



Programa
Iberoamericano de
Ciencia y Tecnología
para el Desarrollo



Red Iberoamericana
de Tecnologías de
Biomasa y
Bioenergía Rural

Estudio de caso II, 2021: 37-56
ISBN: 978-84-15413-40-0

CASO II. Potencial técnico bioenergético de residuos forestales en el Campo Experimental Agroforestal Trevelin, Argentina

Martin O. Honorato^{1*}, Silvina M. Manrique²

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agroforestal Esquel, Ruta Prov.34 km 9, Trevelin Chubut, 9203, Argentina.

² Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Avenida Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina.

Resumen. En la Patagonia Argentina, donde la demanda energética para calefacción es muy elevada, las distancias, las condiciones climáticas y la topografía dificultan el tendido de los servicios energéticos básicos. La leña, proveniente principalmente del bosque nativo y con dificultades de fiscalización, es la principal fuente de calefacción en hogares, sobre todo por su accesibilidad y costo bajo o nulo. Otros residuos derivados de la foresto industria no son utilizados. En este capítulo se resume un estudio de caso que genera información para promover el uso de biomasa en una escala real, brindando además valiosas herramientas metodológicas que pueden ser útiles y re-adaptables en casos semejantes. Nuestro objetivo es la promoción del manejo adecuado de la biomasa residual generada a campo desde plantaciones y en aserradero, para su utilización con fines térmicos, a fin de sustituir la biomasa tradicional desde bosques nativos y las fuentes fósiles utilizadas actualmente, así como también revitalizar el manejo de las plantaciones. En base a las estimaciones realizadas, el potencial energético con que se cuenta anualmente a partir de la biomasa disponible casi sextuplica la demanda térmica anual estimada para el sitio de estudio. El uso del recurso para calefacción requiere de una mejora en la tecnología para su utilización con este fin.

*Correspondencia: Martin O. Honorato. E-mail: honorato.martin@inta.gov.ar

1.Introducción

1.1. Contexto nacional

Argentina cuenta con un gran potencial para la generación de energía a partir de fuentes renovables. En las últimas décadas, se ha ido desarrollando un marco político de respaldo para su promoción. En 1998 se declara de interés nacional la energía solar y eólica (Ley Nac. 25.019), agregándose las fuentes geotérmica, mareomotriz, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás en 2007 (Ley 26190) y realizando modificaciones en 2015 (Ley Nac. 27191) con el objetivo de fomentar el uso, y con ello lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el 20% del consumo de energía eléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2025. Sin embargo, la participación de las renovables es baja aún, llegando en caso excepcional al 10% en 2020 -porcentaje que se incrementó bruscamente como consecuencia de la reducción de uso de fósiles durante el confinamiento por la pandemia COVID19- (CAMESA, 2021), destacándose un aumento en los últimos años en las tecnologías menos costosas (solar y eólica). La biomasa participa con un 3% de la energía generada, mientras que la eólica y solar lo hacen en un 84%, a pesar de que existen una oferta nacional de otros recursos de biomasa como residuos de cultivos, de procesos industriales y otros (FAO, 2020a).

Este marco nacional puede resultar favorable en particular para una región como la patagónica andina, donde desde hace décadas se ha instrumentado un sistema de promoción a las forestaciones para disminuir la presión sobre los bosques nativos. Más recientemente, se promueven prácticas silvopastoriles en estos últimos, manifestándose la oportunidad para el manejo adecuado del capital forestal existente mediante el aprovechamiento dendroenergético de los residuos. Sin embargo, la presencia de residuos lignocelulósicos provenientes de la industria maderera y del manejo de los bosques todavía no es una alternativa utilizable en la zona debido a escalas, accesibilidad, financiamiento y baja tecnificación (Gaioli et al., 2009; CIEFAP, 2018; CFI, 2019). Esto lleva al incompleto manejo de los bosques, generando material que se acumula luego de los raleos y las podas, aumentando el riesgo de incendios en la época estival debido a la alta acumulación de biomasa y sequía (Defosse, 2015), así como también la presencia de insectos vectores de enfermedades y hongos de la madera (Gómez et al., 2015; Errasti, 2016).

En esta región, donde la densidad poblacional es baja, alcanzando valores de 6 hab/km²; las distancias significativas entre centros poblados, el clima frío y húmedo sobre todo en invierno; y la topografía montañosa, dificultan el tendido de los servicios básicos, donde la demanda energética para calefacción es muy elevada en todos los estratos sociales. En este sentido, el gas natural, el GLP, la leña y la electricidad son las fuentes más accesibles que permiten cubrir el requerimiento térmico. El hecho de que la red de gas natural alcance solo a parte de la población (cerca al 81 % según el CNPhyV, 2010), determina que el uso de la leña sea la principal fuente energética para generación térmica en hogares, sobre todo por su accesibilidad y hábito de utilización. Hoy la forma más generalizada de uso de la biomasa en hogares es la combustión directa de leña para la generación de calor a través de salamandras, estufas económicas u otras con mayor o menor eficiencia

de conversión. También existe demanda de leña desde el sector turístico (cabañas u hoteles), y – aunque en menor cantidad- también desde el sector comercial e industrial. En este sentido, las provincias patagónicas instrumentan el “Plan Calor”, que consiste en la transferencia de fondos a municipios y comisiones de fomento para destinar a la compra de leña, elementos e insumos para calefacción, donde el objetivo es mejorar las condiciones de habitabilidad de personas y familias (CIEFAP 2018; FAO, 2020b).

1.2. Antecedentes

La actividad forestal en la Patagonia andina data de muchos años, debido principalmente, al aprovechamiento de sus bosques nativos (Rothkugel, 1916; Jovanovski et al., 2003). Sin embargo la experiencia con las masas forestales implantadas en el ecotono es nueva y recién durante las últimas décadas se han realizado forestaciones de pinos, siendo pocas las que han llegado a su turno de corta.

Los ciclos de manejo forestal normalmente contemplan actividades de cuidado y mejoramiento de los bosques antes de su aprovechamiento. En el caso, tanto para el Pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) como el Pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), el manejo se orienta a la producción de madera de calidad, lo cual incluye podas -como actividades frecuentes- ya que con ellas se obtiene madera libre de nudos, quedando las ramas como residuo de cada intervención. También son importantes los raleos, para obtener al momento de cosecha, trozas de buen porte para que puedan ser utilizados por la industria. Estos raleos originan residuos en formato de trozas que no son aptas para los aserraderos (principalmente por su escaso diámetro o por defectos de curvaturas y bifurcaciones), y también ramas provenientes de los individuos que no han sido podados y son extraídos en los raleos. En el caso de la corta final, los residuos originados son similares a los de los raleos. Por otro lado, los residuos de aserraderos son un importante componente de biomasa en regiones forestales; sin embargo, los factores que permiten la proyección de recursos futuros no están bien establecidos. Existen diferencias relativas a clases diamétricas de rollizos, tipos de especies y tecnología de aserrado utilizada.

Las referencias internacionales reconocen dos sistemas de trabajo principales en las operaciones de explotación forestal (Francescato et al., 2012), principalmente vinculados a los ecosistemas de la región escandinava:

- Sistema de troncos cortos -SWS (Short Wood System): el procesado se completa en el lugar de tala en el bosque y se transportan troncos comerciales.
- Sistema de árboles completos-FTS (Full Tree Systems): tras apeare el árbol, éste se transporta y el procesado se hace en el camino forestal o en el lugar de descarga.

En los bosques boreales de Canadá, debido al incremento económico potencial de residuos forestales a través de un método más adecuado de cosecha a menor costo, se está cambiando en la última década, el método tradicional de troncos cortos por el de árboles completos (Chen et al., 2017). Algunos de los métodos y

equipos pequeños y más sencillos para las operaciones relativas a las primeras claras y para el aprovechamiento de árboles de pequeña dimensión incluyen:

- Corta y astillado combinados, en el bosque mediante máquinas de tipo cosechadora y transporte de las astillas a la industria.
- Corta con motosierras o con cortadoras-apiladoras (feller-bunchers), astillando junto el tocón o en la vía de saca, y transporte de las astillas a la industria.
- Corta, transporte mediante tractores forestales de arrastre o tractores forestales autocargadores (forwarders) hasta la explanada, astillado con astilladoras pequeñas propulsadas por tractor o mayores, astilladoras móviles, y transporte de las astillas hasta la industria.

El astillado de los productos secundarios de aserraderos, tales como los costeros, se hace normalmente mediante astilladora de discos, frecuentemente con alimentación horizontal y rodillos propulsores.

En la región patagónica existen escasos registros referentes a la generación de biomasa residual en función a las prácticas silvícolas. Generalmente los datos hacen referencia a la generación de biomasa aprovechable para aserraderos. Sin embargo existen estudios donde el volumen de desechos se estimó como la diferencia entre el volumen total de corta y el volumen utilizable de los fustes a través de la simulación de raleos. Siendo entre 21 y 33,7 t/ha para pino oregón, de 5,7 a 98,2 t/ha para pino ponderosa y 25,4 a 30 t/ha para pino radiata (*Pinus radiata*), dependiendo de la edad e intensidad de intervención (Loguercio et. al, 2008; Loguercio et. al, 2011; Salvaré et. al, 2017; Gauto, 2017; Lederer et al, 2019).

En cuanto a los residuos de aserradero, la producción de residuos puede ser estimada por dos métodos, el primero utiliza la producción de madera aserrada y el factor de volumen de residuo de aserrado, mientras que la segunda usa el consumo total de rollizos y el factor de peso de residuos de aserrado. Residuos gruesos, finos y corteza representan aproximadamente 45%, 32% y 23% del total de residuos generados en aserraderos. El factor de volumen de residuo varía desde 41% hasta 50%, mientras que el factor de peso de residuos varía entre 0.50 y 0.55 t residuo/t rollizos (Yang y Jenkins, 2008).

Estos datos son orientativos para la región, y aún se requiere continuar generando información para conocer los volúmenes de material generado y realizar un aprovechamiento adecuado de la biomasa residual existente.

1.3. Objetivos del capítulo

El CEAT es una unidad del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) escenario de actividades de producción, investigación y extensión, dependiente de la Estación Experimental Agroforestal INTA ESQUEL (provincia de Chubut, Argentina). La misma, no escapa a la realidad previamente descripta, ya que sus masas boscosas implantadas y su aserradero generan anualmente altos volúmenes de residuos leñosos, que no son actualmente utilizados. Las necesidades de calefacción son cubiertas en su mayoría con leña proveniente de las masas boscosas nativas

(con el solo criterio técnico de aprovechar árboles muertos) así como también GLP, y en baja proporción material residual de la foresto-industria. Otra parte del residuo queda en la plantación, lo que implica un riesgo de incendios en la época estival además de ser foco de posibles enfermedades.

En este capítulo se resume un estudio de caso que genera información para promover el uso de biomasa en una escala real, brindando además valiosas herramientas metodológicas que pueden ser útiles y re-adaptables en casos semejantes. Nuestro objetivo fue la promoción del manejo adecuado de la biomasa residual de plantaciones generada a campo y en aserradero dentro del CET, para su utilización con fines térmicos, a fin de sustituir la biomasa tradicional desde bosques nativos y las fuentes fósiles utilizadas actualmente.

2. Estudio de caso

2.1. Características generales

La cobertura predominante de vegetación lo componen distintas estructuras de bosque de Ñire (*Nothofagus antártica* (G.Forst.) Oerst.), seguido de bosques altos de Coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.), Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Ser. et Bizzarri) y Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser) en el bosque nativo en la categorías I y II del Ordenamiento Territorial (Figura 1). Mientras que en la categoría III predominan especies del género pinus, siendo la de mayor importancia la especie *Pinus ponderosa* ("Ponderosa"), seguida por *Pinus radiata* ("Radiata") y en menor medida *Pseudotsuga menziesii* ("Oregón"), *Pinus murrayana* ("Murrayana"), *Pinus sylvestris* ("Sylvestris"), *Picea* sp ("Picea"), y *Nothofagus alpina* ("Raulí").

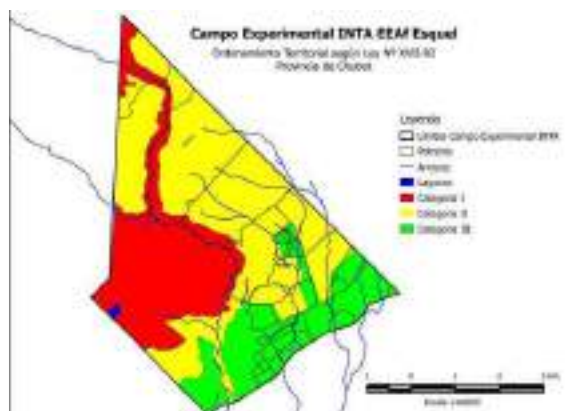


Figura 1. Distribución espacial de Categorías de Ordenamiento (Fuente: elaboración propia).

El predio del Campo Experimental de Trevelin (CET) del INTA cuenta con 325 ha de forestaciones, con edades que van desde un año hasta pasado los 50. Existen tres especies con mayor superficie implantada: Ponderosa (36%), seguido por Radiata (34%), Oregón (21%) y demás especies de menor importancia. Esta superficie genera anualmente un volumen de madera que es transformado en el aserradero. Las plantaciones están siendo manejadas desde el año 1991. Si bien existe un plan de manejo de las plantaciones, el mismo no pudo ejecutarse correctamente en la práctica por cuestiones económicas. En ningún caso, igualmente, los residuos generados tienen algún destino concreto ni han sido incluidos en algún esquema de manejo.

Se utiliza la leña principalmente para satisfacer las necesidades de calefacción en los distintos ambientes o edificios del CET. La energía es obtenida mediante la combustión con distintas tecnologías dependiendo del formato en que se encuentre la biomasa. Generalmente estos artefactos son de baja eficiencia. Se distinguen dos tipos de ambientes a calefaccionar. Ambientes con habitaciones (edificio comedor, edificio de oficinas, edificio vivienda), y ambientes sin habitaciones (galpones y talleres). En función de estos dos tipos de ambientes se puede determinar la tecnología recomendable para utilizar, siendo posible para los primeros el sistema de caldera, mientras que para los segundos estufas de alta eficiencia.

2.2. Métodos de abordaje

El estudio partió del reconocimiento de la necesidad de ordenar, en primer lugar, las masas forestales implantadas dentro del predio bajo estudio. Para la realización de una propuesta de manejo de los próximos 20 años de las plantaciones se tuvieron en cuenta tanto las existencias actuales como los esquemas de manejo propuestos para cada especie en la región (Davel et al., 2015). Estos esquemas se desarrollaron en función a la calidad de sitio, entendida como la capacidad que posee una superficie de terreno para sostener el crecimiento de los árboles. En la estimación de dicha calidad de sitio, se pueden emplear diferentes índices o métodos indirectos: i) en base a variables ambientales cuando no están presentes los árboles; ii) en base al índice de acículas cuando los árboles son jóvenes, y iii) en base al Índice de Sitio (IS) cuando los árboles tienen más de 25 años de edad. En este trabajo se empleó el IS ya que se contaba con registros de parcelas permanentes de masas maduras (50 años de edad) donde se determinaron las alturas dominantes y la edad total de la plantación y con ello el IS correspondiente para cada especie. Con toda esta información se obtuvo la superficie que debía ser afectada por cada tratamiento silvicultural (poda, raleo y corta final) para cada año a futuro. Mientras que para la estimación de las existencias, se realizó un muestreo forestal, con el mínimo número de parcelas necesarias por rodal, para lograr una estimación de la Biomasa Aérea Leñosa (BAL) con un error de 20% y una probabilidad de 90%. La estimación de la BAL se realizó mediante el método de ecuaciones alométricas (estimación indirecta), seleccionando ecuaciones específicas para cada una de las especies existentes en el predio de estudio. La BAL incluyó la biomasa de cada árbol en peso seco (tonelada) y su valor extrapolado a la unidad de superficie (hectárea), considerando solo la fracción sobre el suelo (no incluye las raíces).

Para cada tratamiento silvicultural propuesto, se realizó una estimación de la cantidad de residuos por unidad de superficie que podrían derivarse de la aplicación de dicho tratamiento. Para el caso particular de 3° poda en ponderosa, se realizó la medición a campo de los residuos generados por esta intervención, midiéndose la biomasa de las ramas extraídas en cada árbol podado, y luego, con la densidad de 350 arb/ha recomendado en los esquemas de manejo, la extrapolación a superficie. Para las demás prácticas silvícolas, se estimaron en gabinete. El trabajo en gabinete consistió en complementar distintas fuentes de información:

a) sistematización de datos existentes en literatura local o internacional sobre la generación de residuos;

b) consulta a expertos. Se realizaron dos entrevistas personales al Dr. Ing. Forestal Gabriel Loguercio del Centro Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) autor de varios trabajos relacionados con la generación de residuos a campo de la actividad forestal;

c) estadísticas y registros internos de los aprovechamientos de estas masas. Esto fue posible para los rodales mayores de 30 años de edad, con datos disponibles en CET-INTA.

d) empleo del software calculEMUs (Letourneau, 2017) su versión básica puede ser descargada desde <http://sipan.inta.gob.ar/#Herramientas>. Este brinda, una vez definido los parámetros mínimos de diámetro y largo de los productos, la cantidad de unidades y el volumen que cada árbol cortado puede ofrecer, y con ello, por diferencia al volumen total, obtener el volumen residual.

Para el residuo proveniente de la cosecha del bosque, se determinó la fracción de volumen de residuo obtenido por cada unidad de volumen de rollos. Entonces, con el volumen anual de corta de rollos se obtuvo el volumen de residuo de este origen. Por otro lado, para la estimación de residuos de aserradero se analizaron los registros internos de procesamiento de los últimos 9 años y los rendimientos volumétricos del aserradero, estableciéndose la fracción residual obtenida.

La caracterización de la biomasa se realizó tomado 12 muestras en función de las 3 especies bajo estudio (ponderosa, radiata y oregón), y del tipo y formato de fracciones residuales considerando: ramas, despuntes del trozado, costaneros y aserrín. Estas muestras fueron llevadas a una fracción fina mediante corte con sierra circular para ser enviadas al laboratorio (LEMI 2019). Se realizaron las siguientes determinaciones:

☒ Humedad (%). Se utilizó una estufa marca ORL con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante, siguiendo la norma ASTM D 5142-02 modificada.

☒ Poder calorífico superior (PCS [kJ/kg]). Se utilizó una bomba calorimétrica automatizada marca IKA, modelo C5000, parametrizada en operación adiabática según normas DIN 51900, ISO 19228, ASTM D240, ASTM D2015-96, ASTM D4809, ASTM D5865, ASTM D5868 y ASTM E711.

☒ Análisis inmediato: Humedad (W %), Cenizas (CZ %), Volátiles (SV %), Carbón fijo (CF %). Se utilizó un equipo termogravimétrico marca LECO, modelo TGA 701, parametrizado con una curva de calibración ajustada para el tipo de biomasa. Según norma ASTM D 5142-02 modificada.

Se reportan valores medios obtenidos entre todos los formatos de biomasa estudiados. Para obtener el PCI se utilizó la expresión según la norma UNE 164001:

$$\text{PCIbh.} = [\text{PCSb.s.1.000 (1-Wb.h.)-11,27(Wb.h.100)-1.322}] / 1.000 \quad (\text{Ec. 1})$$

Se utilizaron los resultados de biomasa total disponible (Mb.s.) y el promedio del Poder Calorífico Inferior (E), considerando una humedad de recogida promedio del 30%.

Para el cálculo de la demanda energética se definieron los edificios existentes en el predio del CEAT que demandaran energía y el tipo de combustible utilizado. Se estimó la demanda anual térmica de cada edificio a través del consumo anual de leña y GLP según el caso:

- Para obtener el consumo de leña, se realizaron entrevistas semiestructuradas al personal encargado del suministro a los distintos sectores así como también a los usuarios de los edificios.
- En cuanto al GLP se analizaron los registros de compra de los últimos 5 años.

Las cantidades anuales consumidas de leña en m³ fueron calculadas en base al número de veces al día que es necesario acarrear la misma desde su lugar de acopio hasta el artefacto de combustión. Los medios de transporte utilizados (camioneta, carretillas y cajones de verdura) fueron cubicados, y junto con la aplicación de un factor de apilamiento, según el tipo de leña empleada, siendo de 0,8 para la leña partida con hacha (FAO 1980) y 0,7 para despunte de aserradero se obtuvo el consumo diario sólido en m³ en cada caso. Este valor fue multiplicado por la cantidad de días hábiles al año en el caso de las oficinas y galpones, y la cantidad de días totales al año en el caso de las viviendas.

También se registró el tipo de leña, refiriéndose a su formato así como también a la especie. El formato nos indica el grado de acondicionamiento necesario para su uso según el artefacto, y con ello una estimación del costo. Las especies fueron agrupadas en exóticas, haciendo referencia al género pinus principalmente, y nativas para Ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) Endl) y Ñire (*Nothofagus antartica* (G. Forster) Oersted). Estas últimas provienen de ejemplares muertos y caídos en el bosque y son utilizadas principalmente en las viviendas.

Para estimar la demanda energética calórica anual en GJ, se multiplicaron las cantidades en volumen [m³] relevadas en los distintos sectores transformándolas en unidades de masa [kg]. Se utilizaron datos de densidad básica (Tabla 1), ya que la misma refleja la cantidad de madera seca correspondiente al considerar la razón entre el volumen verde y la masa anhidra de la madera. Para el caso de *Austrocedrus chilensis* se calculó la densidad básica en forma indirecta a través de la aplicación de una función de correlación ajustada por Núñez (2007) a los datos de densidad de madera seca reportados por INTI CITEMA (2003):

$$\text{Db} = 0,7022 \times \text{Ds} + 0,0678 \quad R^2 = 0,933 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde: Db= densidad básica (g/cm³) y Ds= densidad seca (g/cm³)

Tabla 1. Densidad básica (kg/m³) según especie.

Especie	Densidad básica	Autor
<i>Pinus ponderosa</i>	375	Jovanoski et al 2002
<i>Pseudotsuga Menziesii</i>	366	Jovanosky et al. 2005
<i>Pinus radiata</i>	395	Ariete Merino 2010
<i>Austrocedrus chilensis</i>	440	INTI CITEMA 2003
<i>Nothofagus antartica</i>	644	Solórzano 2017

Por último, para el cálculo de las emisiones de Gases Efecto Invernadero producto de la combustión del GLP utilizado para calefacción, se utilizó la metodología IPCC la cual divide el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono procedente de la combustión en 6 pasos:

- 1: Estimación del consumo aparente de combustible en unidades originales.
- 2: Conversión a una unidad común de energía.
- 3: Multiplicación por los factores de emisión para calcular el contenido de carbono.
- 4: Cálculo del carbono almacenado.
- 5: Corrección para dar cuenta del carbono no oxidado.
- 6: Conversión del carbono oxidado a emisiones de CO₂.

3. Resultados

En una vista general de la superficie ocupada por clases de edad de plantación, sin discriminar especies (Figura 2), se observa una mayor superficie ocupada por individuos de entre 25-30 años de edad (las que requieren raleos), seguida por aquellas de más de 50 años de edad (maderables) y en tercer lugar, de 15-25 años (las que requieren podas y raleos).

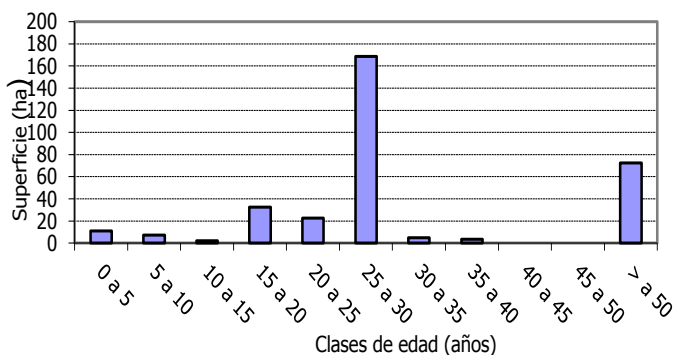


Figura 2. Superficie ocupada por clases de edad en el predio CET (Fuente: elaboración propia).

El plan de manejo propuesto contempla el esquema de aprovechamiento de las masas adultas por un lado, y los esquemas regionales de manejo para las masas jóvenes. El primero, aprovecha las masas mayores a 50 años, y el raleo comercial de masas menores a 30 años, hasta que estas últimas lleguen a la corta final con 40 años de edad. Se busca así mantener un abastecimiento de madera continuo hacia el aserradero. Mientras que para las segundas se orientan hacia la producción de madera de alta calidad, entendida como aquella libre de nudos con destino de aserrío o debobinado. Considerando una proyección de 20 años se determinaron las superficies afectadas a cada tratamiento así como también la tasa anual. (Tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos a realizar a las plantaciones según su edad proyectada.

Clase de edad Actual	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	>30		
Clase de edad final	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	>50		
Tratamiento								Superficie total ha	Tasa ha/año
1° Poda y Raleo a desecho (8-11 años)	X	X	X					21	1
2° Poda (10-13 años)	X	X	X					21	1
3° Poda (12-15 años)	X	X	X					21	1
1° Raleo Comercial (19-24 años)	X	X	X	X	X			75	3,8
2° Raleo Comercial (24-30 años)		X	X	X	X			64	3,2
3° Raleo Comercial Tardío						X		80	4
Corta Final (36-38 años)				X	X	X	X	121	6
Superficie por clase (ha)	11	7	2	32	23	169	81		

La biomasa aérea leñosa (cantidad de material en peso seco por unidad de superficie que se encuentra por encima del nivel del suelo), considerando la masa arbórea en pie, se muestra en la Tabla 3. Así como también la superficie anual sometida a cada intervención, y con esto la biomasa residual total disponible anualmente proveniente de las podas y raleos.

Luego de analizar los registros internos del sector de aprovechamiento forestal del establecimiento, sobre rodales maduros desde los años 1998 al 2018 se obtiene un valor promedio de **0,27 m³ de leña por metro cúbico de rollizo aprovechado**. Esta fracción corresponde a la porción de los fustes defectuosos así como también a ramas gruesas de la copa. Se puede considerar que es la disponible económicamen-

te luego del aprovechamiento. Tomando entonces, la tasa promedio de corta (rollizos) de los últimos 9 años en el predio, de 2.143 m³ por año, y considerando la fracción de leña obtenida por metro cúbico de rollos (según análisis anterior), obtenemos un valor de 578.6 m³ anuales de leña. Lo que multiplicado por la densidad básica media de la madera promedio para las especies de 0,38 t_{ms}/m³ (Jovanoski et al, 2002; Jovanoski et al, 2005; Ariete Merino 2010) obtenemos **219,9 t_{ms}/año de residuos** que podrían ser aprovechados energéticamente.

Tabla 3. Residuos anuales provenientes de tratamientos silviculturales (biomasa residual). Expresadas en todos los casos como peso seco.

	Pino Ponderosa		Pino Radiata		Pino Oregón		Biomasa residual total
Biomasa Aérea	83 (±25)		181 (±73)		174 (±33)		
Leñosa [t/ha]	26 años. 670 pl/ha		28 años. 400 pl/ha		23 años. 800 pl/ha		
Tratamiento	t /ha	ha/año	t/ha	ha/año	t /ha	ha/año	t/ha
1° Poda y Raleo a desecho (8-11 años)	9,5			0,2		0,3	4,8
2° Poda (10-13 años)	4,8			0,2		0,4	2,9
3° Poda (12-15 años)	5,3			0,2		0,4	3,2
1° Raleo Comercial (19-24 años)	5,5	1,3		0,2	9,4	1,8	25,5
2° Raleo Comercial (24-30 años)	8,2	1,3		0,2	14,2	1,8	38,5
Raleo Comercial Tardío	10	2	15	1,9	28		48,5
						Total	123,4

Registros de procesamiento en aserradero, para el mismo período antes descrito, arroja un valor de rendimiento promedio del orden del 48% (FAO 2017). Este valor nos indica que por metro cúbico de rollizos que ingresan al aserradero, se obtienen 0,48 m³ de productos (tirantes, tablas y clavadores) y 0,52 m³ de residuos. Ahora bien, de estos residuos, el 10 % corresponde a aserrín, valor que se encuentra entre los presentados por Koch (1988) y Williston (1978) para materia prima de características similares. Esto es, por cada metro cúbico de rollos que entra al aserradero, se producen 0,42 m³ de residuos sólidos (costaneros) y 0,10 m³ de aserrín. Si al volumen de residuos sólidos lo multiplicamos por la densidad básica promedio para la tres especies de 0,38 t_{ms}/m³ obtenemos 0,16 toneladas de residuo seco por m³ de rollizo procesado. Si consideramos que en el período mencionado anteriormente se procesaron en forma promedio 2.143 m³ en el año, resultan que se generan **342.2 t_{ms}/año de residuos sólidos de aserradero** que podrían ser aprovechados energéticamente.

En síntesis, en forma anual se generan 643,4 t_{ms}/año de residuos provenientes de la cosecha del bosque y su industrialización (aserradero). Si se realizan a futuro las podas y raleos propuestos, se adicionarían 123,4 t_{ms}/año, proyectándose una generación de **766,4 t_{ms}/año** que podrían ser aprovechadas.

Por otro lado, la Tabla 4 muestra la caracterización físico-química de las fracciones residuales estudiadas (ramas de la poda, costaneros y aserrín del aserradero, y despuntes de raleo de las distintas especies).

Tabla 4. Caracterización de biomasa

Muestra	n	W %	CZbs %	SVbs %	CFbs %	PCSbs kJ/kg
Pino oregón						
Promedio	16	34,97	0,44	78,975	20,59	20.079
Desvío estándar		10,66	0,19	1,09	0,96	346
Pino ponderosa						
Promedio	16	47,41	0,38	80,08	19,85	19.327
Desvío estándar		21,71	0,11	0,87	0,82	303
Pino radiata						
Promedio	16	35,70	0,37	80,68	18,96	19.516
Desvío estándar		14,51	0,19	0,87	1,27	786

Donde: W_{bh} [%]: contenido de humedad en la muestra en base húmeda. CZ_{bs} [%]: contenido de cenizas en la muestra en base seca. SV_{bs} [%]: contenido de sólidos volátiles en la muestra en base seca. CF_{bs} [%]: contenido de carbono fijo en la muestra en base seca. PCS_{bs} : poder calorífico superior de la muestra analizada. n = cantidad de repeticiones en laboratorio.

Considerando el PCS_{bs} promedio de la caracterización anterior de 19,64 GJ/t, y un 30 % de humedad, obtenemos el Poder Calorífico Inferior en base húmeda (PCI_{bh}) según la ecuación 1. De esta manera podemos calcular junto con la masa proveniente de cada fuente, la oferta energética en forma discriminada (Tabla 5).

Tabla 5. Oferta Energética según fuentes de biomasa.

Fuente de Biomasa	Residuo t _{ms} /año	PCI_{bh} GJ/t	Oferta energética anual GJ
Cosecha del bosque	220	13,75	3.025
Aserradero	424	13,75	5.830
Raleos y podas	123	13,75	1.691,25
Total	767		10.546,25

Por otro lado, la demanda de energía en el CET está dada por 32 personas que trabajan en diferentes sectores dado la complejidad de actividades que se desarrollan en el mismo, ya que es escenario de actividades de investigación, producción y extensión. Los edificios (oficinas, talleres, galpones y viviendas) son calefaccionados

en su mayoría con leña, siendo utilizado el Gas Licuado de Petróleo (GLP) solamente en la oficina técnica-comercial y en el salón de reuniones. El horario de funcionamiento administrativo es de 8 a 16 horas, por lo que el resto del tiempo permanece sin calefaccionar, quedando solo las viviendas en uso.

La demanda anual de leña y GLP de cada uno de los sectores mencionados, se muestran en la Tabla 6. Asimismo la demanda energética anual considerando valores de PCI_{bh} con un 30 % de humedad y densidad básica de la madera de 0,38 t/m³.

Tabla 6. Consumo anual de leña y GLP para calefacción y su equivalencia energética. La leña anual estimada proviene del mismo predio.

Sector	Leña anual m ³ sólidos]	Leña Anual t _{ms}	GLP anual kg	Demanda Energé- tica anual GJ
Vivero	42,6	16,13 ^A	-	221
Taller General	17,4	7,23 ^{BC}	-	192
Comedor, Baños y habitación de huéspedes	18,9	7,87 ^{BC}	-	100
Aserradero y afilado	38,3	14,51 ^A	-	198
Oficina técnica-comercial + salón de reuniones y quincho	39,6	16,49 ^{BC}	1171	327
Puesto ovinos	32,9	19,54 ^B	-	236
Laboratorio ovinos	-	-	135	6
Puesto de vacunos	31,8	19,94 ^C	-	228
Vivienda Jefatura	56,4	21,35 ^B	-	292
Vivienda de huéspedes	32,3	12,25 ^B	-	168
Total	310,3	153,9	1306	1.868

Donde: A= el origen de la biomasa es aserradero, B= el origen de la biomasa es bosque implantado y C= el origen de la biomasa es bosque nativo.

En cuanto al formato utilizado, el "despunte" de aserradero (el cual refiere al trozo remanente luego de establecer la medida de longitud deseada de la pieza en el aserrado, así como también la eliminación de defectos) es el menos utilizado. Mientras que la leña "partida" con hacha hasta llegar a la medida máxima de 15 cm de diámetro es el formato más utilizado (casi tres veces más que los despuntes) debido a que se encuentra con menor contenido de humedad (Figura 3).

Con los datos de los tiempos insumidos para el acondicionamiento, se pudo calcular un rendimiento de 0,55 m³/jornal promedio. Por lo que al año se utilizan 264 jornales.

Por lo tanto, la cobertura energética del predio sería resuelta en su totalidad ya que la demanda es casi cinco veces menor que la oferta. Esto implica un excedente de

8.671 GJ o lo que es lo mismo 631 t o 1659 m³ anuales que podrían ser acondicionados para la venta u otro uso.

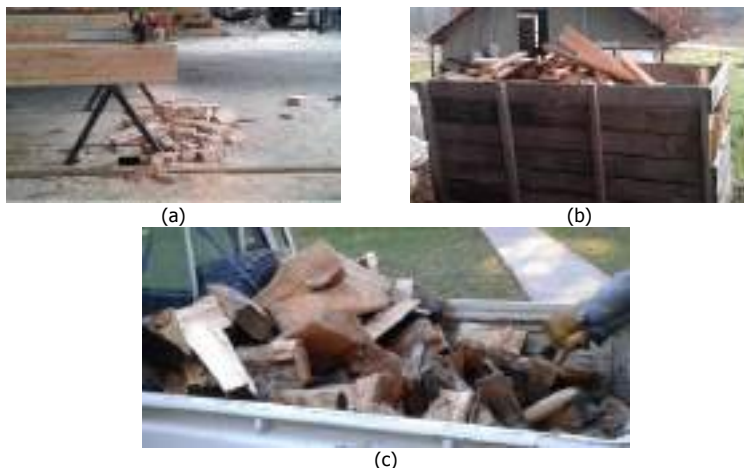


Figura 3. Despunte de tirantes (a), despunte de tablas (b) y partida (c). (Fuente: propia, 2020, CEAT, INTA)

4. Conclusiones del estudio

En base a las estimaciones realizadas, el potencial energético con que se cuenta anualmente a partir de la biomasa disponible (a campo y de aserradero) quintuplica la demanda térmica anual estimada para el CEAT INTA, con lo cual se podría cubrir la demanda de nuevos sectores con la biomasa disponible, y/o acondicionarla para su venta. La decisión de cuál fuente de biomasa utilizar, debe considerar la necesidad de aplicar algún pre- tratamiento previo a su utilización y analizar la logística a emplear en cada caso:

- ☐ *para la biomasa proveniente del aserradero* es necesario aplicar secado, chipeado y peletizado, y se parte de la ventaja de que la biomasa utilizable se encuentra concentrada (no implica muchos costos de logística para su recolección).
- ☐ *para la biomasa generada a campo*, proveniente de la cosecha del bosque (fuente de uso actual), se requiere el secado y el partido del material, donde la dedicación horaria para el pre-tratamiento, es decir, partir los trozos con hacha es alta (estimado en 264 jornales al año).
- ☐ *para los residuos provenientes de la poda y los raleos*, también generados a campo, son necesarios el secado y el chipeado, para facilitar su utilización. Asimismo, la alta dispersión con la que se encuentra, implica una mayor complicación logística por encontrarse en forma dispersa en el bosque, y altos costos que deben ser particularmente estimados en cada caso.

Si bien existe un excedente de la oferta de biomasa en relación a la demanda estimada, la posibilidad de comercialización depende del desarrollo de tecnología asociada a la generación de calor por combustión con biomasa moderna, ya que se requiere una transformación en formato chip o pellet de algunas de las fuentes analizadas. La transformación a pellet sería conveniente para el aserrín del aserradero. La transformación a chip es para llevar a un formato homogéneo y fácil de realizar, tanto de los raleos (ramas y trozos de pequeño diámetro y formas irregulares) como los sólidos del aserradero.

Tabla 7. CO₂ Procedente de la Quema de Combustibles. Cálculos paso a paso.

	Industria de Energía		GLP
PASO 1	A	Consumo Gg	1,2X10 ⁻³
PASO 2	B	Factor de Conversión ¹ TJ/Gg	47,31
	C	Consumo TJ C=AxB	0,0568
PASO 3	D	Factor de emisión de carbono ² t C/TJ	17,2
	E	Contenido de carbono t C E= CxD	0,976
	F	Contenido de Carbono [Gg C] F=Ex10 ⁻³	9,76X10 ⁻⁴
PASO 4	G	Fración del carbono almacenado ³	0,80
	H	Carbono almacenado Gg C H=FxG	7,81X10 ⁻⁴
	I	Emisiones netas de carbono Gg C I=F-H	1,95X10 ⁻⁴
PASO 5	J	Fración del carbono oxidado	1
	K	Emisiones reales de carbono Gg C] K=IxJ	1,95X10 ⁻⁴
PASO 6	L	Emisiones reales de CO ₂ Gg CO ₂ L=Kx(44/12)	7,15x10 ⁻⁴
	M	Emisiones reales de CO ₂ t CO ₂ M=L*1000	0,715

¹Valor de Tabla 1-3 IPCC 1996

²Valor de Tabla 1-2 IPCC 1996

³Valor de Tabla 1-4 IPCC 1996

Por otro lado, deben destacarse los beneficios ambientales que podrían lograrse por la utilización de los residuos, como la disminución del riesgo de incendios y enfermedades, y la reducción de las emisiones de CO₂ por la quema de fósiles para la calefacción de ambientes. En efecto, la acumulación de residuos en los bosques, aumentan el riesgo de incendios, con la consecuente pérdida del ecosistema. En la Patagonia, entre 1999 y 2005 se quemaron más de 2.7 millones de hectáreas de bosques y pastizales (Torres Curth et.al, 2008); liberando GEI y otros contaminantes (Defossé, 2011), más allá de la pérdida de biodiversidad. Con respecto a la disminución de los riesgos de plagas y enfermedades, se ha observado, por ejemplo, un aumento poblacional de los escarabajos de corteza en estos residuos, siendo dichas especies vectores de hongos que afectan a la madera (Errasti, 2016), y otras especies que directamente generan la muerte de las plantas en pie como es el caso de *Pissodes castaneu* (Gomez et. al, 2015). En términos de reducción de GEI,

la sustitución de la quema de fósiles (GLP) para la calefacción por la combustión de biomasa contribuiría a una merma de 0.715 t CO₂eq de emisiones en el caso de estudio (Tabla 7). En este sentido, resulta necesario un esfuerzo mayor en la evaluación del ciclo de vida de las cadenas de bioenergía y las propuestas de manejo realizadas, a fin de conocer si el balance de emisiones resulta en efecto neutro o aún hay aspectos que deben ser optimizados.

5. Aportes y reflexiones para un Maletín de Buenas Prácticas

Los resultados logrados son alentadores. Se ha estudiado la posibilidad de lograr múltiples beneficios a partir de una planificación integral de las forestaciones existentes en el CEAT. Esto aun sin dejar de considerar que la oferta de materia prima está dispersa en algunos casos, y su generación en general es de baja escala. Por tanto, la propuesta realizada es viable en la medida en que se trata de un Centro de Experimentación donde ya se realizan actividades diversas, y donde el manejo de la biomasa residual, solo implicaría optimizar el sistema con múltiples beneficios, que no necesariamente implica un uso energético maximizado, sino que sería ventajoso en un esquema integral de manejo y pionero frente a otros Centros Experimentales similares en la región.

Entre los principales aportes logrados en este trabajo, pueden destacarse los siguientes aspectos:

☐ Mediante un procedimiento sencillo, basado en consulta a expertos, uso de reportes previos y relevamiento de datos de fácil obtención a campo (diámetros, alturas), se ha definido una **propuesta de manejo de plantaciones** con base en información técnica calificada. De allí fue posible estimar, mediante ecuaciones alométricas disponibles y software gratuito, la potencial generación de residuos del manejo silvicultural del bosque implantado.

☐ Se ha logrado construir **una base de datos** sobre características físico-química de las principales especies y formatos disponibles de biomasa forestal derivada de plantaciones de la Patagonia argentina. Esta información resulta fundamental para poder conocer la potencial respuesta de la biomasa en las tecnologías de conversión energética y si requiere su adecuación previa.

☐ Se ha generado información valiosa sobre **coeficientes de generación de residuos/productos**, tanto en etapa de cosecha como de primera transformación de la madera. Se ha logrado la cuantificación precisa de la fuente mayoritaria de generación de biomasa residual forestal (aserradero), gracias a la existencia local de índices de residuo/producto de la industria, que fueron recopilados.

☐ Asimismo, se ha logrado la cuantificación de la **demanda energética calórica** real del predio del CEAT y se ha precisado la logística empleada, lo que puede dar lugar a definir puntos concretos de optimización.

☐ De manera integral, se ha evaluado el sistema de gestión actual y la propuesta que se realiza en el presente podría ser parte del mismo, sin afectar mayormente los esquemas de trabajo ya existentes, pero con un notable beneficio múltiple energético, ambiental y aún económico, en la reducción del uso de combustibles fósiles. Este último estudio se realizará de manera particular para corroborar la viabilidad económica de la propuesta.

Entre las fortalezas de la propuesta de gestión pueden mencionarse:

- ☒ Potenciales beneficios ambientales debido a la reducción del riesgo de incendios, proliferación de enfermedades y reducción de emisiones de GEI.
- ☒ Potencial beneficio social al generar una alternativa para los hogares que se calefaccionan con leña, mediante la incorporación de artefactos de combustión de chip o pellets. Esto es, que el residuo, al ser tratado y acondicionado, puede ser utilizado en lugar de la calefacción a leña, ya que el chip o el pellet tienen la ventaja de poder ser utilizados en sistemas de alimentación automática, frente a la alimentación manual de la leña. Pero para esto hace falta un desarrollo tecnológico de los artefactos de combustión.
- ☒ Disminución de la presión sobre el bosque nativo.
- ☒ Alentar el manejo integral y planificado de las plantaciones.
- ☒ Existencia de prestadores de servicios con chipeadoras medianas y pequeñas. Esto puede dar lugar asimismo, a sinergias en pequeñas cooperativas o asociaciones locales, que pongan en marcha alternativas de micro gestión o pequeños emprendimientos que movilicen las economías locales.

Entre las principales dificultades para llevar adelante en otros predios forestales una propuesta de gestión similar a la presentada en este estudio, se reconocen:

- ☒ Escasos datos regionales de residuos generados a campo por actividades silviculturales.
- ☒ Escasos estudios regionales de valorización energética de residuos forestoindustriales.
- ☒ Escasos trabajos regionales de la actividad forestal sobre Huella de Carbono y análisis de ciclo de vida que permitan conocer la efectiva reducción de emisiones que podría lograrse con el uso de la biomasa residual.

En términos generales, la actividad forestal planificada, que pretende mantener el recurso a perpetuidad aprovechándolo por debajo de la tasa de generación, genera residuos que pueden ser utilizados. Más allá de las estimaciones realizadas para una gestión completa de estos residuos y su uso energético y ambiental complementario, resulta necesario generar información específica sobre otros aspectos asociados a un uso sustentable de las plantaciones pero también de los bosques nativos. Entre ellos, aspectos como el balance de nutrientes requeridos en cada tipo de suelo, o el uso y consumo de agua, o las prácticas de menor impacto en el manejo de los bosques, deberían ser estudiados de forma complementaria, ya que son pocos los trabajos locales que hacen referencia a estos temas.

Los artefactos nacionales de combustión de biomasa para calefacción domiciliaria, utilizan la leña como principal combustible, siendo escasas las experiencias con biomasa moderna (pellet, chip). Entonces el uso del recurso en estos formatos, requiere un desarrollo de la tecnología nacional. Según un relevamiento preliminar existen en el país 9 productores nacionales de calderas de diferentes tipos a nivel industrial (acuo y pirotubulares, calentadores de aceite, cámaras torsionales), y solo 7 fabricantes locales de estufas y salamandras a leña y quemadores de pellets para hogares y estufas.

Los equipos de energía térmica utilizados en la industria o agroindustria generalmente consumen chips. Estos tienen posibilidad de fabricarse localmente, mientras que los equipos de uso residencial y comercial generalmente emplean pellets. Estos equipos en su mayoría son importados, registrándose avances en la producción nacional especialmente de estufas (Ej. OFEN). A pesar de ser un combustible más costoso, las ventajas del pellets son notables en relación a los chips: eficiencia en transporte, poder calorífico constante, producto estandarizado, etc (MAYDS, 2021). En este sentido, se cuenta con una normativa internacional y la norma IRAM n° 17225 en desarrollo, para la estandarización con norma nacional de oferta de bio-combustibles sólidos biomásicos en proceso, con lo cual se avanzará en la regulación de la logística de aprovisionamiento y estandarización de costos que probablemente fortalecerá el desarrollo de tecnología nacional para uso de biomasa en formatos densificados o chips.

Agradecimientos

A los Ing. Forestales, Gabriel Loguercio y Federico Letourneau por su colaboración desinteresada.

Referencias

- Ariete Merino N., (2010). Caracterización de madera de *Pinus radiata* D. Don sometido a un proceso de modificación térmica usando un ambiente de inmersión. Universidad austral de Chile. Facultad de ciencias forestales y recursos naturales.
- CAMMESA (2021). Energías Renovables. Base de datos 2021. <https://cammesaweb.cammesa.com/erenovables/>
- Chen S., Shahi C., Chen H., McLaren B. (2017). Economic analysis of forest management alternatives: Compositional objectives, rotation ages, and harvest methods in boreal forests. *Forest Policy and Economics* 85:124–134
- CFI (2019). Plan de aprovechamiento de residuos dendroenergéticos Chubut.
- CIEFAP (2018). Compilación integral de datos, bajo metodología WISDOM, en la región de la comarca andina ampliada.
- Davel M., Caballé G., Gonda H., Chauchard L., Sbrancia R., Bulgarelli L. (2015). Los tratamientos silvícolas. Manual de Buenas Prácticas para el manejo de plantaciones forestales en el noroeste de la Patagonia. Cap.9 p: 191-243.
- Defossé G., Loguercio G., Oddi F., Molina J., Kraus D. (2011). Potential CO₂ emissions mitigation through forest prescribed burning: A case study in Patagonia, Argentina. *Forest Ecology and Management* Vol.261 p. 2243-2254.
- Defossé G., (2015). ¿Conviene seguir fomentando las plantaciones forestales en el norte de la Patagonia? *Ecología Austral* 25:93-100. Asociación Argentina de ecología.
- Errasti A. (2016). Hongos manchadores de albura en especies forestales exóticas y nativas de los Andes Patagónicos: taxonomía, patogenicidad y manejo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- FAO a (2020). Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina. Colección Documentos Técnicos N.º 19. Buenos Aires. <https://doi.org/10.4060/ca8764es>

-
- FAO b (2020). Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa – Metodología WISDOM - Provincia del Chubut. Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. <https://doi.org/10.4060/cb0716es>
- FAO (2017). "Proyecto District Heating" Paraje Los Cipreses, Municipio de Trevelin, Chubut, Argentina. Informe técnico.
- Francescato V., Antonini E., Zuccoli Bergomi L. (2012) Manual de combustibles de madera. Producción. Requisitos de calidad. Comercialización. Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa.
- Gaioli F., León E., Cafici M., Casavelos J. (2009). Propuesta de un Marco Institucional para facilitar la Aplicación de Tecnologías y Desarrollo de Proyectos para el Uso Efectivo de los Residuos Forestales.
- Gauto Acosta M., (2017). " Proyecto District Heating " Paraje Los Cipreses, Municipio de Trevelin, Chubut, Argentina. Informe técnico preparado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Pro biomasa UTF/ARG/020/ARG.
- Gomez C., Askenazi, J.; Williams, R.; Freeman, G.; Concha, M. (2015). Forest debris as a breeding site for *Pissodes castaneus*: a risk for standing trees? IUFRO 07.03.05 – 07.03.12 Joint Meeting.Pg.71
- IEA a (2019). Renewable information: Overview. International Energy Agency. http://wds.iea.org/wds/pdf/ren_documentation.pdf
- IEA b (2019). Energy efficiency indicator: highlights. International Energy Agency. <https://www.iea.org/statistics/efficiency>
- IEA c (2018). Renewable 2018: Analysis and Forecasts to 2023. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>
- INTI CITEMA (2003). Densidad de las maderas. https://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/pdf/densidad_comun.pdf
- IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds).
- Jovanovski A., Jaramillo M., Loguercio G., Antequera S., (2002). Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws) en tres localidades de Argentina. Bosque, Vol. 23 N° 2, pp. 57-67
- Jovanovski A., Manfredi R., Villena P., (2003). Evaluación de alternativas para aumentar la competitividad de la industria forestal de procesamiento primario en la provincia de Tierra del Fuego. Consejo Federal de Inversiones. Tierra del Fuego. Argentina.
- Koch P. (1988). Utilization of hardwoods growing on southern pine sites Vol. II. Agriculture Handbook N° 605. U. S. Department of Agriculture. Forest Service.
- Lederer N., Defosse G., (2019). Gestión sustentable de residuos de forestaciones en un gradiente ambiental de Patagonia: efectos de diferentes técnicas sobre el balance de emisiones de CO₂, la tasa de descomposición de residuos y la dinámica de nutrientes. Informe de Avance de Doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
- Letourneau F., (2017) CAI, Congreso Argentino de AgroInformática. Módulo de Simulación de Trozado de Árboles del Software "calculEMUs" 46JAIIO - CAI - ISSN: 2525-0949 - Página 265-276.
-

-
- Loguercio G., Jovanovski A., Molina J., Pantaenius P. (2008). Residuos de biomasa de forestaciones y aserraderos de la región andina de las provincias de Neuquén y Chubut. Evaluación preliminar de oferta.
- Loguercio G., Gonda H., Molina J. (2011). Estimación de la biomasa residual producto de raleos pre comerciales y podas. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS) 2021. Plan Estratégico Forestal Y Foresto Industrial Argentina 2030. Consulta en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/04/plan_estrategico_foresto_industrial_2030.pdf
- Ministerio de Energía. Balance Energético Nacional 2018. www.argentina.gob.ar/energia/hidrocarburos/balances-energeticos.
- Núñez C.E (2007). Relaciones de Conversión entre densidad básica y densidad seca de madera. Rev. Cienc. Tecnol. 9 (9): 44-50.
- Rothkugel M., (1916). Los Bosques Patagónicos. Oficina de Bosques y Yerbales. Talleres Gráficos del Ministerio de Agricultura de la Nación, Argentina.
- Salvaré F., Andreassi L.G., Diez J.P., Claps L., (2017) "Ensayo de Poda y Raleo para Producción y Caracterización de Chips con Fines Energéticos. Arroyo del Medio, Bariloche". https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_revista_presencia_ndeg_68.pdf
- Torres Curth M., Ghermandi L., Pfister G. (2008). Los incendios en el noroeste de la Patagonia: su relación con las condiciones meteorológicas y la presión antrópica a lo largo de 20 años. Ecología Austral.
- Williston E. M. (1976). Lumber Manufacturing: The Design and Operation of Sawmills and Planer Mills. Miller Freeman Publications, Inc.
- Yang P., Jenkins B.M. (2008). Wood residues from sawmills in California. Biomass and Bioenergy 32 101– 108.