PELLETS *IN-NATURA* Y TORREFACTADOS DE 9 ESPECIES NATIVAS DEL TIPO FORESTAL SIEMPREVERDE

Tablas de resultados por especie

Agosto 2024

PELLETS *IN-NATURA* Y TORREFACTADOS DE 9 ESPECIES NATIVAS DEL TIPO FORESTAL SIEMPREVERDE

Tablas de resultados por especie

Agosto 2024

Registro ISBN 978-956-420-286-0

ISBN: 978-956-420-286-0

9 789564 202860

Autores
Fernando Muñoz S., Dr.
Regis Teixeira M., Dr.
Rosalía M. Carolina Parra F., Dra.
Thiago de Paula Protásio, Dr.
Alejandro Méndez M., Ing. Químico

Colaboradores
Felipe Fuentes G., Estudiante Ing. Forestal
Alejandra Huaiquil S., Estudiante Ing. Forestal

Institución patrocinante
Universidad de Concepción

Proyecto financiado por
Fondo de Investigación del Bosque Nativo
FIBN 06/2021

Agosto, 2024
Concepción, Chile

Diseño y diagramación
Sagitario Diseño e Impresos Limitada

Impresión
Sagitario Diseño e Impresos Limitada

Fotografías
Freepik.es

Edición de 300 ejemplares
2024

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a las instituciones y personas que colaboraron comprometidamente en el desarrollo del proyecto.

A la empresa Wood Pellets SpA por las facilidades otorgadas, para la elaboración de los pellets en base a biomasa nativa, en sus instalaciones ubicadas en la comuna de Hualqui (Región del Biobío).

A los propietarios de terrenos con presencia de bosque nativo, ubicados en las comunas de Panguipulli, San José de la Mariquina y Fresia, al permitir la extracción de los árboles muestras para la elaboración de los pellets nativos.

Al Laboratorio Adhesivos y Materiales Compuestos de la Universidad del Biobío, al Laboratorio Silvotecnológico de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales y al Laboratorio de Recursos Renovables del Centro de Biotecnología de la Universidad de Concepción, por el apoyo para el procesamiento de las muestras.

A la Asociación Chilena de Biomasa AG (AChBIOM) y la Asociación Chilena de Propietarios de Bosque Nativo AG (Aprobosque) por su apoyo en diferentes etapas del proyecto.

A la Corporación Nacional Forestal (CONAF), en especial a la Dirección Regional de Los Lagos, por las facilidades otorgadas en la búsqueda de información.

Al Fondo de Investigación del Bosque Nativo por el apoyo financiero para la realización de la investigación.

Contenido

		Página
	Prefacio	1
1.	Introducción	2
2.	Metodología	5
3.	Tablas de resultados por especie	7
	Canelo *(Drimys winteri)*	8
	Coigüe *(Nothofagus dombeyi)*	9
	Laurel *(Laurelia sempervirens)*	10
	Lingue *(Persea lingue)*	11
	Luma *(Amomyrtus luma)*	12
	Olivillo *(Aextoxicon punctatum)*	13
	Radal *(Lomatia hirsuta)*	14
	Tepa *(Laureliopsis philippiana)*	15
	Ulmo *(Eucryphia cordifolia)*	16
4.	Referencias	17

Prefacio

Actualmente en Chile, la mayor parte de los pellets son elaborados en base a biomasa de la especie *Pinus radiata*, teniendo baja participación especies del bosque nativo, a pesar de la importancia que tiene el bosque nativo en la generación de energía calórica en el sur del país. Entre las razones de ello, se tiene la escasa información de las características físicas, químicas y energéticas de los pellets *in-natura* a partir de especies nativas, menos aún de pellets nativos torrefactados. Para disminuir esta brecha de información, se ha investigado la producción de pellets *in-natura* y su posterior torrefacción, a partir de 9 especies del tipo forestal Siempreverde recolectadas en las regiones de Los Ríos y de Los Lagos. Estas especies son: canelo *(Drimys winteri)*, coigüe *(Nothofagus dombeyi)*, laurel *(Laurelia sempervirens)*, lingue *(Persea lingue)*, luma *(Amomyrtus luma)*, olivillo *(Aextoxicon punctatum)*, radal *(Lomatia hirsuta)*, tepa *(Laureliopsis philippiana)* y ulmo *(Eucryphia cordifolia)*.

Este documento técnico presenta información resumida de pellets, *in-natura* y torrefactado, de cada especie que son parte de los resultados del proyecto titulado "Evaluación de pellets torrefactado producidos desde biomasa de especies nativas de interés comercial del tipo forestal Siempreverde" (FIBN 006/2021), financiado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo.

Los autores esperan que esta información contribuya a que agentes públicos y privados impulsen iniciativas de aprovechamiento de los residuos de intervenciones silvícolas y residuos del procesamiento de madera de especies nativas, para su transformación en pellets.

Los autores

1. Introducción

La madera como fuente de energía renovable es una de las más utilizada por los chilenos, representando cerca de 18% de la matriz energética primaria del país. Sin embargo, el mal uso de la leña, principalmente por el alto contenido de humedad, sumado a artefactos deficientes para su combustión, está generando grandes problemas de contaminación ambiental en un importante número de ciudades del sur de Chile. En este contexto, el uso de los pellets viene ganando fuerza en el mercado, debido a las características que presenta este biocombustible sólido, que cuenta con un alto poder calorífico y bajo contenido de humedad (menos del 10%), lo que lo hace una alternativa favorable para la utilización en calderas y estufas para calefacción o producción de energía térmica domiciliaria e industrial, con bajo impacto ambiental. Desde al año 2018, el consumo de pellet residencial ha crecido a un ritmo promedio anual de un 20% (Ministerio de Energía, 2023). A pesar de lo anterior, existe escasa información sobre peletización en Chile que se evidencia en la baja productividad de estudios científicos, ya que la mayoría de estas investigaciones están concentradas en Europa, USA y Brasil.

La peletización es una de las alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de la biomasa. Ocurre por medio de la extrusión de la biomasa en una matriz perforada de acero, donde los orificios varían normalmente entre 6 – 12 mm de diámetro, y una presión interna de aprox. 300 MPa de los cilindros que ayuda a forzar el material por los orificios y temperatura aproximada de 100°C (Nielsen *et al.*, 2009). Los pellets así obtenidos poseen mejor potencial para generar calor (energía) con relación a los residuos *in-natura,* ya que presentan mayor masa por unidad de volumen y más homogénea (Protásio *et al.*, 2013).

En Chile, la producción de pellets se ha incrementado en los últimos años, pasando de 104.695 ton en el año 2018 a 205.044 ton en el año 2022 (AChBIOM, 2023), siendo *Pinus radiata* la especie más utilizada debido a sus propiedades que le permiten tener mayor capacidad de aglomeración y a su color claro que lo hace atractivo para el mercado. Los pellets son producidos en plantas que están integradas a centros de aserrío y elaboración de madera utilizando como materia prima viruta y aserrín seco (Pinilla *et al.*, 2021). De acuerdo con esto, la disponibilidad de viruta y aserrín seco es limitada debido a que solo el 52,5% de la producción de madera aserrada es secada artificialmente (Pardo *et al.*, 2023).

Por otra parte, la alta contaminación atmosférica, entre las regiones de O´Higgins y Aysén, por la quema deficiente de leña húmeda, ha llevado al Ministerio del Medio Ambiente a apoyar el recambio de calefactores a leña a calefactores a pellets, por sus bajas emisiones de MP 2,5. La compra acumulada de equipos desde la implementación del programa de recambio y hasta el año 2022, ha sido de 43.558 equipos (Ministerio de Energía, 2023). Por otra parte, la compra de calefactores por parte de privados, desde el año 2017 al 2022, alcanzó a 161.414 calefactores. Considerando las dos fuentes de compra de equipos, el Estado y privados, solo en el

año 2022 se compraron un total de 41.870 equipos (Ministerio de Energía, 2023).

La mayor producción de pellets resulta de biomasa generada a partir de *P. radiata*, y en menor proporción, de otras especies introducidas como Eucalipto y Pino Oregón. Una excepción es la producción de cantidades menores de pellets en base a madera y residuos del procesamiento de lenga, tanto en la región de Valparaíso como en la región de Magallanes (Escobar y Weil, 2018) y la producción de pellets en base a residuos del procesamiento de maderas nativas ubicado en Santiago. La producción de pellets en base a madera nativa es baja, aprox. 3.700 ton año^{-1} lo que representa nomás del 2% de la producción total nacional para el año 2022.

Las propiedades de los pellets pueden variar considerablemente, los factores como característica de la biomasa, humedad, temperatura y presión son determinantes para tener una buena calidad. Una de ellas es la durabilidad, que tiene importancia para el consumidor, ya que pellets con baja durabilidad son sensibles a tensiones mecánicas durante el transporte y la manipulación, lo que resulta en las formaciones de finos y dificulta el uso del producto. Este parámetro también se ve influenciado principalmente por el contenido de lignina, factor importante que participa en la ligación de las partículas (Pegoretti *et al.*, 2021). Otra propiedad determinante es la humedad de la biomasa, debido a que altos contenidos de humedad dificultan la compactación y los pellets formados pueden ser friables o quebradizos (García, 2010). La disminución de la humedad de los pellets supone una mejora en su calidad, debido a que se evita su hinchamiento y desintegración debido a su alta higroscopicidad, limita la actividad microbiana durante el almacenado (Liu *et al.*, 2014) y evita la reducción de su poder calorífico.

Otra variable de gran importancia es el contenido de cloro en los pellets, y en especial las "dioxinas" que son compuestos químicos orgánicos que se derivan de la combustión de biomasa orgánica que contiene cloro en su composición y que son consideradas por la Organización Mundial de salud (OMS), como sustancia altamente tóxica (WHO, 2014). Una de las maneras de disminuir el cloro en la madera, aprovechando su alta solubilidad, es el lavado que permite reducir el porcentaje de este componente y así cumplir con las normas internacionales (Candido *et al.*, 2024).

Producción de pellets torrefactados. Una medida para mejorar las características de los pellets es mediante el proceso térmico denominado torrefacción, que es básicamente una pirólisis parcial de la biomasa en un ambiente con ausencia de oxígeno. Este proceso se realiza a temperaturas entre los 200 – 300°C y en tiempos cortos de residencia, lo que promueve la degradación de los compuestos menos energéticos y más hidrófilos que posee la biomasa, pudiendo de esta forma obtener un aumento de la densidad energética (Nhuchhen *et al.*, 2014). Según Chen *et al.* (2021), la biomasa torrefactada presenta las siguientes características: (1) mayor hidrofobicidad, (2) menor contenido de humedad, (3) mayor poder calorífico, (4) mejor molienda, (5) mayor densidad aparente y energética, (6) menor degradación biológica, y (7) mayor homogeneidad en biomasa. De acuerdo con Zanuncio *et al.* (2014), el primer efecto de la torrefacción es el oscurecimiento que se vuelve progresivo al aumentar el tiempo o la temperatura, característica que quizás a la vista del consumidor es poco atractivo. Sin embargo, son mayores los beneficios que hacen que el empleo de este proceso térmico sea promisorio.

Como se mencionó, uno de los parámetros más importantes es la presencia de cloro en los pellets, ya que se considera un componente que es nocivo para el medio ambiente. De acuerdo con Lu *et al.* (2019), cuando la biomasa se somete a temperaturas entre 200 – 360°C se logra las condiciones ideales para la liberación del cloro en forma de gas, pudiendo retirarse hasta 90% del cloro presente en la biomasa. Según Pegoretti (2020), en un estudio realizado en Chile, se determinó que el porcentaje de cloro en pellets torrefactados de *E. nitens* disminuye en 50% respecto a pellets *in-natura*, pudiendo así ajustarse a las normas internacionales de calidad.

Otra ventaja de los pellets torrefactados es la disminución de la humedad higroscópica, esto se debe a la exclusión del agua libre, adhesión y la degradación térmica de los constituyentes químicos de la biomasa que tiene influencia directa en la reducción de la higroscopicidad de los pellets (Phanphanich y Mani, 2011). Esto posibilita el almacenamiento de pellets torrefactado al aire libre, en zonas geográficas de altas precipitaciones, evitando costos de almacenamiento bajo galpón. También hay grandes diferencias de eficiencia entre pellets *in-natura* y pellets torrefactado. En el estudio que ha servido como base para este documento técnico, se determinó que la torrefacción incrementó el poder calorífico de los pellets *in-natura*, según la especie, entre un 17% y 21%.

Uno de los tipos forestales con mayor presencia en las regiones de Los Ríos, Los Lagos y Aysén y que aporta la mayor cantidad de biomasa para uso como leña es el tipo forestal Siempreverde. Considerando las futuras restricciones ambientales para el uso de leña en las grandes ciudades, lo más probable es que el actual consumo de leña disminuya significativamente en beneficio de un creciente uso de pellets (Navarro *et al.*, 2010). Por esta razón el proyecto "Evaluación de pellets torrefactado producidos desde biomasa de especies nativas de interés comercial del tipo forestal Siempreverde" (FIBN 006/2021), financiado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo, aborda la evaluación de pellets *in-natura* y pellets torrefactados a base de madera nativa obtenida desde intervenciones silvícolas de bosques del tipo forestal Siempreverde ubicados en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos.

2. Metodología

Identificación de áreas para recolección de muestras. Se recopiló información de bosques del tipo forestal Siempreverde ubicados en las regiones de Los Ríos y de Los Lagos. En especial, información base del "Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile", realizado por CONAF, planes de manejo para el tipo forestal aprobados por CONAF, complementado con información de pequeños y medianos propietarios. Se seleccionaron los predios Releco-Puñir (sector Río Puñir, Panguipulli), Ringan (sector río Lingue, San José de Mariquina) e Hijuela 2 (sector Yerbas Buenas, Fresia).

Diseño del muestreo y recolección de muestras. En los bosques seleccionados se eligieron individuos de rango diamétrico de preferencia entre 10-30 cm de Dap de las especies de interés del tipo forestal Siempreverde. En la región de Los Ríos las especies consideradas son: ulmo (*Eucryphia cordifolia*), coigüe (*Nothofagus dombeyi*), lingue (*Persea lingue*), olivillo (*Aextoxicon punctatum*), luma (*Amomyrtus luma*), laurel (*Laurelia sempervirens*) y radal (*Lomatia hirsuta*). En la región de Los Lagos se recolectaron muestras de las especies: canelo (*Drimys winteri*) y tepa (*Laureliopsis philippiana*), completando las nueve especies bajo estudio que son representativas del tipo forestal. Los ejemplares talados en la región de Los Ríos fueron 21 (7 especies * 3 repeticiones) y en Los Lagos 6 ejemplares (2 especies * 3 repeticiones). En total se seleccionaron 27 ejemplares. A cada individuo se le midió su Dap, altura total y dominancia según clasificación de Kraft (Daniel *et al.*, 1982). Luego del volteo, se obtuvieron tres trozas: una troza basal (altura del Dap), intermedia (mitad del fuste) y otra superior. A cada ejemplar se le extrajo un disco a la altura de tocón (para determinación de edad) y otro disco a la altura del Dap (1,30 cm del suelo) para la determinación de su densidad básica.

Procesamiento de las muestras en laboratorio. Las muestras recolectadas, debidamente identificadas, fueron trasladas a dependencias de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. La primera actividad fue la determinación de la edad y densidad básica de los árboles. Para ello las rodelas para la determinación de edad (obtenidas en la base de cada árbol seleccionado) se secaron en horno a 70°C hasta peso constante durante al menos 72 h, para posteriormente proceder a su lijado, identificación y registro de los anillos de crecimiento. Para la determinación de la densidad básica se utilizaron las rodelas obtenidas a la altura

del Dap de cada árbol, a las cuales se les determinó su volumen (rodelas saturadas) por desplazamiento de líquidos y posterior secado en horno hasta peso constante para obtener su peso anhidro. El cuociente entra ambas mediciones determinó la densidad básica.

Obtención de pellets *in-natura*. Con las muestras recolectadas de cada árbol se compuso una muestra mixta mezclando la troza inferior, intermedia y superior de cada ejemplar. Cada muestra mixta fue chipeada y secada en horno a una temperatura de 65°C hasta alcanzar un contenido de humedad en torno al 8%. Posteriormente cada muestra (astillas) fue molida a un tamaño de partícula aproximado de 4 mm. Con este material se elaboraron los pellets *in-natura* en una máquina peletizadora de matriz horizontal de 6 mm de diámetro.

Obtención de pellets torrefactados. Para torrefactar los pellets *in-natura* se obtuvo una muestra mixta de pellets por especie (total 9 muestras), las cuales fueron torrefactados en un reactor bajo las siguientes condiciones de operación: Velocidad calentamiento 4°C/min, temperatura 270°C, flujo de nitrógeno 15 L/min, tiempo de torrefacción 30 min. El trabajo fue desarrollado por la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la UdeC.

Determinaciones realizadas a los pellets *in-natura* y torrefactados. Las muestras de pellets fueron sometidas a los siguientes análisis y determinaciones:

(a) Contenido de humedad (según norma UNE-EN 14774-1).

(b) Porcentaje de cenizas (según DIN EN 14775).

(c) Contenidos de extractivos (según la norma TAPPI 204 cm-97).

(d) Contenido de lignina (según norma TAPPI T 222 om-83).

(e) Composición elemental (CHNS – O) (determinada utilizando el método LRR-PEA-01, versión 5, basado en el "Manual del Instrumento Analizador Elemental Fision EA 1108").

(f) Porcentaje de cloro (según DIN EN 15289).

(g) Densidad a granel (según DIN EN 15103).

(h) Tamaño de los pellets (según norma ISO 17829:2015).

(i) Durabilidad mecánica - friabilidad (según norma ISO 17831-1) (sólo a los pellets *in-natura*).

(j) Poder calorífico (según DIN EN 14918).

El cálculo del Poder Calorífico Inferior (PCI) se realizó de acuerdo a la siguiente expresión: PCI (kJ/kg) = PCS (kJ/kg) - 206 *H (%p/p)/100 donde PCS: Poder Calorífico Superior, H: Hidrógeno.

Todos los ensayos analíticos fueron realizados en triplicado, excepto la determinación de durabilidad mecánica. El largo y diámetro de pellets es el resultado del promedio de al menos la medición de 20 pellets.

3. Tablas de resultados por especie

Especie: Canelo *(Drimys winteri)*

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m³)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	13,0	9,2	34	464,3	Suprimido	Fresia
Muestra 2	16,0	8,9	33	436,5	Suprimido	
Muestra 3	15,0	8,5	35	431,0	Suprimido	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,23	5,74
Largo	mm	19,89	12,88
Durabilidad mecánica	%p/p	92,70	s/i
Densidad a granel	kg/m³	658,97	580,39
Humedad	%p/p	5,76	0,43
Cenizas	%p/p	0,85	0,92
Extraíbles	%p/p	4,44	1,06
Lignina	%p/p	31,29	60,79
Carbono	%p/p	47,56	56,50
Hidrógeno	%p/p	6,07	5,99
Oxígeno	%p/p	44,40	35,50
Cloro	%p/p	0,018	0,015
Poder calorífico superior	MJ/kg	19,22	21,90
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,85	20,54

s/i: Sin información.

Figura 1. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

Especie: Coigüe (*Nothofagus dombeyi*)

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m³)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	25,0	17,8	36	491,9	Intermedio	San José de la Mariquina
Muestra 2	28,0	17,4	25	604,6	Intermedio	
Muestra 3	23,0	16,0	27	524,4	Intermedio	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,39	6,13
Largo	mm	20,23	12,92
Durabilidad mecánica	%p/p	93,70	s/i
Densidad a granel	kg/m³	637,00	595,27
Humedad	%p/p	6,12	0,80
Cenizas	%p/p	1,67	1,14
Extraíbles	%p/p	4,37	0,96
Lignina	%p/p	30,13	54,96
Carbono	%p/p	46,73	55,00
Hidrógeno	%p/p	6,63	5,90
Oxígeno	%p/p	44,60	37,20
Cloro	%p/p	0,014	0,011
Poder calorífico superior	MJ/kg	18,56	21,39
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,07	20,06

s/i: Sin información.

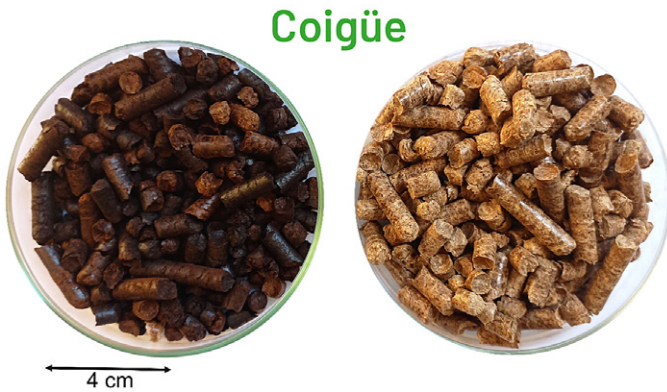

Figura 2. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

Especie: Laurel *(Laurelia sempervirens)*

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m³)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	26,0	15,6	65	431,7	Intermedio	San José de la Mariquina
Muestra 2	28,0	15,4	58	477,4	Intermedio	
Muestra 3	13,5	11,0	43	427,1	Suprimido	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,24	5,90
Largo	mm	22,56	11,24
Durabilidad mecánica	%p/p	94,70	s/i
Densidad a granel	kg/m³	674,15	586,15
Humedad	%p/p	5,56	4,91
Cenizas	%p/p	1,25	2,13
Extraíbles	%p/p	2,52	6,50
Lignina	%p/p	31,90	64,80
Carbono	%p/p	47,72	56,70
Hidrógeno	%p/p	6,62	6,40
Oxígeno	%p/p	43,60	34,90
Cloro	%p/p	0,015	0,025
Poder calorífico superior	MJ/kg	19,05	22,68
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,55	21,23

s/i: Sin información.

Figura 3. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

Especie: Lingue (*Persea lingue*)

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m³)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	16,0	9,0	23	488,4	Suprimido	San José de la Mariquina
Muestra 2	14,0	8,0	16	492,5	Suprimido	
Muestra 3	17,6	8,5	18	501,3	Suprimido	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,43	6,04
Largo	mm	23,41	9,69
Durabilidad mecánica	%p/p	92,11	s/i
Densidad a granel	kg/m³	669,30	604,36
Humedad	%p/p	4,79	1,44
Cenizas	%p/p	0,98	0,64
Extraíbles	%p/p	6,09	1,66
Lignina	%p/p	26,47	49,26
Carbono	%p/p	47,11	51,10
Hidrógeno	%p/p	6,53	5,60
Oxígeno	%p/p	44,40	41,30
Cloro	%p/p	0,018	0,011
Poder calorífico superior	MJ/kg	18,76	21,40
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,29	20,13

s/i: Sin información.

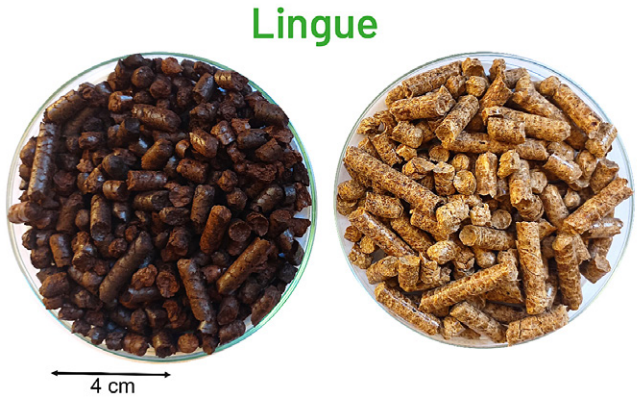

Figura 4. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

Especie: Luma (*Amomyrtus luma*)

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m³)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	10,0	7,1	24	742,9	Suprimido	San José de la Mariquina
Muestra 2	15,0	8,2	27	745,3	Suprimido	
Muestra 3	15,5	8,0	26	674,1	Suprimido	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,14	5,79
Largo	mm	30,37	14,76
Durabilidad mecánica	%p/p	97,69	s/i
Densidad a granel	kg/m³	732,94	712,48
Humedad	%p/p	3,17	0,72
Cenizas	%p/p	1,28	1,46
Extraíbles	%p/p	6,42	3,40
Lignina	%p/p	30,96	56,29
Carbono	%p/p	48,99	53,60
Hidrógeno	%p/p	6,53	6,00
Oxígeno	%p/p	42,50	38,40
Cloro	%p/p	0,020	0,036
Poder calorífico superior	MJ/kg	19,42	21,74
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,95	20,38

s/i: Sin información.

Figura 5. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

Especie: Olivillo *(Aextoxicon punctatum)*

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m^3)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	8,5	9,1	19	465,0	Suprimido	Panguipulli
Muestra 2	8,5	10,0	36	436,0	Suprimido	
Muestra 3	17,5	15,1	59	475,0	Intermedio	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,18	5,80
Largo	mm	19,96	9,74
Durabilidad mecánica	%p/p	91,58	s/i
Densidad a granel	kg/m^3	705,48	631,94
Humedad	%p/p	4,81	1,18
Cenizas	%p/p	1,84	2,59
Extraíbles	%p/p	2,64	1,76
Lignina	%p/p	33,20	61,31
Carbono	%p/p	47,06	54,30
Hidrógeno	%p/p	5,95	5,80
Oxígeno	%p/p	45,00	37,90
Cloro	%p/p	0,016	0,045
Poder calorífico superior	MJ/kg	18,69	22,97
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,35	21,66

s/i: Sin información.

Figura 6. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

Especie: Radal (*Lomatia hirsuta*)

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m³)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	16,6	9,0	61	465,2	Suprimido	San José de la Mariquina
Muestra 2	14,0	8,7	48	472,2	Suprimido	
Muestra 3	11,0	7,6	57	451,2	Suprimido	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,36	6,05
Largo	mm	25,07	10,25
Durabilidad mecánica	%p/p	92,19	s/i
Densidad a granel	kg/m³	671,18	601,88
Humedad	%p/p	6,54	1,51
Cenizas	%p/p	0,52	0,77
Extraíbles	%p/p	3,09	2,61
Lignina	%p/p	27,01	52,68
Carbono	%p/p	46,69	55,90
Hidrógeno	%p/p	6,75	6,50
Oxígeno	%p/p	44,60	35,60
Cloro	%p/p	0,014	0,012
Poder calorífico superior	MJ/kg	18,60	21,52
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,08	20,05

s/i: Sin información.

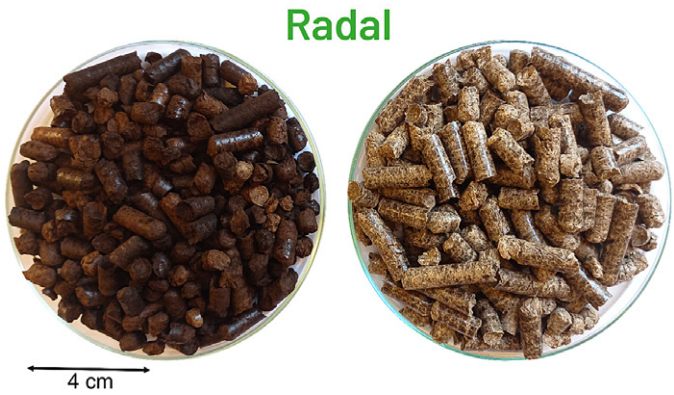

Figura 7. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

Especie: Tepa (*Laureliopsis philippiana*)

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m^3)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	25,5	12,8	50	440,5	Suprimido	Fresia
Muestra 2	23,0	13,8	65	451,1	Suprimido	
Muestra 3	29,5	14,0	46	474,2	Suprimido	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,19	5,65
Largo	mm	23,79	14,18
Durabilidad mecánica	%p/p	96,36	s/i
Densidad a granel	kg/m^3	677,12	580,64
Humedad	%p/p	5,11	2,39
Cenizas	%p/p	1,51	2,72
Extraíbles	%p/p	2,57	1,54
Lignina	%p/p	32,77	80,07
Carbono	%p/p	47,10	60,60
Hidrógeno	%p/p	6,42	5,50
Oxígeno	%p/p	44,50	31,90
Cloro	%p/p	0,015	0,016
Poder calorífico superior	MJ/kg	19,03	23,40
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,58	22,16

s/i: Sin información.

Figura 8. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

Especie: Ulmo *(Eucryphia cordifolia)*

Antecedentes de la muestra

	Dap (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad básica (kg/m³)	Dominancia	Lugar de la muestra
Muestra 1	15,5	10,0	36	586,5	Suprimido	San José de la Mariquina
Muestra 2	12,0	8,6	28	549,2	Suprimido	
Muestra 3	11,5	7,8	23	561,9	Suprimido	

Resultados de los análisis a los pellets

Variable	Unidad	Pellets *in-natura*	Pellets torrefactados
Diámetro	mm	6,14	5,93
Largo	mm	23,50	12,73
Durabilidad mecánica	%p/p	95,52	s/i
Densidad a granel	kg/m³	698,24	632,33
Humedad	%p/p	5,92	1,39
Cenizas	%p/p	0,80	0,94
Extraíbles	%p/p	3,56	2,74
Lignina	%p/p	30,53	54,63
Carbono	%p/p	46,97	54,30
Hidrógeno	%p/p	6,21	6,20
Oxígeno	%p/p	44,80	37,50
Cloro	%p/p	0,019	0,010
Poder calorífico superior	MJ/kg	18,98	22,79
Poder calorífico inferior	MJ/kg	17,58	21,39

s/i: Sin información.

Figura 9. *Pellets in-natura (derecha) y torrefactado (izquierda).*

4. Referencias

AChBIOM, 2023. Observatorio pellets AchBiom. Asociación Chilena de Biomasa. Junio 2023.

Candido WL, Carneiro AdCO, Vital BR, Demuner IF, Almeida EWd, Silva CMSd, 2024. Chloride leaching of *eucalyptus* wood particles by water for pellets production. Fuel (367):131548.1 https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131548

Chen W-H., Lin B-J., Lin Y-Y, Chu Y-S., Ubando A., Loke P., Chyuan H., Chang J-S., Ho S-H., Culaba, A., Pétrissans A., Pétrissans M. 2021. Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges. Progress in Energy and combustión science 82(2021):100887

Daniel T.W., Helms U.S. y Baker F.S. 1982. Principios de Silvicultura. New York. McGraw-hill. 492 pp.

Escobar J. y Weil E. 2018. Identificación de la Cadena Productiva de Elaboración de Pellets de Madera. Informe de Consultoría. Corporación de Fomento de la Producción (Corfo), Santiago, Chile.

García, D. 2010. Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil. Tesis de Maestría. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brasil.

Liu, Z., Quek A., y Balasubramanian R. 2014. Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars. Applied Energy, 113, 1315–1322. https://Doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.087.

Lu P., Huang Q., Bourtsalas A. C., Thanos., Themelis, N. J., Chi, Y. y Yan, J. 2019. Review on fate of chlorine during thermal processing of solid wastes. Journal of Environmental Sciences, 78, 13–28. https://Doi.org/10.1016/j.jes.2018.09.003.

Ministerio de Energía. 2023. Propuesta desde la mesa del pellet para el desarrollo del sector. Documento orientador. Ministerio de Energía de Chile. Santiago. 32 p

Navarro C., Guerra E., Celis F. y Pinares J. 2010. Mercado y potencial económico: Actualidad y desafíos del bosque nativo. Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo, Revista Bosque Nativo 47: 18 – 22.

Nhuchhen D., Basu P. y Acharya, B. 2014. A Comprehensive review on biomass torrefaction. International Journal of Renewable Energy & Biofuels, 2014, 1–56. https://Doi.org/10.5171/2014.506376.

Nielsen, K., Gardner, J., Poulsen, T., Felby, C. 2009. Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. Wood and Fiber Science, 41(4): 414 425.

Pardo E., Troncoso H. y Poblete P. 2023. La industria del aserrío 2023, Boletín Estadístico N°195. Instituto Forestal, Diciembre 2023

Pegoretti H. 2020. Evaluación de propiedades de diferentes especies con potenciales energéticos para la elaboración de pellets de calidad. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción, Chile.

Pegoretti H., Muñoz F., Teixeira R., Sáez K., Olave R., Segura C., De Souza P.L., Protásio T., Rodríguez-Soalleiro R. 2021. Influence of lignin distribution, physicochemical characteristics and microstructure on the quality of biofuel pellets

made from four different types of biomass. Renewable Energy (163): 1802-1816.

Phanphanich M. y Mani S. 2011. Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. Bioresource Technology, 102(2): 1246–1253. https://Doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.028.

Pinilla Suárez, J., Luengo Vergara, K., Navarrete T., M., *et al.* 2021. La industria del pellet en la región del Biobío. INFOR. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32063

Protásio, P., Bufalino, L., Tonoli, D., Guimarães Junior, M., Trugilho, F., Mendes, M. 2013. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. Bioresources, 8(1):1166-1185.

WHO - World Health Organization. Dioxins and their effects on human health. June 2014. Recuperado de http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/.

Zanuncio AJV., Farias EdeS., da Silveira TA. 2014. Termorretificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. Floresta e Ambiente 21(1):85–90.

Más información

Fernando Muñoz S.
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad de Concepción
Correo: fmunoz@udec.cl
Concepción, Chile

PELLETS *IN-NATURA* Y TORREFACTADOS DE
9 ESPECIES NATIVAS DEL TIPO FORESTAL SIEMPREVERDE