Informe Técnico N° 273

MODELOS DE PRODUCTIVIDAD PARA LA ESTIMACIÓN DE LEÑA EN LAS PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES UTILIZADAS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO

INSTITUTO FORESTAL
2024

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

Informe Técnico N° 273

MODELOS DE PRODUCTIVIDAD PARA LA ESTIMACIÓN DE LEÑA EN LAS PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES UTILIZADAS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO

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

Iniciativa financiada por el Gobierno Regional del Biobío, a través del Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC-R), PROGRAMA ESTRATÉGICO REGIONAL PARA LA INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE OPORTUNIDADES SUSTENTABLES EN EL USO DE LA BIOMASA FORESTAL PARA LA GENERACION DE ENERGÍA RENOVABLES EN LA REGIÓN DEL BIOBIO Código BIP 40036155

INSTITUTO FORESTAL
2024

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

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

ISBN N° 978 956 318 283 – 5 Versión Impresa
N° 978 956 318 284 – 2 Versión Digital
Reg. Propiedad Intelectual N° 2024 A 12526

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

Pinilla Suarez, Juan Carlos; García Inostroza, Joaquín; Navarrete Torres, Mauricio; Navarrete Ulloa, Felipe; Casanova del Río, Karoline y Luengo Vergara, Karina (2024). Modelos de productividad para la estimación de leña en las principales especies forestales utilizadas en la región del Biobío. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 273. P. 25. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32760

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	9
RESULTADOS	13
COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	22
RECONOCIMIENTOS	25
REFERENCIAS	25

INTRODUCCIÓN

El sector de los biocombustibles cuenta con una nueva normativa que define su producción y comercialización a través de la Ley 21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía (MEN, 2024).

Esta nueva normativa para los biocombustibles, especifica, entre otros temas, que la leña que se comercialice en el país, especialmente para su uso en las ciudades, deberá contar con un contenido de humedad con un máximo de 25%.

(Fuente: https://www.sellocalidadlena.cl/)

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

Este programa plantea apoyar los esfuerzos para mejorar la competitividad del sector de las energías renovables no convencionales en la región, centrado en la producción y uso de biocombustibles (leña, pellet, otros) y considera el desarrollo de herramientas que permitan el encadenamiento y fortalecimiento de su gestión productiva y comercial, propiciando al mismo tiempo el abastecimiento sustentable de biomasa en la cantidad y la calidad requerida por el sector de los bioenergéticos en la región, y la generación de puntos de encuentro de los sectores relacionados con estos en la región (Pinilla *et al.*, 2024).

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

En este ámbito, el programa desarrolla estudios para caracterizar la biomasa utilizada en los procesos de producción de leña a través del estudio de su densidad básica y otros parámetros utilizando aquellas especies presentes en la región. Con estos fines se genera y difunde información que permita analizar las condiciones actuales de la industria de los biocombustibles a nivel regional.

El Sector de la Leña en la Región del Biobío

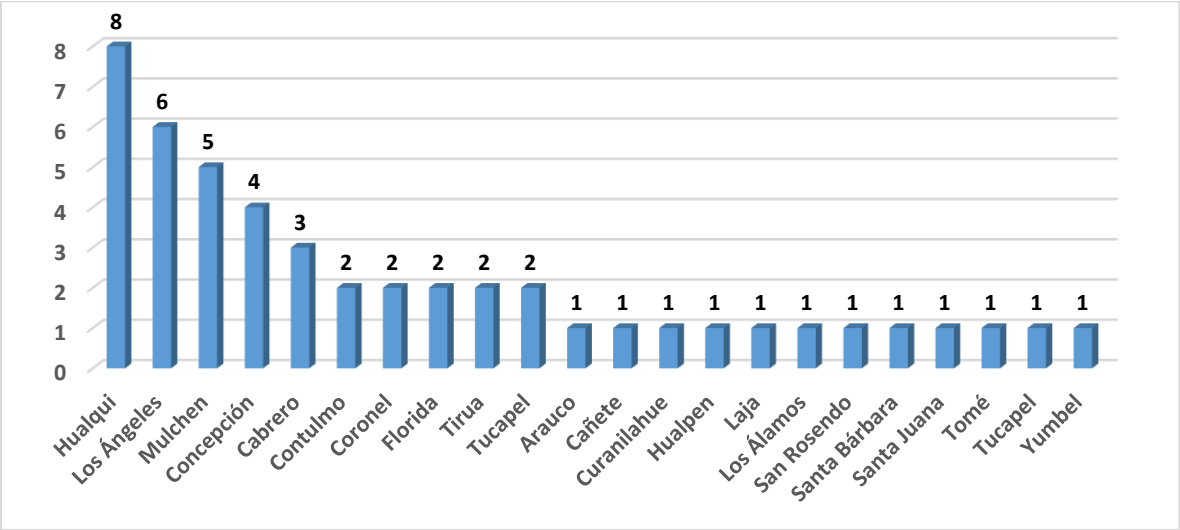
La biomasa forestal es parte importante del consumo energético de la región del Biobío, utilizada principalmente para calefacción, preparación de alimentos y generación de energía eléctrica, en su formato de leña y astillas térmicas generalmente.

Según el Observatorio de Biocombustibles de INFOR, el año 2019 se estimó para la región del Biobío un consumo cercano a 1.963.941 m^3, distribuido aproximadamente entre 416.380 viviendas urbanas y 64.137 viviendas rurales, con un consumo de leña aproximado de 5,6 m^3 sólidos/vivienda/año en sectores urbanos y de 10,2 m^3 sólidos/vivienda/año en el sector rural[2].

Respecto de las especies utilizadas como fuente de abastecimiento de leña en la región, los productores con sello de calidad mencionan principalmente *Eucalyptus globulus*, *Acacia dealbata*, *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata,* entre las especies exóticas, y *Nothofagus obliqua, Nothofagus alpina, Persea lingue y Peumus boldus, entre las* nativas (Pinilla *et al*., 2024).

Se observa que, a diferencia de otras regiones, cerca del 100% de la leña que se utiliza en la región proviene de plantaciones con especies exóticas y/o el manejo de rebrotes o masas asilvestradas de diversas especies, destacando el uso actual de los terrenos según sus necesidades de recuperación y el potencial existente para la utilización de especies forestales con fines dendroenergéticos en forma sostenible.

Según registros del Ministerio de Energía, en la región del Biobío existen 48 Productores de Leña con Sello de Calidad, reconocimiento entregado por el Ministerio a través de la Agencia de Sostenibilidad Energética (Agencia SE), con el objetivo de destacar a comercializadores cuyos procesos de producción de leña les permiten generar un producto de calidad. Estos productores se concentran en las comunas de Hualqui, Los Ángeles y Mulchén, principalmente (Figura N°1).



Fuente: Ministerio de Energía, 2024. https://www.sellocalidadlena.cl/#proveedores

Figura N°1. Productores de leña con sello de calidad en la región del Biobío

CONAF (2024) menciona que en la región del Biobío existirían 89 acopios de leña monitoreados durante el año 2023, que representan cerca del 15% del total de estos establecimientos en el país. Un centro de acopio de leña para estos fines fue definido como una ubicación física donde se junta, almacena y procesa leña para su posterior comercialización, clasificándolos según el volumen comercializado anual, indicando de Pequeña Escala (volumen menor a 500 m^3), Mediana Escala (entre 500 hasta 1.000 m^3) y de Gran Escala (con volúmenes sobre 1.000 m^3 estéreo de leña).

[2]https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiN2JmNTVmZTAtNjRhYy00NmE4LWI5NzktYmFlYWExMTAxODUwIiwidCI6IjcwZTI3NDhjLTAzN2MtNDllZi05N2RkLTI0ODAxYTc2ZmFlYSIsImMiOjR9&pageName=ReportSection

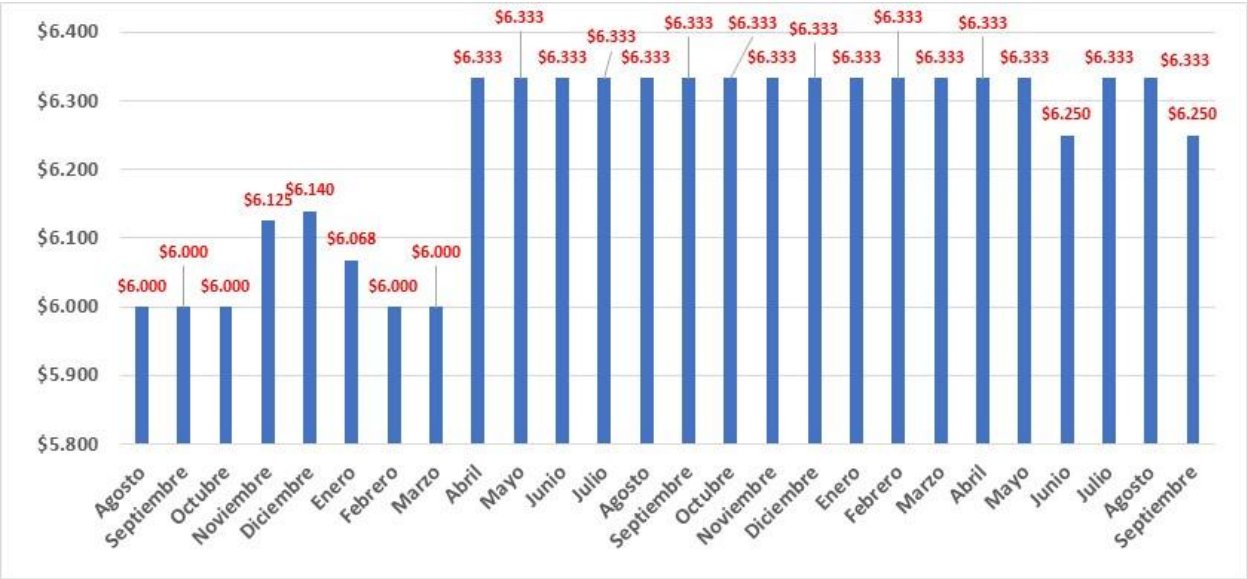
Según esta clasificación, en la región del Biobío existirían 7 centros de acopio de Gran Escala, 19 de Mediana Escala y 63 de Pequeña Escala, con una producción total de 54.169 m^3 estéreos. Los acopios de Gran Escala concentran el mayor volumen de Leña comercializado anualmente, llegando a abarcar un 43% del total, mientras que los centros de Mediana y Pequeña Escala presentan volúmenes similares comercializados (Cuadro N°1).

Cuadro N°1
Clasificación según escala de producción y volumen de centro de acopio en la región del Biobío

Región	Gran Escala		Mediana Escala		Pequeña Escala	
	N° Acopios	Volumen (m^3 estéreos)	N° Acopios	Volumen (m^3 estéreos)	N° Acopios	Volumen (m^3 estéreos)
Biobío	7 (8%)	23.250 (43%)	19 (21%)	15.700 (29%)	63 (71%)	15.219 (28%)

(Fuente: CONAF, 2024)

Respecto del precio de la leña en la región, el estudio de INFOR reporta durante el año 2024 una estabilización, aun cuando lo productores con Sello de Calidad[3] señalan un encarecimiento en el valor de la materia prima (metro ruma), además del incremento del costo de los combustibles fósiles y la falta de mano de obra, principalmente. De igual forma, los productores estiman que la demanda ha sido estable, lo que influye en la estabilidad del precio de la leña, el que se ha mantenido desde hace cerca de un año.

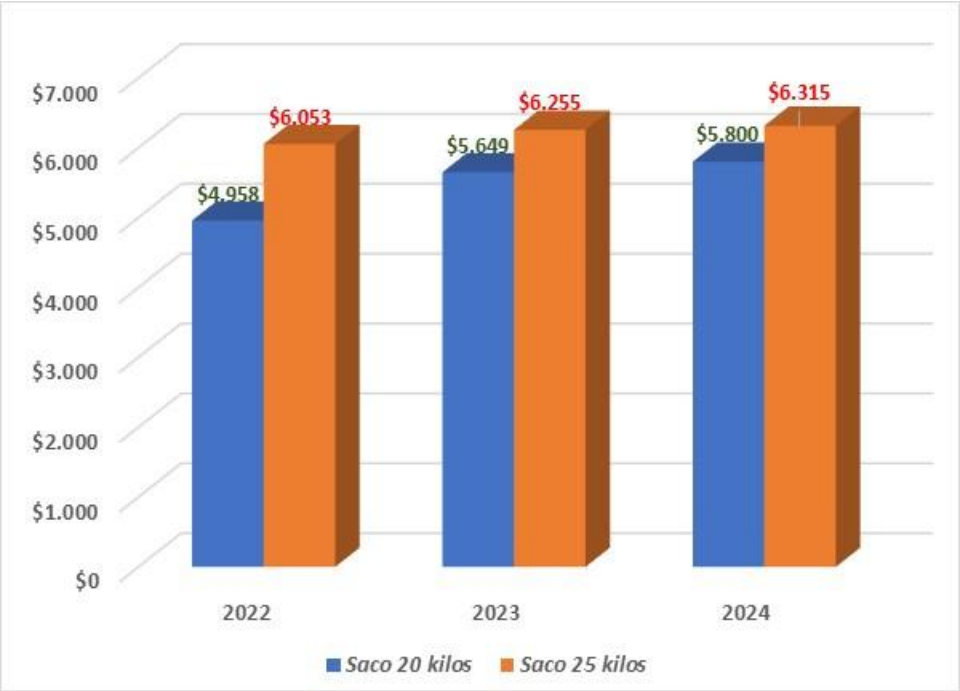


(Fuente: Pinilla *et al.,* 2024)

Figura N°2. Evolución precio saco 25 kg de leña

Al analizar la evolución del precio de la leña en la región del Biobío ofertada por productores con Sello de Calidad de Leña, en saco de 20 y 25 kilos a partir del año 2022, es posible observar un aumento permanente de su valor, tal cual se observa en el siguiente gráfico.

[3] Sello de Calidad, reconocimiento entregado por el Ministerio de Energía a través de la Agencia de Sostenibilidad Energética (Agencia SE), con el objetivo de destacar a comercializadores cuyo proceso de producción de Leña, les permite generar un producto de calidad



(Fuente: Pinilla *et al*., 2024)

Figura N°3. Evolución del precio del saco de leña de 20 y 25 kilos en la región del Biobío

Sector de los Productores de Leña con Sello de Calidad

Durante el trabajo con productores de leña con Sello de Calidad, se ha obtenido información que permite identificar brechas y realidades de este sector.

Figura N°4. Productor de leña con sello de calidad

Este sector destaca que han trabajado varios años para obtener este Sello de Calidad y así poder trabajar de una manera más segura y con un mejor camino económico para los productores. Ello implicó el cumplir con normas mínimas, en un trabajo de importancia. El nuevo escenario legislativo apoyará a los que no cuentan con este Sello de Calidad, pero no así a quienes ya cuentan con ello, existiendo a criterio de los productores una diferencia que debería subsanarse.

Otro tema que se destaca es la poca difusión entre la comunidad de los beneficios de conta con productores de leña con Sello de Calidad, incluso mencionan que existen municipios que aún no saben de la existencia de los productores con sello de calidad y que incluso se realizan licitaciones que no exigen sello de calidad.

Los productores de leña argumentan que su biocombustible es de calidad y está comprobado que el impacto es mínimo cuando se cumplen con las exigencias de la ley, es una exigencia constante que tiene un costo que los productores ilegales e informales no ven, ellos no tienen que lidiar con esto y ellos venden un producto que no cumple con los estándares mínimos de calidad.

A ello se agregan recientes actualización de los Planes de Descontaminación Ambiental (PDA) que están prohibiendo equipos a combustión lenta, lo que se ve cómo una barrera a su actividad comercial, algo que van en contra de directrices y programas de fomento a la leña y que, finalmente, afectan a la población, la que se ve en la necesidad de cambiarse e invertir en otros sistemas de calefacción que a diferencia de la leña no son elementos culturales.

Señalan que el panorama futuro se ve con incertidumbre, necesitando de apoyo y atención directa al rubro para reducir costos de producción asociados a mano de obra y combustibles, factores que cada vez elevan su valor y que exigen mejoras laborales, entre otros, incluyendo el tema de impuestos.

Demandan mayor visibilidad, solicitando eventos para promocionar sus productos, apoyo para aumentar la producción, capital de trabajo, apoyo a los procesos de secado ya que la nueva Ley exige la venta de solo leña seca (menor a un 25% de humedad) y, en general, apoyo y fomento a este sector, más aún en un escenario que exigirá más leña de calidad en los próximos años.

Señalan, además, que observan que no existe renovación de la biomasa, de nuevas forestaciones que ellos puedan utilizar para suministro de madera para la producción de leña, lo que afecta el valor de la materia prima para generar leña.

Se requiere avanzar en el secado de la leña ya que a futuro solo se podrá comercializar en las ciudades leña con menos de un 25% de humedad. Se menciona que entre noviembre y marzo se puede secar en 1 mes la leña. Para un prototipo de secado se sugiere considerar materialidad, volumen, aislación del suelo, ventilación cruzada. El secador funciona igual que la estufa con aislación, es económico hacerlo, y debe ser acorde a los estándares del sitio a construir y normativas involucradas.

Durante el trabajo del programa se han podido detectar algunas necesidades de capacitación o de apoyo a los productores de leña. Ello en el marco de la nueva ley que normará la producción y comercialización de biocombustibles y de la permanente necesidad de aumento de la productividad y eficiencia económica de estos productores.

En relación con la leña se observó que los productores manifestaron inquietudes respecto a contar con medios para estimar la producción de leña a partir de un árbol o rodal, considerando generar herramientas que permitan obtener el número de astillas factibles de obtener desde un árbol y especie según sus dimensiones.

Programa FIC

Dado que el Programa FIC considera analizar opciones de innovación y desarrollo económico a través del desarrollo de estudios tecnológicos para generación de información y conocimiento y el fortalecimiento de las capacidades de pymes de la energía y propietarios forestales a través de un

programa permanente de difusión y transferencia de tecnologías, información, procesos e innovaciones, se realizó un estudio inicial que tiene por objetivo generar herramientas de apoyo para estimar la cantidad de astillas a obtener por árbol según especie y condición de crecimiento en la región del Biobío.

La Norma Chilena 2907 / 2005 (INN, 2005) establece la clasificación y requisitos de calidad que debe cumplir la leña para ser empleada como combustible sólido, la cual se aplica a la leña que se utiliza como combustible en los sectores residencial, comercial e institucional. Esta no se aplica a los desechos forestales, industriales, desechos leñosos de distinto origen y otros productos originados a partir de madera densificada como briquetas y pellet, entre otros.

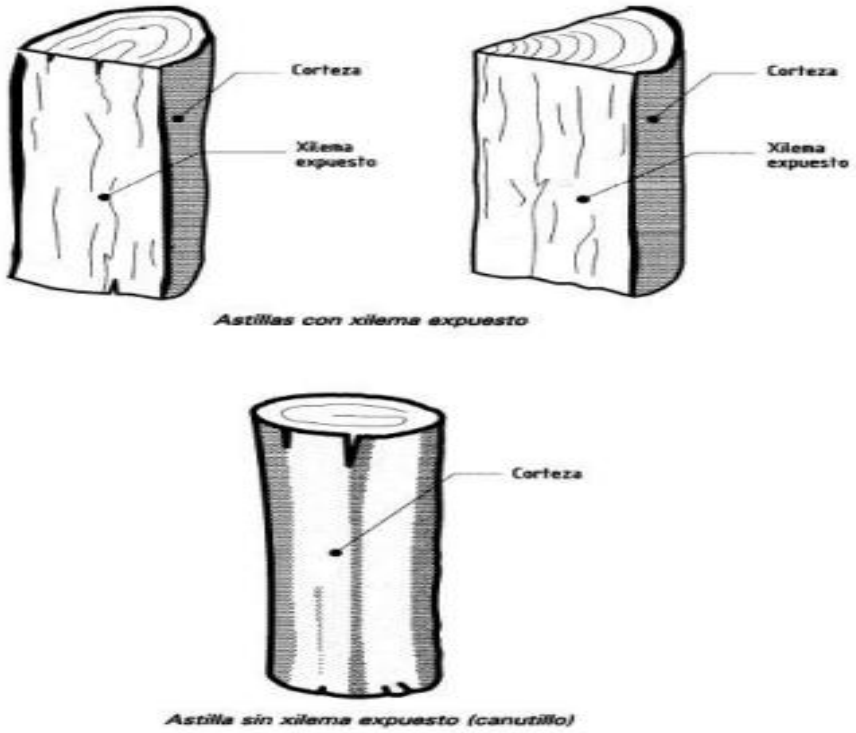


Figura N°5. Caracterización astillas para leña según Norma Chilena 2907 / 2005

La Norma señala que la leña para ser comercializada no debe estar contaminada o impregnada con barnices, pinturas, preservantes u otras sustancias químicas correspondientes a tratamientos de la madera, particularmente si éstos son tóxicos y/o cuya combustión pueda dar origen a compuestos orgánicos persistentes (COP).

En relación con su tamaño, las astillas deben estar de acuerdo a lo recomendado por el fabricante del artefacto donde se utiliza, ya sea cocinas, estufas, calefactores, equipos industriales y otros, estableciéndose que las dimensiones de los leños deben ser de un largo de 25 cm y 15 cm de ancho, en promedio, para asegurar el secado bajo 25% de humedad y asegurar una estandarización de la leña.

El estudio contempló las especies a utilizar y la selección de rodales y árboles donde a partir de variables de fácil medición del árbol se pueda obtener la cantidad de astillas de acuerdo con las características exigidas por la Norma Chilena 2907 / 2005[4].

[4] La Norma Chilena NCh 2907 – 2005 establece categorías para la Leña según su contenido de humedad, siendo la leña seca aquella con un contenido de humedad en base seca igual o menor a 25%.

Ello considera la recolección de datos correspondientes a partir del volteo de árboles según especie, trozado, producción de astillas de leña y su equivalencia en volúmenes de interés.

En este marco se presenta este documento que entrega los resultados del estudio y los modelos de estimación de la cantidad de astillas a obtener por árbol según especie y condición de crecimiento en la región del Biobío.

METODOLOGÍA

Selección y Volteo de Árbol para Generar Leña

Para el desarrollo de este estudio, se utilizaron tres especies forestales, *Acacia dealbata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, seleccionando árboles rectos para cada especie estudiada, de poca ramificación y de diferentes diámetros a la altura del pecho (DAP) con el objetivo de capturar la variabilidad diamétrica para un mejor resultado en el conteo de leña obtenida y su equivalencia en metros cúbicos estéreo, u otra unidad.

La selección de árboles debe considerar como mínimo un DAP de 12 cm.

Se ejecutaron mediciones de:

Diámetro basal
DAP
Longitud del individuo
Longitud hasta el diámetro de 8 cm.

Identificación de DAP y Altura, Limpieza de Fuste e Identificación de la Altura donde el Fuste tiene 8 cm de diámetro.

Para poder estimar el volumen de material leñoso que posee un árbol es necesario obtener DAP y altura. Luego del volteo, se limpian las ramas del fuste. Se identifica y se marca la altura donde el fuste tiene 8 cm de diámetro y se corta la copa a esa altura.

El material leñoso con fuste menor a 8 cm de diámetro y las ramas extraídas del fuste no sirven para la generación de leña, por las dimensiones que la futura ley de biocombustible considera.

Figura N° 6. Evaluación rodal para estudio en leña

Figura N° 7. Cosecha de árboles para estudio de leña

Marcación y Generación de Leña Basada en las Dimensiones de Leña Certificada

La norma NCh 2907 establece para la elaboración medidas estándar que debe tener la astilla para ser comercializada, no puede pasar lo 15 cm diámetro de la base de la astilla y debe tener un largo de 30 cm. Por ello, se marca el fuste del árbol cada 30 cm y el motosierrista procede a trozar el fuste en forma acorde para obtener leña según lo que exigirá la nueva ley de biocombustible. Se marca el fuste cada 30 cm, con la finalidad de obtener trozas de un mismo largo y después se obtienen los astillones usando un partidor longitudinal mecánico.

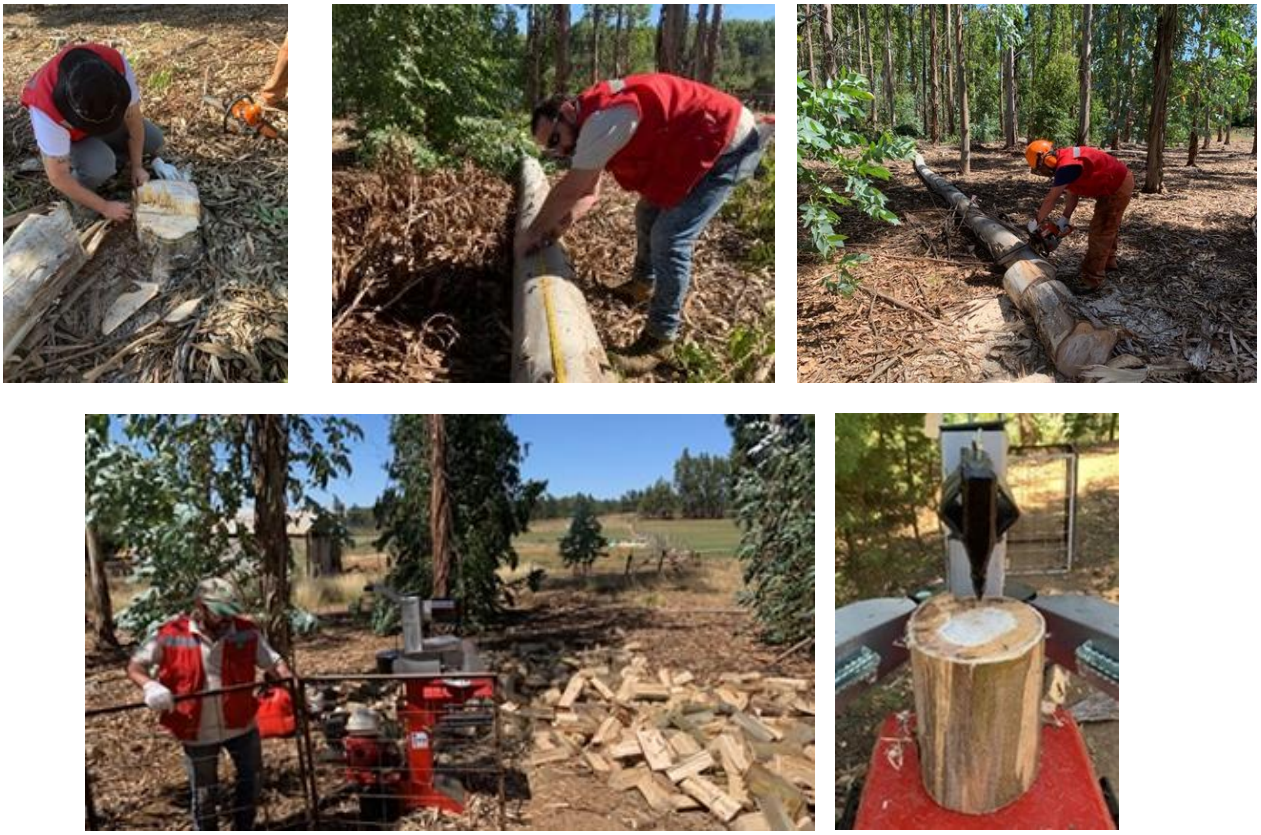


Figura N° 8. Medición diámetro basal, marcación cada 30 cm, trozado y astillado con partidora hidráulica

Conteo de Leña Generada por Árbol y Equivalencia según sus Formatos de Venta

Los principales formatos de comercialización establecidos son las astillas a granel, astillas en sacos, metro cúbico y metro cúbico estéreo.

Una vez listas las astillas, se procede a contarlas y depositarlas en un marco fabricado de un metro cúbico, con la finalidad de identificar la cantidad de astillas que generó el árbol volteado y a cuántos metros cúbicos equivale en sus diferentes formatos.

Se establece así un formato de medición del volumen en el metro cúbico fabricado, es por esto, que, para identificar este valor, se mide la altura que se alcanza a llenar en el metro cúbico, por sus cuatro caras, tomando el promedio de estas cuatro medidas tomada. Debido a que el área basal del metro cúbico es 1 m^2, el volumen estimado sería la multiplicación de este factor por la altura promediada (Altura medida en metros).

Fabricación de Metro Cúbico, para Medir los Diferentes Formatos de Venta

El objetivo de fabricar un metro cúbico es tener una estructura, que sea capaz de resistir el peso de la leña depositada que cumpla los estándares establecidos por los métodos de ventas de leña más común en la región del Biobío y así poder estimar la cantidad de leña que se entrega según el formato de venta.

La estructura generada, consiste en un cubo de un metro de largo, un metro de ancho y un metro de alto, debido a que el formato de venta más común se basa en esta unidad de medida.

En la zona de Cañete el tipo venta más común es el metro lineal, el cual consiste en generar dos filas de leña, de un metro de largo y un metro de alto, siendo el ancho variable según las medidas que posean las astillas vendidas, medidas que pueden ser estimadas en la estructura creada.

Figura N° 9. Metro cúbico fabricado para estimación de volumen en diferentes formatos de venta

Figura N° 10. Producción de astillas para obtención de su número según la dimensión del árbol y especie, y disposición en unidad de comercialización para conteo final del número de astillas en este formato de venta y evaluar a cuanto equivale un árbol en metros cúbicos

Se procedió a disponer las astillas en el metro cúbico, ordenado o en forma desordenada, y posteriormente se contaron para evaluar a cuánto equivale un árbol en metros cúbicos y metros cúbicos estéreos.

Figura N° 11. Contabilización de Leña y conversión a m³ estéreo ordenado y desordenado

RESULTADOS

Construcción Base de Datos

Se realizó la colecta de datos para la realización del estudio comenzando en un rodal de *Eucalyptus nitens* establecido en el sector "El Boldo", comuna de Mulchén, siguiendo con las especies *Eucalyptus globulus* y *Acacia dealbata*.

Estas tres especies fueron seleccionadas porque en la región del Biobío son las más frecuentemente utilizadas como leña. Con esta información se genera una base de datos para el modelo de estimación.

Para ello, se seleccionaron árboles existentes en el rodal y se realizaron en cada uno mediciones de:

- Diámetro basal
- DAP
- Altura del árbol
- Altura hasta el diámetro 8 cm.
- Edad del rodal

Los árboles son seleccionados según la distribución diamétrica existente en el rodal, intentando obtener muestras representativas de la distribución de frecuencia del DAP.

La Norma NCh 2907 establece las especificaciones técnicas para la elaboración de leña a ser comercializada, la cual señala:

- La astilla no puede superar los 15 cm diámetro dentro en la base de la astilla.

- Cada astilla debe tener un largo de 30 cm.

Por ello, el proceso contempla la cosecha del árbol seleccionado, con un primer corte a los 20 cm. Una vez el árbol es volteado, se realizan cortes con motosierra cada 30 centímetros para obtener trozas para leña, hasta alcanzar el lugar donde el diámetro del árbol sea de 8 cm.

Posteriormente se procede a contabilizar el total de trozas de 30 cm por árbol.

Una vez obtenidas las trozas para leña, cada una de ellas es procesada en la partidora hidráulica, de manera de obtener las astillas basada en la métrica definida por la norma chilena. Con este proceso es posible generar el valor del número de astilla de leña a obtener por árbol.

Una vez obtenidas las astillas, estas se disponen en un cubículo con una capacidad de 1 metro cúbico para evaluar a cuánto equivale un árbol en metros cúbicos y metros cúbicos estéreos, dado que estos son los principales formatos de comercialización establecido, además de las astillas a granel.

Los resultados iniciales obtenidos se presentan en el Cuadro N° 2.

Cuadro N°2.
Resultados estudio productividad en leña

Nº árbol	Especie	Localidad	D. basal (cm)	DAP (cm)	Altura 8 cms (m)	Altura total (m)	Nº de basas	Nº de astillas	m^3 desordenado	m^3 ordenado	$(DAP^2)*h$
1	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	30,5	24	19,5	23,3	64	217	0,72	0,81	21.674,83
2	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	32	25,5	20,35	24,7	68	241	0,695	0,85	25.292,80
3	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	38	28,8	20,22	24,2	66	259	1,17	0,94	34.944,80
4	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	31,8	23,4	21,36	23,68	66	196	0,84	0,625	23.946,16
5	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	35	25,8	21,8	25,3	69	229	0,91	0,71	30.992,50
6	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	32,7	26,1	22,43	25,2	73	277	1,1	0,83	26.946,11
7	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	32,6	23,7	19,25	22,47	63	193	0,797	0,58	23.880,22
8	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	36,6	29,2	21,3	24,6	69	286	1,22	0,87	32.953,18
9	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	34,2	28,3	22,6	26,7	73	292	1,17	0,89	31.229,39
10	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	33,4	26,2	21,5	26,1	69	192	0,83	0,65	29.116,12
11	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	32,5	26,3	22	26,3	73	281	1,13	0,92	27.779,38
12	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	31,9	25,7	21,8	25,1	72	271	1,09	0,87	25.542,01
13	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	28,2	22,6	21,2	26,4	70	258	1,02	0,86	20.994,34
14	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	31	26,9	21,6	24	72	261	1,02	0,84	23.064,00
15	*E. nitens*	Mulchen, "El Boldo"	33	27,2	22,7	25,9	75	276	1,1	0,96	28.205,10
16	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	41	35,9	22,4	26,75	74	335	1,9	1,5	44.966,75
17	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	36,3	30,9	20,9	25,8	114	336	1,78	1,28	33.996,40
18	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	37	30,1	15,1	18,5	71	233	1,1	0,825	25.326,50
19	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	30,5	25	17,16	21,65	60	213	0,84	0,65	20.139,91
20	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	29,5	24,8	18	23,4	54	193	0,82	0,38	20.363,85
21	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	24,8	20,2	16,3	21,9	44	133	0,54	0,37	13.469,38
22	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	25,2	21,9	13,2	18,2	52	112	0,48	0,29	11.557,73
23	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	32,8	23,9	11,1	17,4	61	162	0,73	0,57	18.719,62
24	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	33,4	24,7	16,75	19,65	56	189	0,66	0,54	21.920,75
25	*E. globulus*	Mulchen, "El Boldo"	38,5	28,4	16,02	18,6	51	231	0,809	0,599	27.569,85
26	*E. globulus*	Copiulemu	26,1	20,3	13,7	16,68	41	141	0,43	0,38	11.362,58
27	*E. globulus*	Copiulemu	29,1	23,6	14,5	19,8	44	156	0,65	0,47	16.766,84
28	*E. globulus*	Copiulemu	37,3	27,1	17,8	23,9	55	220	0,94	0,94	33.251,83
29	*E. globulus*	Quillón	36,9	30	19,32	24,12	62	262	1,29	1,1	32.842,03
30	*E. globulus*	Quillón	29,6	23,6	13,68	19,1	48	142	0,41	0,59	16.734,66
31	*E. globulus*	Quillón	19,4	16,2	10,5	16,1	35	63	0,2	0,28	6.059,40
32	*E. globulus*	Quillón	17,7	14,6	7,7	14,2	26	41	0,1	0,13	4.448,72
33	*E. globulus*	Quillón	32,5	27,1	17,75	21,69	58	230	1,04	0,86	22.910,06
34	*E. globulus*	Quillón	27,9	23,4	15,2	20,47	50	154	0,65	0,38	15.934,05
35	*E. globulus*	Quillón	34,8	27,3	17,12	20,77	57	201	0,73	0,6	25.153,30
36	*A. dealbata*	Mulchen, "El Boldo"	34,5	28	18,3	23,3	61	201	0,77	0,47	27.732,83
37	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	27,2	23,7	25,8	30,3	69	311	1,15	0,93	22417,152
38	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	26,9	25,4	24,6	30,1	76	300	1	0,75	21780,661
39	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	33,5	27	24,9	30,4	116	398	1,52	1,22	34116,4

Nº árbol	Especie	Localidad	D. basal (cm)	DAP (cm)	Altura 8 cms (m)	Altura total (m)	Nº de basas	Nº de astillas	m³ desordenado	m³ ordenado	(DAP²)*h
40	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	25,5	20,2	18,1	26	56	189	0,62	0,49	16906,5
41	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	34,6	29,7	25,1	31,2	62	379	1,44	1,06	37351,392
42	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	24,3	20	19	23,8	63	126	0,31	0,12	9520
43	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	22,8	19,2	20,8	26,1	69	147	0,4	0,14	9621,504
44	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	24,6	20,2	18,1	23,6	60	189	0,57	0,39	9629,744
45	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	22,8	21	21,2	26,5	71	219	0,63	0,468	11686,5
46	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	27,2	22,3	22,3	27,9	74	297	0,68	0,45	13874,391
47	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	27	23,1	23,2	27,4	77	291	0,66	0,45	14620,914
48	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	26,5	23,5	21,5	27,1	71	302	0,93	0,71	14965,975
49	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	29	23,7	26,8	32,1	89	311	0,97	0,71	18030,249
50	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	28,2	24,4	22,8	27,6	78	321	1,05	0,81	16431,936
51	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	31	25,4	24,6	29,6	82	300	0,95	0,76	19096,736
52	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	30	26,4	22,8	27,1	78	307	1,24	1,09	18887,616
53	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	33,6	27	24,9	28,8	83	398	1,56	1,33	20995,2
54	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	32,3	28	18,3	23,6	78	201	0,71	0,53	18502,4
55	*A. dealbata*	Rafael, Tomé	34,5	29,7	25,1	30	83	379	1,32	1,1	26462,7

Nota: DAP: Diámetro medido a 1,3 m de altura (cm)
H: Altura total del árbol (m)

La relación entre la productividad en número de astillas por árbol según el DAP o el Índice de Biomasa entre las distintas especies, se presenta en los siguientes gráficos.

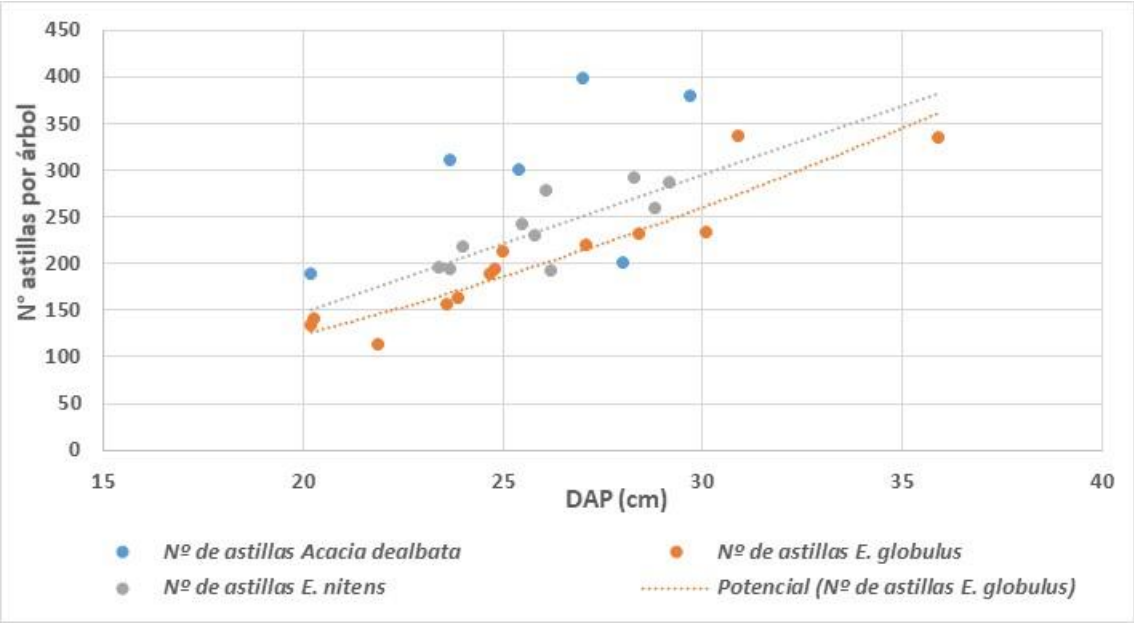


Figura N° 12. Productividad en astillas según DAP y especie

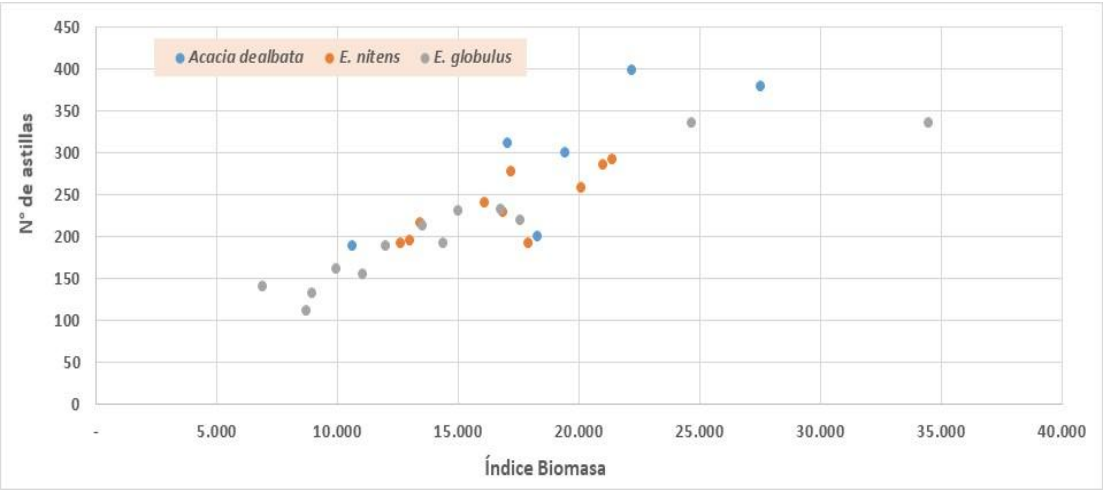


Figura N° 13. Productividad en astillas según Índice de Biomasa

A partir de los gráficos anteriores, se destaca hasta el momento el mayor aporte en número de astillas por árbol registrado en la especie *Acacia dealbata*, tanto al observar los resultados según el DAP del árbol, o bien utilizando el Índice de Biomasa que es una combinación del diámetro y de la altura.

Al analizar la relación entre el DAP de los árboles y su altura según especie, se genera el siguiente gráfico.

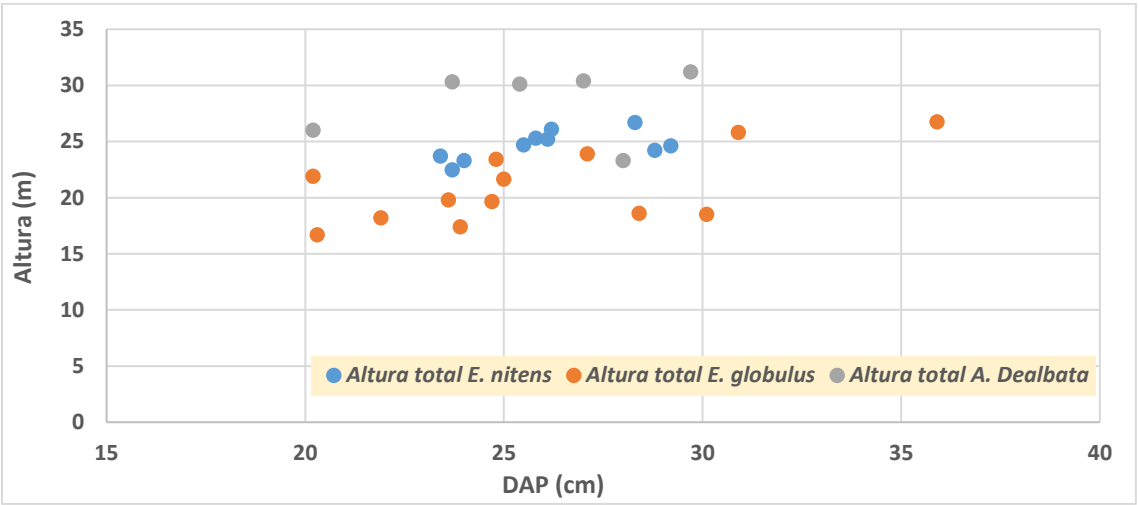


Figura N° 14. Relación DAP-Altura según especie

Del gráfico anterior se destaca que a similares valores del DAP la altura de los árboles de la especie *Acacia dealbata* es mayor. Se observa que el efecto del diámetro afecta positivamente en la cantidad de astillas generadas por el árbol, lo que se observó en los gráficos anteriores. Considerando la cantidad de m^3 estéreos obtenidos desde cada árbol según sus dimensiones, es posible generar el siguiente gráfico.

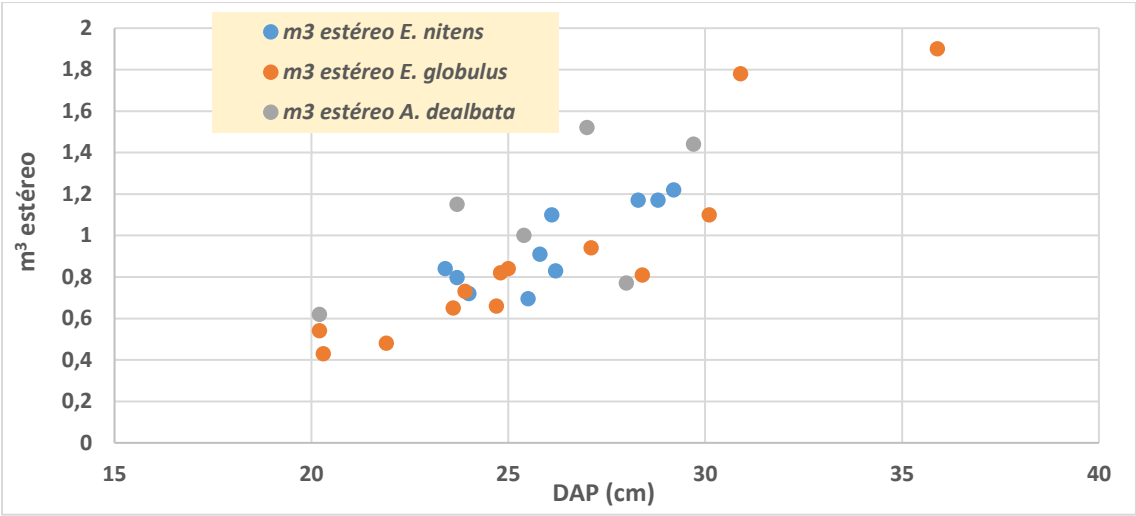


Figura N° 15. Relación DAP-Altura según especie

Del gráfico anterior se destaca que a similares valores del DAP la cantidad de m^3 estéreos obtenidos desde cada árbol según sus dimensiones sigue siendo superior para la especie *Acacia dealbata*.

Se observa que a mayores DAP la especie *Eucalyptus globulus* genera un mayor valor en volumen. Este resultado se debe seguir siendo estudiado de modo de generar la información requerida.

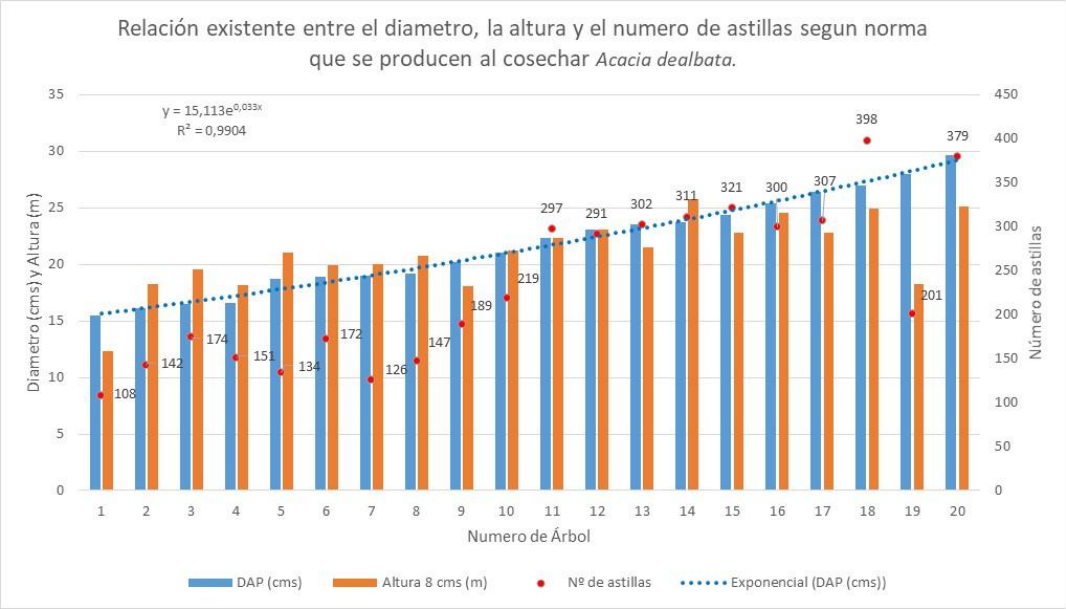


Figura N° 16. Distribución de diámetros y alturas en *Acacia dealbata*

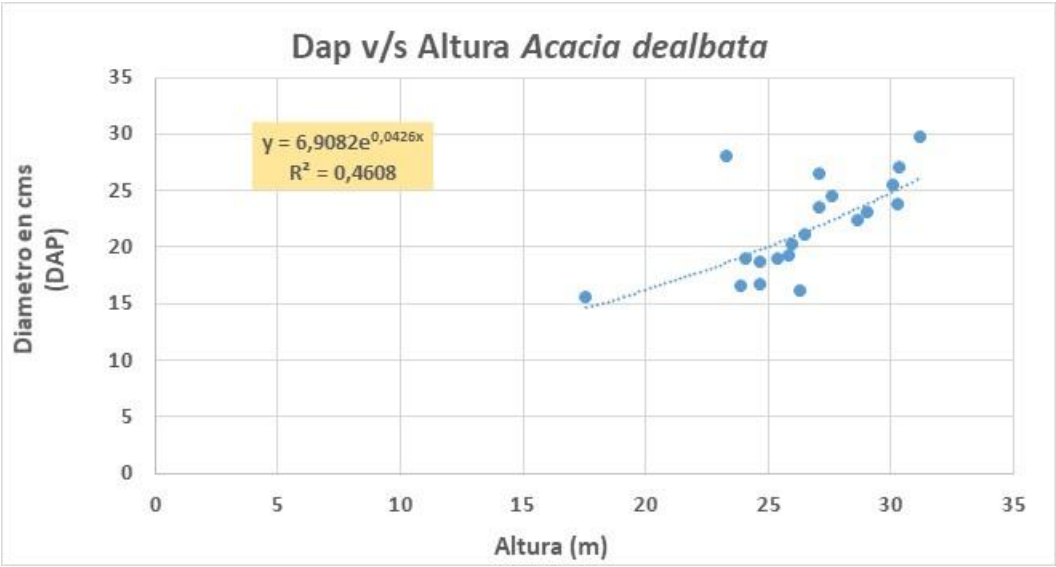


Figura N° 17. Relación diámetro-altura en *Acacia dealbata*

De los gráficos anteriores se destaca el valor de la altura de los árboles de *Acacia dealbata*, siendo similares a los de las especies de eucalipto utilizadas. Ello señala el potencial de la especie en cuanto al volumen potencial a obtener, confirmando los valores superiores de esta especie.

Modelos de Estimación del Número de Astillas

Con la información recolectada se desarrollan modelos matemáticos para realizar la estimación del número de astillas para leña a obtener según medidas del árbol y su especie. Los resultados según especie se presentan a continuación.

- ***Eucalyptus globulus***

El modelo generado a partir de los datos recolectados corresponde a:

$$y = 0{,}0072x + 41{,}316$$

$R^2 = 0{,}9062$

Donde: Y: Número de astillas
x: índice Biomasa (DAP^2*H)
DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)
H: Altura total (m)

El resultado de la aplicación del modelo y su relación con la base de datos original se presenta en el siguiente gráfico.

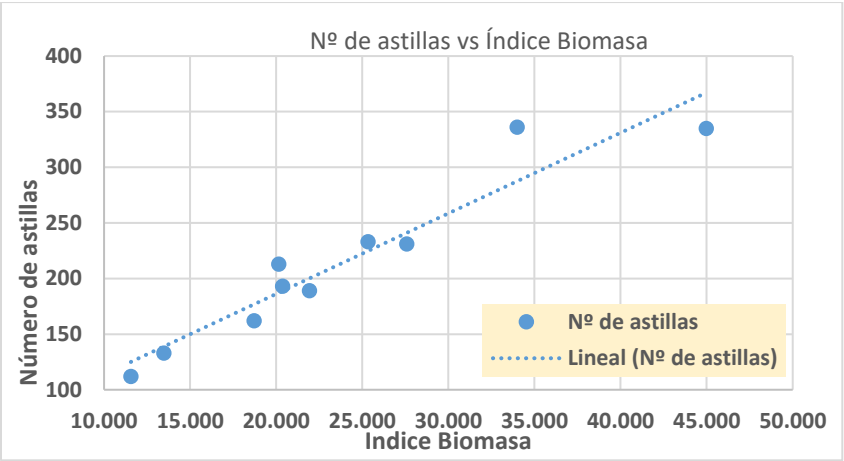


Figura N° 18. Modelo de estimación del número de astillas según Índice de Biomasa para la especie *Eucalyptus globulus*

El mismo análisis utilizando el DAP de los árboles generó el siguiente resultado.

$$y = 14{,}844x - 180{,}86$$

$R^2 = 0{,}8666$

Donde: Y: Número de astillas
x: DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)

El resultado de la aplicación del modelo y su relación con la base de datos original se presenta en el siguiente gráfico.

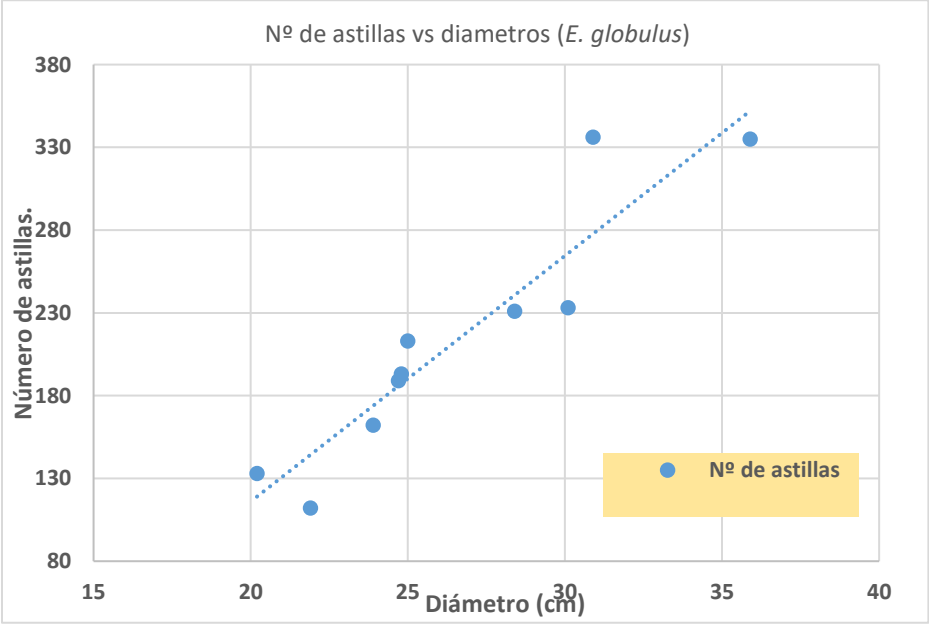


Figura N° 19. Modelo de estimación del número de astillas según DAP (cm) para la especie *Eucalyptus globulus*

Eucalyptus nitens

Al analizar el resultado según el Índice de Biomasa del árbol se genera el siguiente modelo.

$$y = 0{,}0052x + 90{,}813$$

$R^2 = 0{,}3539$

Donde: Y: Número de astillas
x: índice Biomasa (DAP^2*H)
DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)
H: Altura total (m)

El resultado de la aplicación del modelo y su relación con la base de datos original se presenta en el siguiente gráfico.

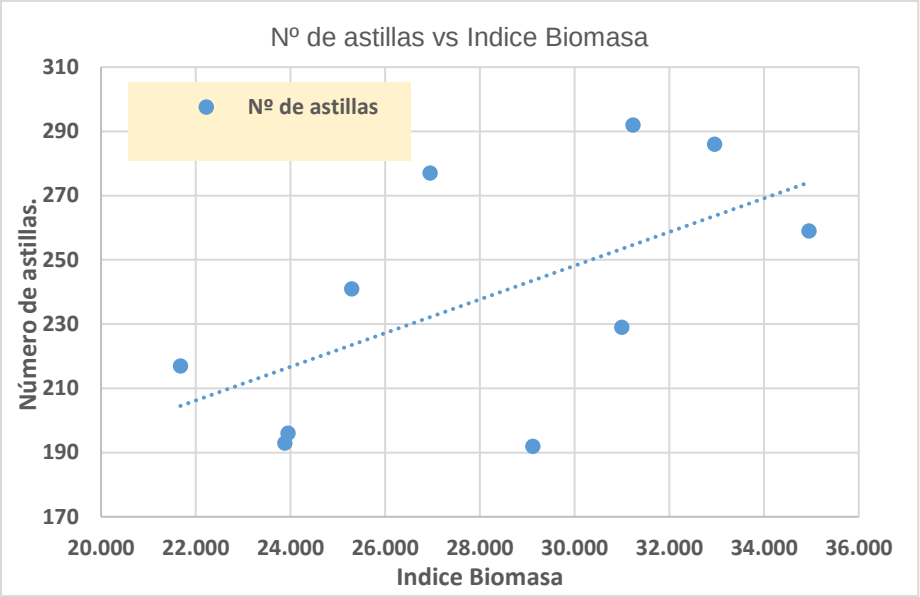


Figura N° 20. Productividad en astillas según Índice de Biomasa del árbol de *Eucalyptus nitens*

El mismo análisis utilizando el DAP de los árboles generó el siguiente resultado.

$$y = 14{,}778x - 147{,}51$$

$R^2 = 0{,}636$

Donde: Y: Número de astillas
x: DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)

El resultado de la aplicación del modelo y su relación con la base de datos original se presenta en el siguiente gráfico.

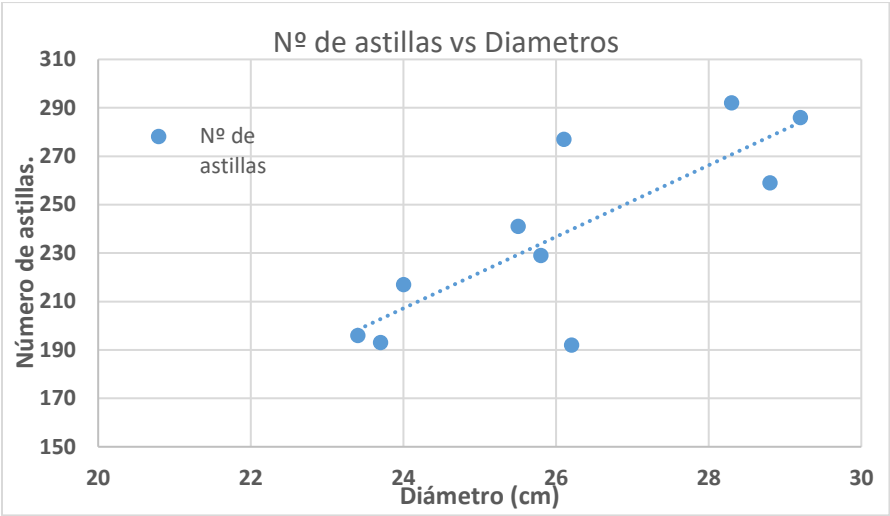


Figura N° 21. Modelo de estimación del número de astillas según DAP (cm) para la especie *Eucalyptus nitens*

Acacia dealbata

Al analizar el resultado según el Índice de Biomasa del árbol se genera el siguiente modelo.

$$y = 186{,}22Ln(x) - 1575{,}5$$

$R^2 = 0{,}79$

Donde: Y: Número de astillas
x: índice Biomasa (DAP^2*H)
Ln: Logaritmo natural
DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)
H: Altura total (m)

El resultado de la aplicación del modelo y su relación con la base de datos original se presenta en el siguiente gráfico.

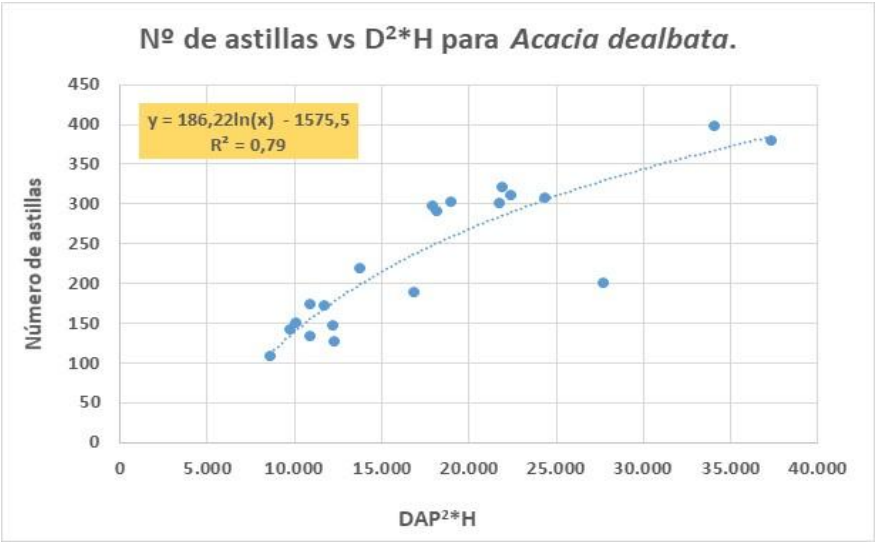


Figura N° 22. Productividad en astillas según Índice de Biomasa del árbol de *Acacia dealbata*

El mismo análisis utilizando el DAP de los árboles generó el siguiente resultado.

$$y = 18{,}15x - 158{,}55$$

$R^2 = 0{,}7163$

Donde: Y: Número de astillas
x: DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)

El resultado de la aplicación del modelo y su relación con la base de datos original se presenta en el siguiente gráfico.

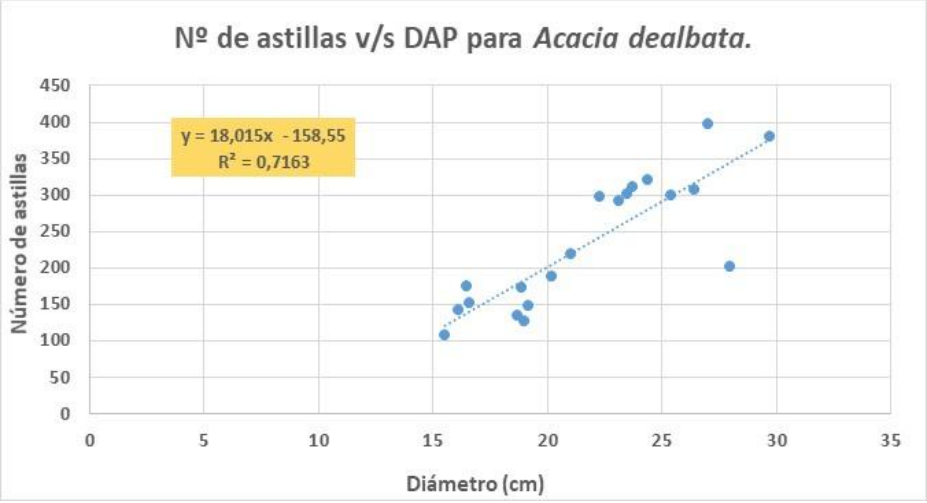


Figura N° 23. Modelo de estimación del número de astillas según DAP (cm) para la especie *Acacia dealbata*

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se desarrolló un estudio para apoyar requerimientos del sector de los productores de leña en lo que se refiere a la estimación de la producción de leña a partir de un árbol o rodal, considerando generar herramientas que permitan obtener el número de astillas desde un árbol y especie según sus dimensiones.

Esto en el marco de la nueva ley que normará la producción y comercialización de biocombustibles y de la permanente necesidad de aumento de la productividad y eficiencia económica de estos productores.

Se desarrolla el estudio en la región del Biobío y tiene por objetivo cuantificar la cantidad de astillas a obtener por árbol según especie y condición de crecimiento.

Se consideran las especies más empleadas en la zona; *Eucalyptus globulus, Eucaliptus nitens y Acacia dealbat, dada* la demanda que enfrentan en la región para su uso como leña por parte de los consumidores.

Se seleccionan rodales y árboles desde donde obtener la cantidad total de astillas necesarias para el estudio y se consideran las características exigidas por la Norma Chilena 2907 / 2005 para este producto

La recolección de datos se efectúa a partir del volteo de árboles de las especies mencionadas, su trozado y la producción de astillas de leña para determinar los rendimientos y sus equivalencias en volúmenes de interés.

Los resultados obtenidos son importantes antecedentes acerca de la productividad como leña de estas especies según su crecimiento.

Destaca la productividad de la especie *Acacia dealbata,* la que en general, a similares variables del árbol (DAP, altura), ofrece una mayor cantidad de astillas según la norma 2907, lo cual se puede observar en el siguiente gráfico.

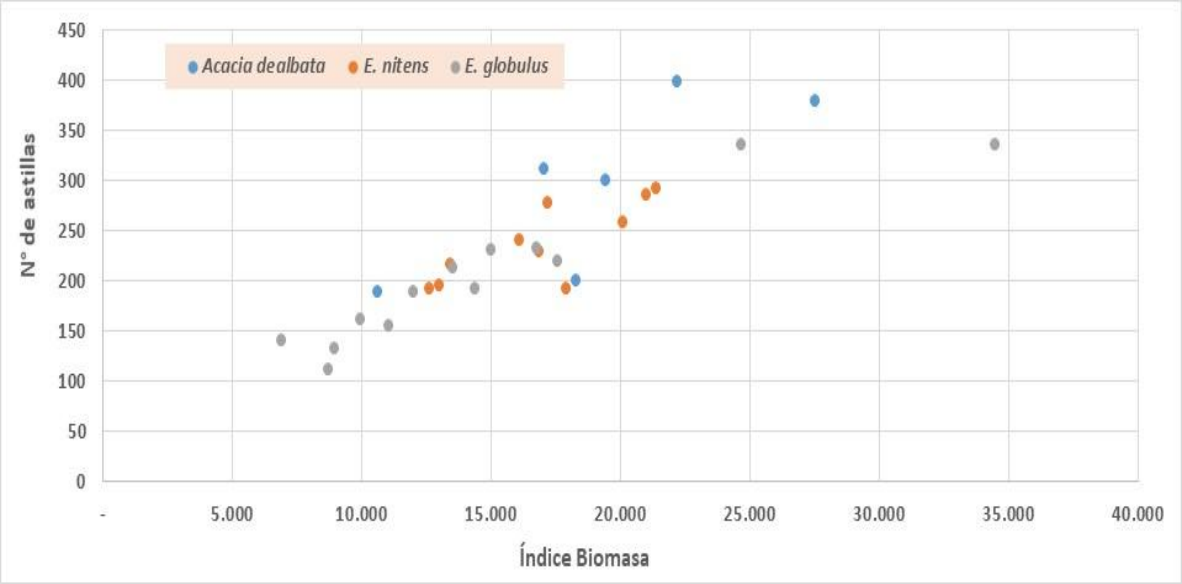


Figura N° 24. Productividad en astillas según Índice de Biomasa

Los resultados en cuanto al número de astillas según especie se presentan en el siguiente cuadro

Cuadro N°3.
Resumen de resultados obtenidos en la estimación del número de astillas por árbol según especie y formato

Especie	Variable	Valor Medio	Valor Mínimo	Valor Máximo
A. dealbata	Nº de astillas	296	189	398
E. globulus	Nº de astillas	204	112	336
E. nitens	Nº de astillas	238	192	292
A. dealbata	m^3 ordenado	0,82	0,47	1,22
E. globulus	m^3 ordenado	0,68	0,29	1,50
E. nitens	m^3 ordenado	0,78	0,58	0,94

Nuevamente destaca el mayor valor generado en *Acacia dealbata*, tanto para el número de astillas como para el m^3 ordenado. En el caso del número de astillas, esta especie presenta el valor máximo registrado. Durante el estudio se generan modelos para la estimación del número de astillas por árbol según variables del árbol y especie, resultados que se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro N°4
Modelos generados para estimación del número de astillas por árbol según especie y variables

Especie	Modelo	Variables	R^2 (*)
Eucalyptus globulus	**y = 0,0072x + 41,316**	Y: Número de astillas x: índice Biomasa (DAP^2*H) DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm) H: Altura total (m)	0,9062
	y = 14,844x - 180,86	Y: Número de astillas x: Diámetro a la altura del pecho (cm)	0,8666
Eucalyptus nitens	**y = 0,0052x + 90,813**	Y: Número de astillas x: índice Biomasa (DAP^2*H) DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm) H: Altura total (m)	0,3539
	y = 14,778x - 147,51	Y: Número de astillas x: Diámetro a la altura del pecho (cm)	0,636
Acacia dealbata	**y = 186,22Ln(x) – 1575,5**	Y: Número de astillas x: índice Biomasa (DAP^2*H) Ln: Logaritmo natural DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm) H: Altura total (m)	0,79
	y = 18,15x - 158,55	Y: Número de astillas x: Diámetro a la altura del pecho (cm)	0,636

(*): Coeficiente de determinación, valor que determina la calidad del modelo y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo.

Del cuadro anterior se concluye que para las especies utilizadas el uso del DAP permitiría estimar la cantidad de astillas según la norma factible de obtener a partir de un árbol.

Además, se observa a través de este estudio que es posible desarrollar este tipo de investigación en terreno y generar la información demandada por el sector forestal y el de la energía.

Es necesario seguir desarrollando este tipo de estudios a fin de generar herramientas útiles para productores de leña y quienes se relacionan con este sector, de modo de contar con mayores y mejores antecedentes en beneficio del sector. Ello implica el desarrollo de herramientas digitales para la utilización de los modelos en forma sencilla, por ejemplo, a través de un celular.

Se requiere, además, aumentar el número de árboles y especies para la validación del modelo y utilizar también, especies nativas en este tipo de análisis.

RECONOCIMIENTOS

INFOR y los autores agradecen al Fondo de Innovación y Competitividad de la Región del Biobío (FIC-R) del Gobierno Regional del Biobío, por el apoyo a la ejecución del “Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobío”, en cuyo marco se generó esta publicación.

REFERENCIAS

CONAF (2024). Caracterización de acopios de leña 2023. Unidad de Dendroenergía. Gerencia de Conservación de Ecosistemas Boscosos y Xerofíticos. Corporación Nacional Forestal, CONAF. Ministerio de Agricultura. Febrero 2024. 36p.

INN (2005). NCh2907:2005 Combustible sólido - leña - Requisitos

MEN (2024). Ley N° 21499 Regula los Biocombustibles Sólidos. Ministerio de Energía. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1183783

Pinilla Suárez, J., García Inostroza J., Navarrete Ulloa F., Casanova del Río K., Navarrete Torres M., Luengo Vergara, K. (2024). Reporte interno precio de la leña en la región del Biobío. Reporte de proyecto.

Pinilla, J.C.; Luengo, K.; Navarrete, M.; Navarrete, F.; García, J. y Casanova, K. (2024). Programa FIC-R Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobio. Instituto Forestal (INFOR), Sede Biobío, Concepción. Documento interno de trabajo de proyecto.

INFOR

www.infor.cl