



APUNTE

Salicáceas como opción bioenergética para la Patagonia Aysenina.

Juan Pinilla Suárez¹; Xiomara Gélvez Pelaez²; Jaime Salinas Sanhueza² & Bernardo Acuña Aroca².

¹ Instituto Forestal, sede Biobío, Chile. jpinilla@infor.cl

² Instituto Forestal, sede Coyhaique, Chile.

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.600>

Recibido: 17.12.2023; Aceptado 25.03.2024.

RESUMEN

La utilización eficiente de la biomasa forestal en procesos de generación de energía es una de las líneas de trabajo del Instituto Forestal, caracterizando especies adaptadas a distintas situaciones de crecimiento y de una productividad que permitan su utilización en la generación de energía. Esto es particularmente importante para el área de la Patagonia Aysenina, debido a la dependencia de la leña como fuente de calefacción y a la creciente necesidad de abastecimiento de biomasa para energía. Se realizó una búsqueda de información actualizada acerca de especies de Salicáceas con uso potencial como Biocombustibles en la zona de interés, obteniendo antecedentes de crecimiento y biomasa. Los resultados generales indican que estas especies son interesantes alternativas para generar centros de ofertas de biomasa para su uso en energía, situación que obedece a su adaptación a las zonas analizadas, la experiencia existente y especialmente, por los requerimientos de los habitantes de Coyhaique y Patagonia chilena por satisfacer sus requerimientos de energía a nivel domiciliario en beneficio de su bienestar. La importancia de estas especies se incrementa en el nuevo escenario normativo, el cual define a la leña como un biocombustible, y le exige determinados requisitos para su producción y comercialización. Para contribuir a la oferta de biomasa destinada a la producción de energía, abordando temáticas de silvicultura y mejoramiento genético de las salicáceas abordadas en este artículo, se requiere ampliar su estudio en las zonas de interés.

Palabras clave: Salicáceas, Energía, Coyhaique, Leña, Biomasa, Patagonia.

SUMMARY

The efficient use of forest biomass in energy generation processes is one of the lines of work of the Forestry Institute, characterizing species adapted to different growth situations and productivity that allow their use in energy generation. This is particularly important for the *Patagonia Aysenina* area, due to the dependence on firewood as a heating source and the growing need to supply biomass for energy. A search was carried out for updated information about Salicaceae species that could have potential for use as Biofuels in the area of interest, obtaining growth and biomass history. The general results indicate that these species are interesting alternatives to generate biomass supply centers for use in energy, given their adaptation to the areas analyzed, the existing experience and especially, the requirements of the inhabitants of Coyhaique and Chilean Patagonia. satisfy your energy requirements at home level for the benefit of your well-being. This is even more so when there is a new regulatory scenario that defines Firewood as Biofuels, which requires it to comply with requirements for its production and commercialization. It is necessary to expand these studies in the area of interest to contribute to the supply of biomass for use in energy, addressing forestry issues and appropriate genetic improvement for potential species.

Keywords: Salicaceae, Energy, Coyhaique, Firewood, Biomass

INTRODUCCIÓN

Se entiende biomasa como toda materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueda ser convertida en energía. La biomasa, particularmente de origen forestal, ha permitido el desarrollo acelerado de tecnologías de recolección, transformación y combustión, estando ya en un nivel relativamente dominado. En Chile, la biomasa se emplea principalmente para la producción de energía calórica (térmica) y energía eléctrica, ya sea mediante su uso como leña, astillas, pellet y en plantas de cogeneración que se abastecen de los residuos de los procesos industriales (licor negro, corteza, otros), generando la energía que demanda el funcionamiento de su industria y vendiendo los excedentes al SIC (Sistema Interconectado Central) de la red de distribución eléctrica nacional.

Uno de los componentes de la investigación tecnológica forestal que busca alternativas energéticas para las distintas zonas en Chile, corresponde a la identificación de especies forestales que pueden ser utilizadas en generación de biomasa para energía, incluyendo en ello a las plantaciones bioenergéticas. Estas plantaciones se han considerado las más eficientes para el abastecimiento de plantas generadoras de energía a partir de biomasa y son ampliamente usadas en España, Estados Unidos, Inglaterra, Suecia, Nueva Zelanda, Alemania y Brasil, entre otros, para la generación de energía térmica y eléctrica. Su característica principal es que se establecen con especies forestales de rápido crecimiento y corta rotación.

Según el Observatorio de Biocombustibles de INFOR, el año 2019 se estimó para la Región de Aysén un consumo cercano a los 441.711 m³, distribuidas aproximadamente entre 30.800 viviendas urbanas (99% del total de viviendas) y 9.67 viviendas rurales (100%)¹.

Reyes *et al.* (2021) señalan que el 80% del consumo total de energía en la región proviene de la leña, con un aumento en su consumo, llegado a los 456 m³ sólidos/año (64% urbano y 36% rural). En áreas urbanas, el 82% de las viviendas consumen leña a un promedio de 14 m³ sólidos/vivienda/año, y en áreas rurales el 99% de las viviendas consumen leña a un promedio de 21 m³ sólidos/vivienda/año.

Los mismos autores mencionan que la comuna de Coyhaique concentra el 44% del consumo regional de leña, y destacan la incorporación del pellet y el efecto del Plan de Descontaminación Atmosférica implementado en Coyhaique, como factores que han motivado una reducción del consumo de leña.

En cuanto a las especies utilizadas como leña en el sector residencial urbano, esta proviene principalmente de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.)). Las especies utilizadas para este fin y el volumen de participación de cada una de ellas se resume en la **Cuadro 1**. El consumo anual de leña por comuna y diferenciado por especies se detalla en la **Cuadro 2**.

Cuadro 1. Consumo de leña y composición según especie forestal.

Especie	Volumen (m3 sólidos/año)
Lenga	239.536
Ñirre	38.224
Coigüe	15.896
Tepa	9.394
Tepú	1.002
Otras nativas	93.711
Pino	4.512
Otras exóticas	2.204
No sabe	22.578

(Fuente: Reyes *et al.*, 2021)

¹

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoib2JmNTVmZTA0NjRhYy00NmE4LWI1NzktYmFIYWExMTAxODUwliwidCI6IjcwZTI3NDhjLTAzN2MtNDIiZi05N2RkLTl0ODAxYTc2ZmFIYSIsImMiOiJ9&pageName=ReportSection>

Cuadro 2. Consumo de leña por comuna y composición según especie forestal (m³ sólidos/año).

Especies	(m ³ sólidos/año)					
	Coyhaique	Aysén	Cisnes	Guaitecas	Cochrane	Chile Chico
Lenga	117.304	93.100	2.780		12.337	14.105
Nirre	20.890	2.051	4.726		6.169	4.408
Coigüe		12.116	1.946		1.393	441
Tepa			9.174			220
Tepú				1.002		
Otras nativas		11.917	7.784	73.349		661
Pino	1.607	2.627	278			
Otras exóticas						2.204
No sabe	20.890	576	1.112			

(Fuente: Reyes *et al.*, 2021)

Como destacan diversos autores, casi el 100% de la leña que se consume en la región proviene de bosques nativos, no obstante, existe un potencial para la utilización de otras especies que han presentado una adecuada adaptación a las condiciones de la zona, destacando entre ellas a *Pinus ponderosa*, *Pinus contorta* y algunas especies de álamos y sauces.

El uso de la leña en la región de Aysén presenta diversos aspectos a analizar, incluyendo el adecuado manejo del bosque nativo para el suministro de biomasa en su formato de leña y su valor en el comercio, además del autoconsumo.

La leña presenta el menor valor respecto de otras opciones de calefacción, reconociéndose que, para el confort de los habitantes de las regiones australes, como Aysén, es una fuente de energía accesible y declarada como Biocombustible en la reciente Ley 21.499 de Biocombustibles Sólidos del Ministerio de Energía. En el caso específico de este Biocombustible, el nuevo escenario normativo fomentará y exigirá la producción y comercialización sólo de leña seca, la que deberá, entre otros requisitos, presentar un valor de su contenido de humedad inferior al 25%.

Atendiendo al interés y potencialidad que representan los álamos para la Región de Aysén y la Patagonia Chilena y Argentina, especialmente para su uso en calefacción domiciliaria y otros procesos energéticos, y atendiendo también a la diversidad de características de estos territorios, se realizó una recopilación de antecedentes de Salicáceas como opciones bioenergéticas para la región de Aysén.

ANTECEDENTES GENERALES

Los álamos juegan un rol importante en la mejora y conservación del ambiente, especialmente en la protección de cuencas y cultivos, en la remediación de aguas y suelos contaminados, y en el balance de dióxido de carbono (Wang *et al.*, 1999; Schultz *et al.*, 2000; Isebrands & Karnosky, 2001; Pilipovic *et al.*, 2006). Estos árboles se pueden encontrar en bosques nativos del hemisferio norte, así como en plantaciones en latitudes templadas de ambos hemisferios, en cortinas o pequeños grupos de árboles o en sistemas silvopastorales (Dickmann, 2006; Pincemin *et al.*, 2007). Su madera es utilizada en la industria del aserrío, debobinado, celulosa, tableros de fibras y partículas y biomasa con fines energéticos (Zsuffa *et al.*, 1996; Dickmann, 2001; Dillen *et al.*, 2010). También se ha destacado el beneficio económico del cultivo agrícola entre hileras de álamos, determinando tipos y secuencias de estos que incrementan la rentabilidad de la especie mediante la utilización plena del sitio durante los primeros años de plantación.

Según Cornejo (2016) en suelos adecuados los álamos presentan un gran potencial para el mercado energético. La superficie de plantaciones comerciales de álamos en Chile ha disminuido, pero a la vez existe un mayor conocimiento técnico de las variedades y cultivares de estas especies, como también de

modelos silvícolas para diferentes objetivos de producción industrial y para calefacción como energía limpia (Serra *et al.*, 2002; Zamudio *et al.*, 2008).

Los álamos tienen gran facilidad para propagarse vegetativamente (clonación), lo que mediante una adecuada selección permite obtener individuos con mejor adaptación al medio, mayor resistencia a las enfermedades o insectos y mayores rendimientos en volumen (FAO, 1980). Se menciona que la introducción de híbridos y cultivares de la especie involucra ventajas económicas que mejoran la rentabilidad del negocio forestal como consecuencia del rápido crecimiento y la corta rotación, y se incorporan ventajas sociales al brindar nuevas alternativas a los pequeños y medianos propietarios.

Luquez *et al.* (2022) destacan la importancia de álamos y sauces para la producción de energía, indicando que tienen una alta productividad de biomasa leñosa sólida en sistemas de alta densidad y corta rotación (2 a 12 años). Estas son especies de crecimiento rápido, que se pueden propagar vegetativamente a partir de estacas leñosas, toleran elevadas densidades de plantación, tienen la capacidad de rebrotar luego del corte y, además, hacen parte de los cultivos bioenergéticos más prometedores para las zonas de clima templado (Keoleian & Volk, 2005).

Existen dos modelos principales de producción de biomasa para generación de energía: Silvicultura de Rotación Media (MRF *Medium Rotation Forestry*) y Silvicultura de Rotación Corta (SRC *Short Rotation Coppice*). Los sistemas MRF consisten en densidades de plantación de 400-2.200 plantas por hectárea y rotaciones entre 6 y 12 años, de acuerdo a las condiciones ambientales del sitio de plantación y al genotipo utilizado. Estos sistemas tienen menor producción que los SRC, sin embargo, proporcionan la opción de obtener, además, productos como pulpa o madera (Baettig *et al.*, 2010; Buchman *et al.*, 2020; Niemczyk, 2021).

El sistema SRC tiene una densidad de plantación entre 5.000 y 20.000 plantas por hectárea, un tiempo de rotación de 2 y 4 años y puede permanecer productivo por al menos 20 años, siendo utilizadas las mayores densidades para los sauces que para los álamos (Keoleian & Volk, 2005, Baettig *et al.* 2010). Los sistemas SRC deben contemplar un corte en el primer año que elimine la tendencia de un tallo dominante, con la finalidad de estimular la brotación de las yemas laterales y la producción de múltiples tallos por planta (Karp & Shield, 2008). Una recomendación para los sistemas de altas densidades de plantación es utilizar al menos 5 genotipos diferentes, evitando plantaciones monoclonales para reducir el riesgo de infecciones por hongos patógenos y otras adversidades bióticas (Luquez *et al.*, 2022).

Para la implementación de alguno de estos sistemas, se debe tener en cuenta que existe una gran diversidad de genotipos, los cuales deben ser seleccionados de acuerdo a las condiciones ambientales de los sitios de plantación, para que la producción de biomasa y el contenido de humedad sean los más adecuados para la producción de energía. Por ejemplo, una desventaja de las Salicáceas es su alta demanda hídrica (Rodríguez & Luquez, 2016), sin embargo, esta demanda varía ampliamente entre las distintas especies.

Wullschleger *et al.* (1998), menciona que el uso de agua de especies de sauces varió entre 106 y 140 Kg/día, mientras que para *Populus trichocarpa* x *P. deltoides* fue de 51 y para *Populus x euroamericana* 109 Kg/día, señalando que en esta familia se presentan grandes diferencias y que sus especies no son las especies forestales con mayor demanda hídrica.

La selección de genotipos debe contemplar aquellas especies de álamos y sauces más tolerantes a las condiciones presentes en cada sitio donde se desean establecer, ya sea condiciones de sequía y o tolerantes al anegamiento de suelos, así como la exposición a climas templados. También se debe tener en cuenta las características deseadas: crecimiento rápido, rebrote vigoroso, tallos erectos, tolerancia a enfermedades y pestes, menor contenido de humedad a cosecha, menor cantidad de cenizas como resultado de la combustión, tolerancia a estreses abióticos, etc. Por lo cual, es necesario identificar los requerimientos y características de especies e identificar los sitios más adecuados para implementar un sistema MRF o SRC.

Luquez *et al.* (2022) indican que *Populus trichocarpa* fue el primer árbol cuyo genoma fue secuenciado, y actualmente están disponibles los genomas de 29 especies e híbridos de *Populus* y 3 especies de *Salix* (*Salix purpurea*, *S. suchowensis* y *S. viminalis*) (Almeida *et al.*, 2020).

Algunas de las mediciones realizadas en estudios en Argentina, encontraron rendimientos de 28 toneladas secas/ha año con *Populus x canadensis* en Mendoza y 45 toneladas secas/ha año con *S. matsudana x S. alba* en el sector “Los Arroyos” en Neuquén, en rotaciones de 2 años.

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que se establecen entre diferentes hongos del suelo y las raíces de las plantas. Los hongos les otorgan a las plantas mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes, protección contra patógenos, aumento de la resistencia a factores de estrés abiótico y biótico, y mejor capacidad de competir con otras plantas (Smith & Read, 2008; Brundrett & Tedersoo, 2018).

Un estudio de las micorrizas en la familia *Salicaceae*, en el periodo 2010-2020, en el hemisferio norte y sur fue efectuado por Aperlo *et al.* (2023). Las especies-híbrido más estudiadas fueron *P. tremuloides*, *P. deltoides*, *S. dasyclados* y *S. caprea*. En dicho documento se indica que la plasticidad y amplia distribución en ambientes diversos, de especies del género *Populus*, se podría vincular a la capacidad de desarrollar micorrizas arbusculares y ectomicorrizas (Quoreshi & Khasa, 2008; citado por Aperlo *et al.*, 2023). La aplicación de hongos micorrícicos constituye una herramienta biotecnológica innovadora para favorecer el establecimiento y desarrollo de diferentes clones.

Arquero y Davel (2017) llevaron a cabo ensayos de intensidad de poda en Neuquén y Río Negro con tres cultivares de *Populus x canadensis* ('Conti 12', '1-214' y 'Guardi'), de los cuales se obtuvo como recomendación aplicar podas que dejen entre el 25 y 50% de copa viva; aplicar la primera poda cuando los árboles más grandes del rodal alcanzan los 5 cm de DAP; y que los levantes de poda siguientes, se efectúen cuando los árboles más grandes alcancen un diámetro en la base de la copa viva de 8-9 cm. De esa forma se obtendría un DCD (diámetro del cilindro con defectos) constante, de entre 12 y 14 cm a lo largo de todo el fuste podado.

En la Región de Aysén, Riquelme *et al.* (2019) evaluaron dos ensayos de álamos (*Populus* spp.) en dos zonas agroclimáticas. En la zona húmeda estudiaron 20 clones, de los cuales los denominados Cima 2 y NM6, presentaron mayor crecimiento y supervivencia. En la zona intermedia se evaluaron 19 clones, de los cuales los clones Unal y árbol 9 tuvieron mejor productividad, en tanto que los clones árbol 9 y árbol 5 (que provenían de material recolectado cerca de la zona de estudio) tuvieron mayor supervivencia (80%). Los demás clones presentaron bajos desempeños en supervivencia y crecimiento, siendo el pH de la zona intermedia (ácido), un factor que pudo afectar la productividad y supervivencia de los clones evaluados.

Davel *et al.* (2015) sintetiza información de establecimiento de álamos y sauces en la Patagonia Argentina, señalando que estos han sido utilizados principalmente como cortinas cortaviento, las que a nivel local son relevantes en cuanto a producción de madera aserrada y leña, encontrándose 19.595 ha de suelo con plantaciones (Achinelli, 2006). En Chubut, Río Negro y Neuquén las cortinas de álamos y sauces aportaron el 84% de la madera extraída de plantaciones en el 2002.

Los mismos autores mencionan, además, que las salicáceas requieren gran disponibilidad de luz y suelos sueltos húmedos, de estructura granular, con elevada capacidad de retención de aire y de agua. Es ideal que los suelos tengan una textura franco arenosa, que sea profundo (2 m), con contenido de materia orgánica de 3 a 5% y que no sea arcilloso. El pH apropiado es de 6.5 a 7. Sin embargo, hay especies que pueden tolerar condiciones distintas a las mencionadas.

Álamos Criollos o Negros (*Populus nigra*)

Algunos autores han informado de diferentes especies de salicáceas para su uso en la zona, señalando que álamos criollos o negros (*Populus nigra* L., “Itálica”) resisten bien el frío, las heladas, la nieve y el viento. Ellos, junto al “álamo chileno” (*Populus nigra* “Thayssiana”) son ideales para la plantación de cortinas rompevientos a lo largo de las acequias y canales de riego (García, 2002; Serventi, 2011), indicándose además que el “álamo chileno” es de crecimiento más rápido (FAO, 1980). Para esta última

especie se mencionan dimensiones de 30 m de altura y 1 m de diámetro, con un gran crecimiento en etapa juvenil, capacidad de adaptarse a una amplia variedad de climas y suelos y facilidad para reproducirse por estacas (Menoyo *et al.*, 1994). Además, puede emplearse sin inconvenientes en zonas de ambiente más seco, como los valles patagónicos y Mendoza (Castiglioni *et al.*, 1960). En el caso de Argentina también presenta una gran adaptación, buenos crecimientos en los primeros años y buena multiplicación por estacas (Menoyo *et al.*, 1994; García, 2011). Se destacan las siguientes variedades:

- *Populus nigra* F-Blanc de Garonne (=cv Jean Pourtet).
- *Populus nigra* F-Vert de Garonne "Moissac"
- *Populus nigra* F-Vert de Garonne "Sehuil".
- *Populus nigra* F-Vert de Garonne "Naurduze".
- *Populus nigra* Vereken "Delion".

Álamos Carolinos o Deltoides (*Populus deltoides*)

En Argentina se señala que estos álamos son adecuados para la producción de madera, pero los crecimientos son inferiores comparados con los clones de álamos criollos y euroamericanos (Nolting, 1983). Entre los clones introducidos y evaluados en Patagonia se encuentran (Malaspina 1983; Nolting, 1983; García, 2002):

- *Populus deltoides* "71/67 INTA".
- *Populus deltoides* "Austr. 129/602".
- *Populus deltoides* "341/69 INTA".
- *Populus deltoides* "10/69 INTA".
- *Populus deltoides* "Austr. 106/60".
- *Populus deltoides* "I-74/51".
- *Populus deltoides* "67/69 INTA".
- *Populus deltoides* "Stoneville 71".
- *Populus deltoides* "I-63/51 Harvard".
- *Populus deltoides* "I-64/51".
- *Populus deltoides* "I-94/51".
- *Populus deltoides* "44/67 INTA".
- *Populus deltoides* "233/69 INTA".
- *Populus deltoides* "217/68 INTA DELTA".

Clones como el Harvard o los australianos 129/602 y 106/60 son más resistentes al ataque de cancrrosis (*Septoria musiva*) que los euroamericanos, pero son más sensibles al viento y a las heladas. García (2002) los recomienda para los valles de los ríos Colorado y Negro (Patagonia norte).

Álamos Euroamericanos o Canadienses (*Populus x canadensis* (Dode) Guinier)

Este Álamo es un híbrido entre *Populus nigra* y *Populus deltoides*, presenta buenos crecimientos y adaptación a diferentes climas, aunque es susceptible a las heladas (FAO, 1980). Requiere de suelos profundos y exige mayor provisión de agua que otros álamos, no obstante, resisten moderados períodos de sequía. Se adaptan a variadas condiciones climáticas, aunque son sensibles a las temperaturas muy bajas y se hielan con facilidad. En general se multiplican bien por estacas y poseen muy buenos crecimientos.

- *Populus x canadensis* "I-214": Presenta una plasticidad y crecimiento extremadamente rápido (FAO, 1980), siendo sensible a las heladas. Se le recomienda para producir madera, pero no como formador de cortinas cortavientos. Presenta muy buenos crecimientos; en el Valle del Río Negro existen montes de 25 años de edad con ejemplares de 36 metros de altura y 60 cm de diámetro promedio, alcanzando volúmenes de 4,5 m³ por árbol (Nolting, 2002). En Argentina es el clon más difundido en las zonas bajo riego

- *Populus x canadensis* "I-154" o "Mussolini": Este clon se obtuvo por el cruzamiento entre *Populus deltoides* "virginiana" y *Populus nigra* "Itálica", presentando un crecimiento es rápido y siendo resistente a la Roya, pero no a la cancrrosis de *Septoria musiva* (Castiglioni *et al.*, 1960).

Otros clones presentes en la región son:

- *Populus x canadensis* "Virginiana de Frinicourt"
- *Populus x canadensis* "I-488"
- *Populus x canadensis* "I Conti 12"
- *Populus x canadensis* "Guardi"
- *Populus x canadensis* "I-262"
- *Populus x canadensis* "Campeador"

Para el norte de la Patagonia, en suelos muy aptos, García (2002) recomienda los clones de *Populus x canadensis* "I-214", "Conti 12" y "Guardi". Éstos combinan buen crecimiento y calidad de madera apropiada. El "I-488" y el "I-262" (en mayor medida) poseen madera más densa, de mejor aptitud tecnológica, pero de menor rendimiento volumétrico. En sitios no muy ventosos ni fríos de Chubut, se han logrado buenos resultados con el "I-214", el "I-488" y el "Conti 12".

Actualmente en Argentina, los álamos más utilizados en los valles de Río Negro y Río Colorado, son los híbridos o euroamericanos. Se utilizan distintos clones según la zona. En el área de El Chocón y Alto Valle el clon más utilizado es el "Guardi", existiendo también plantaciones de "I-214". En la zona del Valle Medio predomina el "Conti 12", aunque también hay plantaciones de "I-214" y "Guardi". Finalmente, en el área de 25 de Mayo (La Pampa) el más plantado es el "Guardi" y, en menor medida, aparecen el "I-214", "I-488" y el "I-63". En esta zona los productores mencionan que "I-214" presenta ramas más gruesas que el "Guardi".

Las especies y clones de Álamo que se están evaluando en la región corresponden a:

- *Populus trichocarpa* "SP 1456"
- *Populus trichocarpa* "SP 125"
- *Populus trichocarpa* "Río Frío".
- *Populus trichocarpa* "SP 919".

Álamo Blanco (*Populus alba*)

Tolera altas temperaturas, sequías y viento, adaptándose a suelos salinos, donde su reproducción se realiza a través de renuevos de raíz o artificialmente por estacas.

- *Populus alba* L. var *pyramidalis* "Bolleana": Esta variedad se cultiva en Patagonia, principalmente en el valle del Río Negro para cortinas cortaviento (García, 2011), siendo una variedad muy rústica, con mayor resistencia al frío que el álamo blanco tradicional. Es recomendable para sitios con suelos pesados y/o algo salinos, pero siempre debe tenerse en cuenta que, al cortarlo, se producirá una fuerte aparición de renovales a partir de sus raíces gemíferas² (García, 2002). Es cultivado en Mendoza, donde tiene un buen desarrollo diametral y gran rendimiento maderable. Por su forma resulta apto para plantaciones con densidades elevadas en cortinas y alineaciones.

Álamos Grises (*Populus x canescens*)

Estos Álamos corresponden a híbridos entre las subsecciones Trepidiae y Albidae (*P. tremula* x *P. alba*), cuya madera es de buena calidad, pero el fuste no es muy cilíndrico y la poda es más complicada. Se pueden establecer en suelos pesados y con alto contenido en sales (García, 2002).

² Raíces que tienen la capacidad de producir nuevos brotes o tallos a lo largo de su longitud, lo que permite que un individuo se propague y colonice nuevas áreas (Nota del Editor).

Sauces en la Patagonia Argentina

En la Patagonia algunas especies o variedades de Sauces se han naturalizado y se encuentran bordeando ríos, arroyos y canales (Amico, 2002). Los más comunes en la región son:

- *Salix humboldtiana* “Sauce criollo”: Es la única salicácea nativa. Se distribuye desde México hasta Argentina (hasta la provincia de Chubut) y Chile. Habita en los bordes de los ríos y arroyos. La madera es blanda y liviana, y se utiliza para la fabricación de envases.
- *Salix fragilis* “Mimbrote”: Es la especie más difundida en la Patagonia donde se lo encuentra formando galerías en la mayoría de los ríos.
- *Salix babylonica* “Sauce llorón”: La especie se utiliza para leña, carbón y algunos artículos manufacturados de menor cuantía soportando terrenos muy anegadizos (Castiglioni & Carreras, 1960).
- *Salix alba* var. *calva* “Sauce álamo”: Es el sauce más intensamente cultivado en Argentina y se mantiene gracias a su notable rusticidad, sanidad y rendimiento. La madera provee de excelente materia prima para las industrias de trituración (celulosa, tableros), para el aserrado (cajonería), debobinado para cajas de fósforos, etc. En el área de la Patagonia se planta principalmente en Río Negro. Dadas las características de los suelos donde habitualmente se cultiva (bajos y pajonales), no puede desarrollar grandes diámetros, ni es posible pretender grandes productividades en volumen (Cozzo, 1995).
- *Salix* “524/43”: Introducido en Chubut (Malaspina, 1983) y en Santa Cruz con muy buenos resultados, donde en los primeros años, plantado en cortina de protección, presenta crecimientos superiores a los del álamo criollo. Se utiliza también, con buenos resultados en el valle inferior del Río Chubut. Es resistente al ataque de pulgones y se adapta a distintos tipos de clima y suelo (Peri, 2004).

Otros sauces cultivados en la región son: *Salix alba* var. *vitelina* “mimbre amarillo”; *Salix viminalis* “mimbre negro”; *Salix caprea* “mimbre” o “sauce japonés”; *Salix nigra* “sauce negro”, *Salix babylonica* x *Salix alba* “A131-25” y *Salix babylonica* x *Salix alba* “A131-27” “sauce 131-27”.

ANÁLISIS DE SALICÁCEAS PARA LA ZONA DE COYHAIQUE Y PATAGONIA EN CHILE

Existen antecedentes acerca de las atractivas propiedades como combustible de especies de *Acacia*, *Eucalyptus* y *Salix*. Estas plantaciones presentan densidades variables con rotaciones estimadas de 2 a 4 años que requieren medidas de silvicultura intensiva, control de competencia y fertilización. Un aspecto fundamental, es que deben establecerse en suelos no utilizables por la agricultura. Otra premisa a considerar es la identificación de la especie más adecuada para cada sitio, los modelos de manejo más apropiados y las herramientas de gestión que apoyen el proceso.

Al respecto, las especies de *Salix*, son una interesante alternativa de producción dendroenergética en sitios específicos, ya que presentan un rápido crecimiento, que permitiría obtener biomasa en rotaciones cortas (3 a 5 años) y son especies que se adaptan a distintas situaciones edafoclimáticas en el país (Pinilla y Navarrete, 2010; Pinilla y Valenzuela, 2012).

En Chile solo una especie ocurre en forma natural, *Salix humboldtiana* Willd., su distribución abarca América Central y América del Sur y es la única especie del género nativa en Chile. En el país otras especies del género corresponden a *Salix babylonica* (sauce llorón), originaria de China; *S. alba* (sauce blanco), de Europa, N de África y Asia; y *S. viminalis* (sauce mimbre), de Europa y Asia (Barros, 2009; Pinilla et al., 2015).

El sauce aparece como uno de los combustibles de biomasa más prometedores en muchos países. Su rápido crecimiento puede permitir capturar más carbono que otras maderas blandas dentro de una estación de crecimiento (Lamlom & Savidge, 2003). El uso de biomasa como fuente de energía sustituye a combustibles fósiles que incrementan el contenido de CO₂ en la atmósfera, de modo que contribuye a

mitigar el cambio climático y es considerada carbono neutral, por cuanto compensa el carbono liberado en la combustión con el carbono capturado en la madera durante el crecimiento (Kuzovkina & Quigley, 2005).

Especies de *Salix* se usan en distintas partes del mundo como plantaciones comerciales de alto rendimiento, manejadas en monte bajo, principalmente en suelos agrícolas, para abastecer de biomasa a centrales energéticas locales, de producción combinada de energía térmica y eléctrica. En Suecia existirían unas 20.000 hectáreas de sauces en plantaciones bajas de corta rotación, compuestas principalmente de diferentes clones e híbridos de *Salix viminalis*, *S. dasyclados* y *S. schwerinii*. Allá el cultivo del sauce está totalmente mecanizado desde la plantación hasta la recolección. En la fase inicial, se plantan unos 15.000 esquejes por hectárea en dobles filas, para facilitar la fertilización y recolección. La producción aproximada de biomasa de sauce cultivado comercialmente en Suecia es de unas 6 a 12 t/ha/año, según las condiciones del terreno.

En Chile, el *S. viminalis* se usa para la cestería de mimbre (Región de O'Higgins), obteniéndose rendimientos de hasta 12 toneladas de materia seca por ha-año. El poder calorífico de maderas y cortezas de distintas procedencias de esta especie varía entre 3,91 y 4,36 kcal/g (Durán, 1998). Estudios de INFOR concuerdan con estos valores, obteniendo para el poder calorífico un valor de 4,3 kcal/g, lo que confirma la aptitud de esta especie para su uso en la generación de energía (Pinilla & Navarrete, 2010).

Los álamos crecen a lo largo del territorio nacional hasta Tierra del Fuego y desde el nivel del mar hasta los 1.600 metros de altitud, concentrándose las plantaciones entre Aconcagua y Bio Bío, donde entre otros usos se le utilizan como biomasa con fines energéticos (Zsuffa *et al.*, 1996; Dickmann, 2001; Dillen *et al.*, 2010). Existe conocimiento técnico de las variedades y cultivares de estas especies, como también de modelos silvícolas para diferentes objetivos de producción industrial, y para calefacción como energía limpia (Serra *et al.*, 2002; Zamudio *et al.*, 2008).

Pinilla *et al.* (2021) mencionan que se evaluaron plantaciones experimentales de *Salix alba* y *S. cinerea* establecidos en la Región de Aysén (Figura 1), obteniendo antecedentes de crecimiento y biomasa, caracterización energética y de análisis elemental, señalando que a los ocho años, *S. alba* desarrolló un mayor crecimiento en variables del árbol como en biomasa aérea, con un DAP medio de 4,7 cm y altura de 6,7 m, mientras que *S. cinerea* registró valores de 2,8 cm y 5,5 m para DAP y altura, respectivamente. El Poder Calorífico Inferior fue de 18.009 y 18.163 J/g para *S. alba* y *S. cinerea*, respectivamente, concluyendo que es posible su utilización como materia prima para energía.



Figura 1. Sauces en la zona de Viviana Norte, Coyhaique, región de Aysén.

Sin embargo, en la Región de Aysén no existen mayores antecedentes acerca de especies para su uso en energía, a excepción de algunos estudios realizados por INIA e INFOR con especies de Álamos y *Salix*. Por lo mismo, se requieren mayores antecedentes de las especies y de su manejo para el abastecimiento seguro de unidades de generación que requieran de biomasa para su funcionamiento. INFOR no registra en la Región de Aysén plantaciones de Álamo, pero si se señala la existencia de cerca de 1.600 ha sin identificar, cubiertas por otras especies, parte de las cuales podrían ser especies de álamos. A ello se agrega una superficie indeterminada de álamos en la forma de cortinas cortavientos, formación frecuente en la región, más una superficie con presencia de especies de *Salix* en cercanías de cursos de agua o zonas húmedas.

Se menciona que la introducción de híbridos y cultivares de salicáceas involucra ventajas económicas que mejoran la rentabilidad del negocio forestal como consecuencia del rápido crecimiento, corta rotación y ventajas sociales asociadas a alternativas de producción para pequeños y medianos propietarios. Lo anterior supone también ventajas ambientales debido a la función de protección de los árboles a suelos fluviales, inundados y erosionados, y a su aporte a la mitigación de problemas de contaminación. Al respecto se puede señalar que Flores *et al.* (2011) mencionaba que la Región de Aysén posee cerca de 4,5 millones de hectáreas definidas como de considerable riesgo de erosión.

Riquelme *et al.* (2019) señalan que clones de álamo creciendo en la zona húmeda de la Región de Aysén, presentaron a los cinco años diámetros de 1,72 cm, alturas totales de 3,05 m y supervivencias de 75%. Los mismos autores infieren que los clones de álamo vieron favorecido su crecimiento debido a la disponibilidad hídrica, y a su capacidad de adaptación a zonas húmedas. Mencionan valores máximos de supervivencia a los cinco años de edad de 96%, lo que indicaría que la zona húmeda de Aysén es apta para su crecimiento y desarrollo. Coincidentemente, Weisgerber (1999), indica que álamos de la sección Aigeros se caracterizan por resistir el frío y el viento, y que árboles adultos pueden alcanzar hasta 40 m de altura y más de 2 m de diámetro.

Las pocas exigencias climáticas y de suelo, en conjunto con su plasticidad, son atributos que contribuyen al rápido crecimiento de estos clones. Particularmente, el clon Neva suele presentar un buen nivel productivo, considerándosele como un clon de fácil manejo silvícola (gran dominancia apical, ramas laterales pequeñas y fáciles de podar), como contraparte, resulta muy susceptible a la *Melampsora*³ (U. de Chile, 1998). Por el contrario, Riu *et al.* (2008) señalan que en la zona húmeda se obtienen supervivencias de tan solo un 20% a los cinco años, coincidente a su vez con reportes que señalan una supervivencia cercana a un 11% en una plantación de clones de álamo de 10 años de edad en San Carlos (Mendoza, Argentina)

En el estudio de Riquelme *et al.* (2019) el clon Neva presentó crecimientos en diámetro muy inferiores respecto de la media en la zona húmeda de Aysén (solo 0,66 cm), concluyéndose que sería inadecuado para esa zona de Aysén. Contrariamente, en un estudio efectuado en Barcelona, España, donde se comparó el crecimiento en diámetro de diferentes clones de Álamo, el clon Neva obtuvo resultados favorables a la misma edad, registrando diámetros de 17,5 cm (U. de Chile, 1998).

Al evaluar la supervivencia, a los siete años, de álamos creciendo en la zona intermedia de Aysén (sector Valle Simpson) se obtuvo un valor medio de tan solo 36%. Sin embargo, algunos clones individuales lograron valores de hasta 80%, demostrando así su adaptación a las condiciones imperantes en la zona intermedia de Aysén. En tal evaluación el mejor desempeño en diámetro, altura y rendimientos fue para el clon Unal. Este presentó una alta productividad, fustes rectos, diámetros de 5,02 cm, y alturas de 3,05 m. Adicionalmente, se menciona que el clon Unal tiene amplitud edáfica, siendo favorecido por suelos de pH neutro a ligeramente alcalinos y crece bajo precipitaciones superiores a 300 mm/año, sin embargo, a pesar de su destacable desempeño alcanzó una supervivencia de tan sólo un (36,6%). Lo anterior puede atribuirse a que el clon Unal, ve afectado particularmente su desarrollo en suelos ácidos (U. de Chile, 1998).

³ *Melampsora* es el género del hongo que provoca la roya del álamo. Esta roya es una de las principales enfermedades que afecta los álamos en el mundo, provoca defoliación y hasta la muerte de los individuos afectados (Nota del Editor).

Un estudio realizado en Argentina (Trevelin) menciona que al primer año de edad se obtienen diámetros cercanos a 1,6 cm (Lugano y Amico, 2001), en tanto otro estudio en el mismo país señala que a los dos años de edad se logran diámetros de 3 cm (Menoyo *et al*, 1993). Ambos valores se consideran respuestas favorables, pero no comparables a las obtenidas en el sitio de estudio en Aysén debido a las diferentes condiciones agroclimáticas imperantes en este último, donde los álamos crecen con temperaturas mínimas de -0,4C° y con presencia de déficit hídrico estival (Hepp & Stolpe, 2014).

Rueda *et al.* (2016) describen al clon Bocculari con características de resistencia al viento y al frío, pero que no ha presentado adecuados desempeños, lo que se señala tendría su origen en su sensibilidad a suelos ácidos, como es el caso de la zona intermedia de Aysén, descartando con ello su uso.

Las Salicáceas, y en especial los álamos, provienen de zonas con inviernos fríos y algo rigurosos, por lo cual las bajas temperaturas, dentro de cierto rango, no constituyen un factor climático limitante de primer orden (Leonardis, 1960).



Figura 2. Leña de Álamo en Cerro Castillo, Coyhaique.

Para introducir y establecer álamos resistentes al frío en la Región de Aysén se requiere identificar clones adaptados a las condiciones de suelo y clima de cada sector de la región. Esta adaptación debe ser el primer antecedente para posteriormente destacar su uso en la región, como un material adecuado, promisorio, para la producción de biomasa para energía, ya sea como astillas térmicas y/o pellet.

Recientemente Raffaeli *et al.* (2022) comentan que las especies del género *Populus* son importantes en Argentina, donde ocupan el tercer lugar en superficie forestada y volumen de madera generado, detrás del pino y el eucalipto. Agrega que su madera se utiliza en una variedad de aplicaciones y que su industrialización genera residuos que no siempre son utilizados. Respecto de los clones se mencionan la

existencia de *Populus x euroamericana*, 'I-214', de la Patagonia Norte y *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' del Delta del Río Paraná.



Figura 3. Ensayo clones de Álamo en Valle Simpson, Coyhaique.



Figura 4. Ensayo clones de Álamo en Valle Simpson, Coyhaique.



Figura 5. Banco clonal de Populus de INFOR Sede Coyhaique y labores de manejo.



Figura 6. Estacas provenientes del Banco clonal de Populus de INFOR Sede Coyhaique.

Clones de álamo han demostrado buena aptitud para ser utilizados con fines energéticos, ya sea como madera o como el residuo sólido del proceso de pirólisis (confección de carbón vegetal). Particularmente 'I-214' exhibe el mejor desempeño en relación al poder calorífico, contenido de cenizas y proporción relativa de volátiles. Este clon y 'Australiano, 129/60' presentaron valores favorables de contenido de humedad, cenizas y poder calorífico Raffaeli *et al.* (2022). Sin embargo, el contenido de volátiles resultó mayor de lo esperado, posiblemente atribuible al protocolo de laboratorio utilizado, afectando así el porcentaje de carbono fijado.

La respuesta en crecimiento de clones adecuados para cada zona agroclimática de la Región de Aysén ofrecería ventajas económicas que aporten a la rentabilidad del negocio forestal, como consecuencia del rápido crecimiento y corta rotación. Adicionalmente agregan ventajas sociales y ambientales, al brindar nuevas alternativas a los pequeños y medianos propietarios, como la conformación de plantaciones o bosques para energía.

Se requiere diversificar la oferta de biomasa para energía en el área de Coyhaique y Patagonia chilena. Por lo mismo, es necesario incorporar especies adaptadas a las condiciones de sitio del área objetivo y que sean compatibles con la generación de biocombustible para uso térmico, sanitario o para electricidad.

La adaptación y crecimiento de especies de Salicáceas a las condiciones de suelo y clima del sector objetivo debe ser una acción de interés, en apoyo a los procesos de mejora de la calidad de los Biocombustibles y de su uso, apoyando programas de descontaminación ambiental en beneficio de los habitantes de la región.

Se requiere ampliar este tipo de estudios en la zona de Coyhaique y Patagonia chilena de modo de incrementar las alternativas de oferta de biomasa para su uso en energía y con ello, la selección de especies con mejor desempeño para producción de biomasa y Biocombustibles.

CONCLUSIONES

Los antecedentes obtenidos de diversos estudios relativos a la utilización de salicáceas en la zona de Coyhaique y Patagonia destacan su potencial para uso en plantaciones que, bajo silvicultura intensiva y en suelos adecuados, podrían generar importantes volúmenes de biomasa para uso energético.

Tales especies pueden adquirir una importancia creciente para el desarrollo de las economías locales y regionales, teniendo la capacidad de complementar la rentabilidad de las pequeñas unidades de producción, mediante el ingreso anual generado por su utilización para la generación de leña, e incluso *pellets*. Por otra parte, el empleo de especies de salicáceas adaptadas para la zona de Coyhaique y Patagonia chilena, permitiría además contribuir a recuperar suelos degradados y entregar adecuada información para propuesta de protocolos o normativas de manejo y sus costos.

Es interesante generar información base respecto al desempeño de las salicáceas en las actuales condiciones en que se desarrollan en Coyhaique y la Patagonia, la mayoría de ellas formaciones sin manejo y/o con escasa mejora genética, que constituye la línea base para las futuras ganancias en biomasa por unidad de superficie para biocombustibles sólidos (Leña), utilizando las herramientas tecnológicas aportadas por la silvicultura, manejo y avances en mejoramiento genético.

La información requerida debe provenir de una red de unidades experimentales que considere procedencias, técnicas intensivas de establecimiento y diferentes espaciamientos, y a partir de los resultados generar un programa para el mejoramiento genético.

Paralelamente, se requiere caracterizar la biomasa y los biocombustibles que se generan a partir de las plantaciones y el manejo de estas salicáceas. Para esto es necesario determinar los factores físicos y químicos de muestras de biomasa y de sus biocombustibles derivados y contrastarlos con los requisitos de las normas oficiales, particularmente en el marco de la Ley 21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía

Considerando que no se dispone de datos sobre superficies cultivadas en el área de Coyhaique y Patagonia chilena, es aconsejable generar un estudio que determine las formaciones con estas especies en la zona de interés, y de la superficie potencial donde podrían establecer estas especies. Tal estudio debe priorizar las áreas cercanas a los principales centros de consumo y presencia de productores de biocombustibles, por ejemplo, de leña en la zona de interés, y generar zonas de abastecimiento. Se requiere también determinar rendimientos en MS/árbol y tMS/ha, suponiendo una plantación con fines energéticos.

Una plantación de salicáceas con fines energéticos, instalada mediante técnicas intensivas de establecimiento, en corta rotación y con material genético selecto, permitiría obtener biomasa para su uso en producción de biocombustibles.

REFERENCIAS

- Achinelli, F.G. (2006).** Silvicultura de álamos y sauces en la Pampa Húmeda. Actas de la I Jornada Argentina de Salicáceas. Buenos Aires, Argentina. Pp: 21-36.
- Almeida, P., Proux-Wera, E., Churcher, A., Soler, L., Dainat, J. & Pucholt, P. (2020).** Genome assembly of the basket willow, *Salix viminalis*, reveals earliest stages of sex chromosome expansion. BMC Biol., 18(1): 1-18. <https://doi.org/10.1186/s12915-020-00808-1>
- Amico, I. (2002).** Crecimiento de distintos clones de álamos en vivero. Cartilla. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Esquel. Argentina.
- Aperlo, D., Schrohn, H., Fernández, N. & Mestre, M.C. (2023).** Micorrizas y salicáceas: ¿qué sabemos del período 2010-2020 y hacia dónde vamos? Bosque, 44(1): 9-22. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002023000100009>

- Arquero, D & Davel, M. (2017).** Determinación de la época de poda en sistemas silvopastoriles con álamos en Patagonia Norte Argentina. *Ciencia & Investigación Forestal*, 23(3): 21-30. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2017.483>
- Baettig, R., Yáñez, M. & Albornoz, M. (2010).** Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: Estado del arte. *Bosque*, 31(2): 89-99. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000200002>
- Barros, S. (2009).** Álamos y Sauces, Las Salicáceas en el Mundo y en Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 15(2): 243-254. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2009.325>
- Brundrett, MC. & Tedersoo, L. (2018).** Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, 220(4): 1108-1115. <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
- Buchman, D., Jackson, J., Berguson, WE., McMahon, BG., Nelson, ND., DuPlissis, J. & Host, GE. (2020).** Grower's guide for hybrid poplar plantations for biomass production. Natural Resources Research Institute, University of Minnesota Duluth, Technical Report NRR/ITR-2020/15. 15 p.
- Castiglioni, C. & Carreras, L. (1960).** Implantación de bosques comerciales. INTA. Buenos Aires. 239 p.
- Cornejo, E. (2016).** Álamo: Alternativa para la diversificación maderera. *Sustainability, Agri., Food and Environmental Research*, 4(2): 28-29. <https://doi.org/10.7770/safer-V4N2-art1024>
- Cozzo, D. (1995).** Silvicultura de Plantaciones Maderables, Orientación Gráfica. Tomo II. Buenos Aires. Pp: 433-458.
- Davel, M., Arquero, D., Barbé, A. & Havrylenko, S. (2015).** Los álamos y los sauces en la región Patagónica Argentina. CIEFAP.
- Dickmann, DI. (2001).** An overview of genus *Populus*. En: Dickmann, DI., Isebrands, JG., Eckenwalde, JE. & Richardson, J. (Eds). *Poplar culture in North America*. NRC Research Press. Ottawa, Ontario, Canada. Pp: 1-42.
- Dickmann, DI. (2006).** Silviculture and biology of short rotation woody crops in temperate regions: Them and now. *Biomass & Bioenergy*, N° 30. Pp: 696-705. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.02.008>
- Dillen, SY., Rood, SB. & Ceulemans, R. (2010).** Growth and Physiology. En: Jansson, S. *et al.* (Eds). *Genetics and Genomics of Populus: Plant Genetics and Genomics: Crops and models 8*. Springer Science. Pp: 39-63. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1541-2_3
- Durán, C. (1998).** Caracterización de *Salix viminalis* acorde a su contenido de extraíbles y capacidad energética total [monografías].: Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción, Chile. 43 p.
- FAO. (1980).** Los Álamos y los sauces. Colección FAO: Montes N°10. Roma. 349 p.
- Flores, JP., Espinosa, M., Martínez, E., Henríquez, G., Avendaño, P., Torres, P., Ahumada, I. et al. (2011).** Determinación de la erosión actual y potencial del territorio de Chile. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Santiago. 292 p.
- García, J. (2011).** El cultivo de las Salicáceas en los valles irrigados de la Patagonia, pasado, presente y futuro. 3er Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquén, Argentina.
- García, J. (2002).** Forestación con Salicáceas en áreas bajo riego en la Patagonia. En: <http://www.sagpva.mecan.gov.ar/new/00/forestacion/deleg/manusali.pdf>
- Hepp, C. & Stolpe, NB. (2014).** Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia Occidental (Aysén). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación Tamei Aike. Coyhaique, Aysén Patagonia, Chile. 160 p.
- Isebrands, JG. & Karnoky, DF. (2001).** Environmental benefits of Poplar culture. In: Dickmann, DI., Isebrands, JG., Eckenwalder, JE. & Richardson, J. (Eds). *Poplar Culture in North America*. NRC Research Press. Ottawa, Ontario, Canada. Pp: 207-218.

- Karp, A. & Shield, I. (2008).** Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. *New Phytologist*, 179(1): 15-32. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02432.x>
- Keoleian, GA. & Volk, TA. (2005).** Renewable energy from willow biomass crops: life cycle energy, environmental and economic performance. *Critical Reviews in Plant Science*, N°24. Pp:385-406. <https://doi.org/10.1080/07352680500316334>
- Kuzovkina, Y. & Quigley, M. (2005).** Willows beyond wetlands: Uses of *Salix* species for environmental projects. *Water, Air and Soil Pollution*, N° 162. Pp: 183-204. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-6272-5>
- Lamlom, SH. & Savidge, RA. (2003).** A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*, N° 25. Pp: 381-388. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00033-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00033-3)
- Leonardis, R. (1960).** Silvicultura de las Salicáceas. Implantaciones de bosques comerciales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. Pp: 193-206.
- Lugano, L. y Amico, I. (2001).** Producción experimental de salicáceas en vivero. VI Jornadas Técnicas de Viveristas Forestales de la Patagonia. 15 y 16 de noviembre de 2001, Esquel, Chubut. SAGPyA, AIFCh.
- Luquez, V., Bartolozzi, M. & Martínez, S. (2022).** Utilización de álamos y sauces para la producción de biomasa para energía. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 121(1):09. <https://doi.org/10.24215/16699513e091>
- Malaspina, E. (1983).** Introducción de salicáceas en la región patagónica. V Congreso Forestal Argentino. 17-22 octubre. Santa Rosa – La Pampa. Pp: 4.256-4.264.
- Menoyo, H., Mombelli, O. & Jones, N. (1993).** Estudios de las masas naturales del género *Salix* en dos zonas de la provincia de Chubut. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Comisión VI. Paraná, Entre Ríos, 1993. AFOA.
- Niemczyk, M. (2021).** The effects of cultivar and rotation length (5 vs 10 years) on biomass production and sustainability of poplar (*Populus spp.*) bioenergy plantation. *GCB Bioenergy*, 13(6): 999-1.014. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12827>
- Nolting, J. (1983).** Determinación de rendimiento de madera de un monte de *P x euroamericana cv I-214* en el valle de Río Negro. V Congreso Forestal Argentino. Tomo 1. 17-22 Octubre. Santa Rosa – La Pampa. Pp: 1.36-1.38.
- Nolting, J. (2002).** Un clásico de la populicultura – Álamos: el *P. x euroamericana cv "I-214"*. *Revista Rompecabezas*. 8(35): 30-33.
- Peri, P. (2004).** Clon *Salix 524/43*. Sauce de crecimiento rápido, resistencia y adaptabilidad. En: <http://www.ecampo.com/?event=news.display&id=8063A6C7-089D-43A2-BD4864EBD7500F2C&>
- Pilipovic, A., Orlovic, S., Nikolic, N., & Galic, Z. (2006).** Investigating potential of some Poplar (*Populus sp.*) clones for phytoremediation of nitrates through biomass production. *Environmental Applications of Poplar and Willow Working Party*. 18-20 May 2006, Northern Ireland.
- Pincemin, JM., Monlezun, SJ., Zunino, H., Cornaglia, PS. & Borodowski, E. (2007).** Sistemas Silvopastoriles en el Delta del Río Paraná: Producción de materia seca y estructura de gramíneas templadas bajo Álamos. APPA ALPA-Cusco, Perú.
- Pinilla, J.C. & Navarrete, M. (2010).** Informe Técnico Proyecto 1: Desarrollo productivo de los bosques, de la industria forestal y fomento del uso de la madera. Promoción del uso dendroenergético de los productos forestales madereros, el caso de *Acacia dealbata* y *Salix sp.* Informe de proyecto Ministerio de Agricultura de Chile. Instituto Forestal, Sede Biobío. Concepción, Chile. 50 p.
- Pinilla, JC. & Valenzuela, C. (2012).** Algunos antecedentes en la búsqueda de opciones económicas para el abastecimiento de biomasa dendroenergética en Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 18(2): 69-90. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2012.388>
- Pinilla, J C., Chung, P. & Navarrete, M. (2015).** El Sauce Chileno (*Salix humboldtiana* Willd) en la Región del Biobío y su Uso Potencial en Bosques Plantados. Informe Técnico N° 202. Instituto Forestal, Chile. 40 p.

- Pinilla, J.C., Riquelme, F. & Acuña, B. (2021).** Antecedentes iniciales para la utilización de especies de *Salix* como biomasa para energía en la Región de Aysén. *Ciencia & Investigación Forestal*, 27(3): 63-75. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.557>
- Raffaeli, N., Spavento, E. & Barotto, A. (2022).** Caracterización dendroenergética de la madera y el carbón de dos clones de Álamo. XXXVI Jornadas Forestales de Entreríos, Concordia, octubre de 2022. En: https://www.researchgate.net/publication/364598899_Caracterizacion_dendroenergetica_de_la_madera_y_el_carbon_de_dos_clones_de_alamo
- Reyes, R., Sanhueza, R., Schueftan, A., et al. (2021).** Consumo de leña y otros biocombustibles sólidos en la región de Aysén: adopción acelerada del pellet en la ciudad de Coyhaique y predominio de la leña en el resto de la región. *Boletín Bosques Energía y Sociedad* N° 14. Instituto Forestal. Santiago, Chile. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31338>
- Riquelme, F., Salinas, J., Gutiérrez, B. & Pinilla, J.C. (2019).** Evaluación de ensayos de introducción de álamos en dos zonas agroclimáticas de la región de Aysén. *Ciencia & Investigación Forestal*, 25(3): 7-22. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2019.518>
- Riu, N., Bustamante, J., Calderón, A., Pérez, S., Settepani, V. & Zanetti, R. (2008).** Comportamiento de clones de Álamos en San Carlos. Mendoza, Argentina. *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo XL. N°1. Año 2008. Pp: 79-89.
- Rodríguez, M. Luquez, V. (2016).** Poplars and willows responses to flooding stress (Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), CONICET – FCAyF UNLP, La Plata, Argentina). Pp: 103-130. https://www.researchgate.net/publication/330673483_Poplars_and_Willows_Responses_to_Flooding_Stress#ullTextFileContent
- Rueda, J., Padró, A., Grau, J.M., Sixto, H., Villar, C., García Caballero, J.L., Martínez Sierra, F. et al. (2016).** Clones de chopos del Catálogo Nacional de Materiales de Base. Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid, España. 72 p.
- Schultz, R.C., Colletti, J.P., Isenhardt, T.M., Márquez, C.O., Simpkins, W.W. & Ball, C.J. (2000).** Riparian forest buffer practices. In: Garrett, H.E., Rietveld, W.J. & Fisher, R.F. (Eds). *North American Agroforestry: An Integrate Science and Practice*. Am. Soc. Agron., Madison, WI. Pp: 189-281.
- Smith, S.E. & Read, D. (2008).** *Mycorrhizal Symbiosis*. Third Edition. Academic Press. London. Pp: 42-90. <https://doi.org/10.1016/B978-012370526-6.50004-0>
- Serra, M.T., Torres, J. & Grez, I. (2002).** Breve historia de la introducción en Chile del Álamo (*Populus nigra* L. var *italica* (Moench) Koehne) y el desarrollo de ejemplares siempreverdes. *Chloris Chilensis*, año 5, N°2. URL:<http://www.chlorischile.cl/alamos/alamos.htm>.
- Serventi, N. (2011).** Las cortinas forestales en los valles irrigados de la Norpatagonia. III Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina.
- Wang, X., Newman, L.A., Gordon, M.P. & Strand, S.E. (1999).** Biodegradation of carbon tetrachloride by Poplar trees: Results from cell culture and field experiments. In: Leeson, A. & Allenman, B.C. (Eds). *Phytoremediation and Innovative Strategies for Specialized Remedial Applications*. Battelle Press. Columbus, Ohio, USA. Pp: 133-138.
- Weisgerber, H. (1999).** *Populus nigra* Linné, 1753. *Encyklopade der Holzgewachse* 16, 24p
- Wullschlegel, S.D., Meinzer, F.C. & Vertessy, R.A. (1998).** A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiol.*, N° 18. Pp: 499–512. <https://doi.org/10.1093/treephys/18.8-9.499>
- Zamudio, F., Baettig, R. & Guerra, F. (2008).** Origen y futuro del cultivo del Álamo en Chile. Monografía Proyecto FONDEF D0411027. Universidad de Talca. Talca, Chile. 34 p.
- Zsuffa, L., Giordano, E., Pryor, L.D. & Stettler, R.F. (1996).** Trends in Poplar culture: Some global and regional perspectives. En: Stettler, R.F., Bradshaw, H.D. Jr., Heilman, P.E. & Hinckey, T.M. (Eds). *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. Pp: 515-539.