, los pellets elaborados fueron probados en estufa a pellets de 5 kW de potencia nominal para medir las emisiones generadas (Testo 310: oxígeno, monóxido de carbono y rendimiento) y compararlas con los valores emitidos por pellets de pino comerciales en la misma estufa.

Valores de CO al 13% de oxígeno. Potencia 1 (0.64Kg/h) Lenga

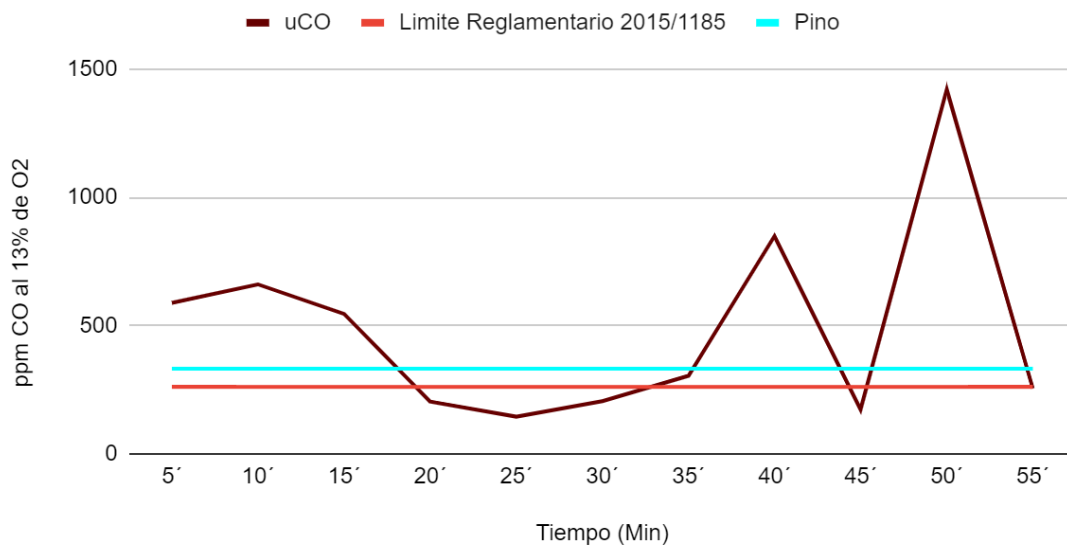


Gráfico 13: Evolución de las emisiones de pellets de lenga en estufa de 5 kW. Elaborado por Romina Orrego (pasante UNRN)

Como puede observarse en el gráfico anterior, las emisiones producidas por los pellets de lenga tienen picos que exceden el límite establecido por normativa europea, similar a lo que sucede con el promedio de emisiones por parte de los pellets de pino en mismas condiciones. A pesar de ello, y teniendo en cuenta los escasos sistemas de control de la combustión que tiene la estufa a pellet utilizada, se obtuvo un buen rendimiento de los pellets elaborados, capaz de ser mejorado en equipos con mayores prestaciones.



Llama de pellet de lenga (izquierda) y llama de pellet de pino (derecha). Tomadas por Romina Orrego (pasante UNRN)

9. Bibliografía de referencia

10 ISO 17225-2:2014 Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Clases de pellets de madera

Bioenergy technology review for small-scale forest operators. (2015). Evaluating the potential products and applications from small-scale bioenergy technologies in the West Kootenay área - Dave Lovekin

Ferreira S., J. T. Lima., S. Da Silva y P.F. Trugilho. (2004). Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de Eucalyptus spp. Cerne. 10(1):10-21. Brasil.

HERRAMIENTA PARA NEGOCIOS SUSTENTABLES EN BIOMASA FORESTAL REGIÓN DE AYSÉN INFOR. (2017). Informe técnico N° 214. Instituto Forestal. Chile.

<http://biomassmagazine.com/articles/17068/understanding-ash>

<https://enplus-pellets.eu/es/recursos/documentación-técnica.html>

Juan Escobar B. Ernesto Weil P. (2018). Identificación de la Cadena Productiva de Elaboración de Pellets de Madera. Chile. <http://achbiom.cl/wp-content/uploads/2018/11/Consultoria-Pellets-CORFO-Final.pdf>

LEY Nacional N° 26.331. Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de Bosques Nativos. (2007).

LEY Provincial N° 869. Ordenamiento Territorial del Bosque Nativo para Tierra del Fuego. (2012).

Magallanes. H. Gutiérrez, J. Álvarez Hijera, J. Becerra. J. Hervas. (2014). Gasificación a pequeña escala usando residuos forestales de Lengua para generación rural de electricidad en Magallanes.

Mohammad Ali Abdoli, Abooli Golzary, Ashkan Hosseini, Pourya Sadeghi - Wood Pellet as a Renewable Source of Energy-Springer International Publishi. (University of Tehran Science and Humanities Series)

[Pellet Fuels Institute \(pelletheat.org\)](http://pelletfuelsinstitute.org)

Precios venta pellet: <https://www.avebiom.org/sites/default/files/ipb/IPB-Indice-precios-pellet-AVEBIOM-1T-2021.pdf>

Valores típicos para materiales de corteza virgen - IRAM ISO 17225-1:2018 Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 1: Requisitos generales

Zoltán Kocsis, Etele Csanády - Theory and Practice of Wood Pellet Production-Springer International Publishing (2019)

-----Final del Informe-----