

CAPÍTULO 10

Sistemas agroforestales en Patagonia Norte

Esteban Thomas, Hernán Cancio y Gonzalo Caballé

Introducción

En los valles de Patagonia Norte se utilizan álamos y sauces como cortinas rompevientos para protección de diferentes cultivos (frutícolas, hortícolas, forrajeros) y en forestaciones en macizo destinados a la producción de madera de calidad. La madera es utilizada por las industrias del aserrado y debobinado, principalmente en la confección de envases y embalajes para el transporte y comercialización de productos frutihortícolas, como también para la obtención de vigas, tablas, tirantes y machimbres utilizados por el sector de la construcción. Un porcentaje menor se destina a la industria celulósica, que puede aprovechar los rollizos de menor diámetro (García y Serventi, 2006; Thomas y Garcés, 2014).

La superficie forestada con Salicáceas en los valles de Patagonia Norte se encuentra en notable retroceso. García y Serventi (2006) mencionan que a mediados de la década del 90 existían aproximadamente 3.500 hectáreas de forestaciones en macizo, superficie que disminuyó a 2.810 hectáreas estimadas al momento de esa publicación. Ponen énfasis, además, en que algo más del 50% de esas 2.810 hectáreas corresponde a macizos de menos de 5 años de edad. El Inventario de Plantaciones Forestales bajo riego en la región patagónica realizado en 2017, indica una superficie de 1.520 hectáreas de macizos (Bava, 2017), considerablemente menor a las estimaciones antes mencionadas.

Si bien desde 1999 existe un instrumento de incentivo a través de la Ley N° 25.080 de Inversión para Bosques Cultivados -prorrogada en 2008 por la Ley N° 26.432 y en 2018 por la Ley N° 27.487- (ver capítulo 13), se observa una sensible disminución de la superficie de macizos forestales. La principal causa de esta situación es la crisis de la actividad frutícola, principal destino de los productos confeccionados con la madera de álamos y sauces, que se traduce en un mercado deprimido, con un consumo estimado de madera que disminuyó de 300.000 a 155.000 toneladas anuales (García y Serventi, 2006; García et al., 2017) y precios bajos para la madera. En este contexto, la adopción de sistemas agroforestales como alternativa productiva podría contribuir al aumento de la superficie forestada en la región.

En la zona cordillerana de Patagonia Norte, las áreas aptas para forestación en secano se extienden a lo largo de las zonas ecotónicas de transición entre el bosque nativo y la estepa patagónica hasta la isohieta de 400 mm. La superficie potencialmente forestable se aproxima a 2,3 millones

de hectáreas (Laclau et al. 2005), si bien se reduce sensiblemente si se analizan restricciones sociales, territoriales, ambientales, económicas y topográficas. La superficie actualmente forestada asciende a 109.031 ha, de las cuales, 87.345 ha corresponden a coníferas y el 80% de esa superficie a pino ponderosa (*Pinus ponderosa*). Neuquén posee el 58% de las plantaciones, con una superficie cultivada de 63.725 ha, Río Negro cuenta con 11.860 ha y Chubut posee 33.446 ha forestadas (Bava et al., 2017). El 60% de estas forestaciones con coníferas se encuentran en el rango de edad entre 11 y 25 años. La clase madura, que corresponde a plantaciones mayores a 26 años, representa el 27% de la superficie. La clase menor, que incluye plantaciones menores o iguales a 10 años, representa el 12% de la superficie (Bava et al., 2017).

La madera empleada actualmente por la foresto-industria de la zona cordillerana se obtiene mayoritariamente de plantaciones de pino ponderosa en edad de segundo raleo o primer raleo comercial (25-35 años). Esta madera posee todavía una gran proporción de madera juvenil que le confiere alta inestabilidad dimensional y altas contracciones axiales y longitudinales (Martínez-Meier et al., 2017). Madera aserrada, tacos para pallets, machimbres y en los últimos años, madera con destino estructural para uso en construcción de viviendas, se encuentran entre los principales productos obtenidos por la foresto-industria de la región.

Viabilidad biológica de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales, una combinación de especies leñosas con cultivos, pasturas y/o animales en la misma unidad de producción, optimizan las interacciones biológicas creadas entre estos componentes, otorgando como resultado, una mayor eficiencia en la captura y utilización de recursos (nutrientes, luz y agua) con el consecuente aumento de la productividad (Gordon et al., 1997). Simultáneamente, la mayor diversidad estructural provee al sistema alta estabilidad y resiliencia ambiental y económica a nivel de predio (Lefroy et al. 1999).

El correcto manejo agroforestal implica la optimización del uso espacial y temporal de los recursos de crecimiento de manera de maximizar las interacciones positivas (facilitación) y minimizar las negativas (competencia) que se generan entre los componentes (Jose et al., 2000). La competencia se produce cuando las especies componentes del sistema se superponen en el uso de los recursos, a punto tal que el crecimiento, la supervivencia o el éxito reproductivo de alguna de ellas se ve negativamente afectado (Harper, 1990). La facilitación ocurre cuando una de las especies del sistema modifica el ambiente biofísico de manera tal de crear una o más condiciones favorables para el desarrollo de la especie restante. La especie facilitadora puede producir un incremento neto de los recursos en el sistema o capturar y utilizar más eficientemente alguno de los recursos de crecimiento (Holmgren et al. 1997). El resultado neto de las interacciones de facilitación y competencia, que en última instancia asegura la viabilidad de los sistemas agroforestales, es dinámico y depende del estadio de vida de las especies involucradas, de la fisiología de las mismas y de la intensidad del estrés causado por factores abióticos (Callaway y Walker, 1997).

La competencia entre el estrato arbóreo y el estrato herbáceo o agrícola se genera principalmente por radiación debido al fuerte contraste en las formas de crecimiento. En función del índice de área foliar, dependiente de la edad y tamaño de los árboles, y de las prácticas silviculturales aplicadas (podas y raleos), disminuye la cantidad y se altera la calidad de la radiación que alcanza el sotobosque (Holmes, 1981; Wilson y Lodlow, 1991). Al mismo tiempo, los árboles generan relaciones de competencia y facilitación por agua sobre las plantas del sotobosque: competencia al interceptar las precipitaciones o utilizar agua en el mismo estrato de suelo que los pastos (Gyenge et al. 2002; García-Barrios y Ong, 2004) y facilitación al mejorar las propiedades físicas del suelo, reducir las pérdidas por escurrimiento superficial, disminuir la demanda evaporativa o aportar agua desde zonas profundas por el proceso de “ascenso hidráulico” (Richards y Caldwell, 1987). Si bien en sistemas silvopastoriles la sombra de los árboles constituye el principal factor limitante para la producción forrajera, presenta un efecto neto de facilitación sobre el componente animal. La cobertura arbórea disminuye el estrés térmico que provoca la incidencia directa de la radiación solar sobre los animales. Por este motivo, los sistemas silvopastoriles permiten mejorar las ganancias de peso diarias de los animales respecto de los sistemas pastoriles convencionales (Thomas y Ferrere, 2019).

Por lo expuesto, es de suma importancia conocer los cambios provocados por el dosel arbóreo sobre la calidad y cantidad de radiación que alcanza el sotobosque y las relaciones de competencia o facilitación por el agua en suelo, ya que influyen de manera compleja sobre el crecimiento, productividad y/o supervivencia del estrato herbáceo o agrícola en los sistemas agroforestales. Es igualmente importante evaluar y tener en cuenta el efecto positivo que presenta el estrato arbóreo sobre el desempeño del componente animal.

Silvicultura con álamos y sauces en los valles de Patagonia Norte

Especies y clones de álamos y sauces difundidos en la región

En Patagonia Norte se han difundido clones de álamos y sauces que se adaptaron al clima de la región tanto para la plantación de cortinas rompevientos como de macizos forestales. El principal aspecto que define la elección de la especie y clon es la susceptibilidad a las enfermedades presentes en cada una de las zonas de la región. A su vez, dentro de cada zona, se deben contemplar las características de los suelos y los objetivos de producción.

Los álamos

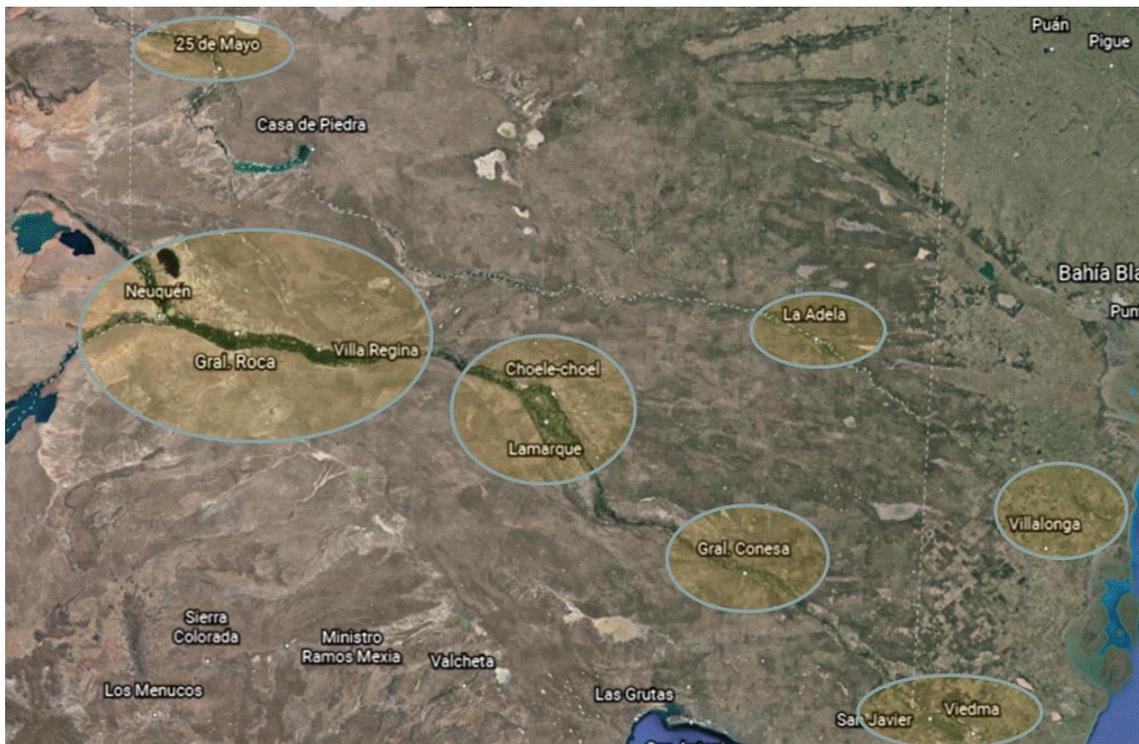
Para la plantación de cortinas rompevientos, cuyo propósito es proteger a los cultivos de los fuertes vientos característicos de la región, se usan principalmente los álamos criollos (*P. nigra* ‘Itálica’), chileno (*P. nigra* ‘Chile’) y Blanc de Garonne (*P. nigra* ‘Jean Pourtet’) (Serventi, 2011; Thomas, 2015). Estos clones poseen copa estrecha, numerosas ramas cortas desde la base

del tronco y hojas pequeñas, conformando barreras que disminuyen la velocidad del viento a valores tolerables por los cultivos de interés, contribuyendo a la disminución de la erosión eólica (Lassig y Palese, 2011; Peri, 2011) y amortiguando el efecto de las heladas (Tassara, 2005). En menor proporción, se utilizan híbridos euroamericanos (*P. x canadensis*) y ocasionalmente el álamo híbrido español (*P. x canescens*).

En el Alto Valle de Río Negro y Neuquén (Figura 1) como en el valle de 25 de Mayo (La Pampa) y Catriel (Río Negro), no existen restricciones respecto de los clones a utilizar para la plantación de macizos destinados a producir madera de calidad. Se utilizan principalmente híbridos euroamericanos debido a su rapidez de crecimiento, características de la madera y rectitud de fuste, siendo el I-214, I-488, Conti 12 y Guardi los más difundidos (Thomas, 2015). El color claro de la madera de estos clones otorga buena aptitud para algunas industrias como la del debobinado para fabricar tableros compensados (Nolting, 2001). En las zonas con mayores precipitaciones como los valles de General Conesa, Río Colorado e inferior del río Negro (IDEVI), donde la cancrrosis (*Septoria musiva*) tiene mayor incidencia, se utilizan clones de híbridos euroamericanos como Conti 12 y clones de álamos deltoides (*P. deltoides*) como Harvard y Stoneville 72 (Thomas y Cortizo, 2014b).

A partir de evaluaciones de nuevos clones para la región realizadas por INTA Alto Valle, se suman a los antes mencionados los híbridos euroamericanos Triplo y Ragonese 22 INTA, y los deltoides Ñacurutú INTA, Carabelas INTA y Paycarabí INTA. Estos clones, al ser tolerantes a la cancrrosis, se recomiendan para ser utilizados en toda la región, sobre todo en aquellas zonas donde la cancrrosis limita el uso de algunos de los clones de híbridos euroamericanos susceptibles a la enfermedad (Thomas y Garcés, 2014; Thomas y Cortizo, 2014a).

Figura 1. Localización de los valles en el norte de la Patagonia.



Fuente propia.

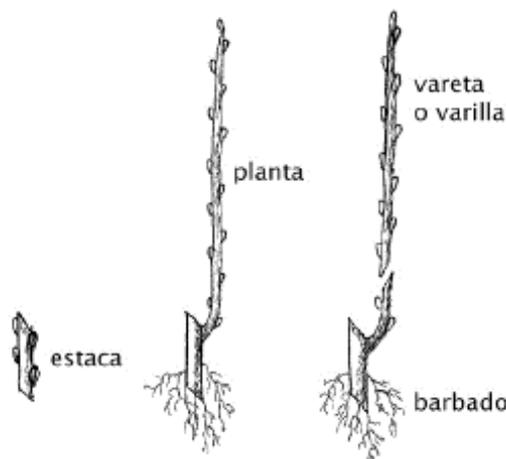
Los sauces

Las forestaciones en macizo con sauces actualmente son escasas y tienen como objetivo la producción de madera para triturado. Tanto para cortinas rompevientos como para macizos se utilizan los sauces híbridos Barrett 13-44 INTA (*Salix matsudana* x *S. alba*), Ragonese 131-25 INTA y Ragonese 131-27 INTA (*S. babylonica* x *S. alba*), este último muy difundido en el valle de Río Colorado. Sin embargo, a partir de evaluaciones de nuevos materiales genéticos, los sauces han demostrado un alto potencial productivo tanto para triturado como para usos sólidos, incluso en suelos marginales. Los híbridos Los Arroyos INTA-CIEF y Agronales INTA-CIEF (*Salix matsudana* x *S. alba*), y algunos otros en etapa final de selección han mostrado un destacado desempeño en suelos salino-sódicos (Thomas y Garcés, 2014; Thomas y Cerrillo, 2014; Cortizo et al., 2016; Montero et al., 2017).

Materiales de plantación

Para la plantación de barreras rompevientos o de macizos se pueden utilizar diferentes materiales. La *estaca*, que es una porción de tallo lignificado de un año de edad y de 20-30 cm de longitud; la *guía*, también conocida como varillón, es el tallo completo, lignificado, producto del crecimiento de uno o dos años; y la *planta*, llamada también barbado, generada en vivero a partir de una estaca (Figura 2). A las plantas o barbados de un año de edad se las denomina R1/T1, ya que tanto la raíz (R) como el tallo (T) tienen un año de edad. Existen también plantas o barbados con tallo y raíz de dos años (R2/T2) o bien con tallo de un año y raíz de dos años (R2/T1) (Amico, 2006; Thomas, 2015).

Figura 2. Materiales de plantación de álamos y sauces.



Fuente: Amico, 2006.

En el caso de macizos es aconsejable utilizar plantas o barbados de un año de edad con buen tamaño (2,5m a 3,5 m de altura) y raíces bien desarrolladas. La ventaja comparativa de

este material respecto a los otros es que permite un rápido y homogéneo establecimiento de la forestación. También pueden usarse guías de similar tamaño, que permitan lograr un resultado similar respecto a la homogeneidad de la plantación, aunque el crecimiento durante el primer año será menor al que se obtiene cuando se utilizan plantas con raíz.

Métodos de plantación

Para la plantación se pueden utilizar diferentes implementos o herramientas según el material elegido, la mano de obra y la maquinaria disponible:

- Barreta: se utiliza esta herramienta para hacer un pequeño hoyo en el terreno de 20-30 cm de profundidad. Se utiliza principalmente para la plantación de estacas de 25-30 cm de largo, o eventualmente para la plantación de guías, con el inconveniente que éstas quedan enterradas a poca profundidad con riesgo de vuelco durante el primer año provocado por los fuertes vientos.
- Barreta hidráulica (Figura 3): también conocida como hidroplantadora, consiste en un caño con un orificio de menor diámetro en el extremo inferior que, unido a la máquina pulverizadora a través de una manguera, inyecta agua a presión en el suelo y va realizando el hoyo para la posterior plantación (Cancio y Thomas, 2011). En este caso se utilizan estacas largas (60-70 cm) o guías (2,5m a 3,5m), aprovechando la profundidad que se logra con esta herramienta (60-70cm). De esta manera se logra un buen anclaje evitando riesgos de vuelco. Además de su practicidad, este método aporte agua al suelo favoreciendo el enraizamiento.
- Hoyadora agrícola (Figura 3): existen diferentes modelos, desde las que poseen un motor a explosión propio y son operadas manualmente, a las que poseen una mecha de mayor diámetro y profundidad siendo accionadas por la toma de fuerza del tractor. Esta herramienta permite realizar hoyos de 60-80 cm de profundidad y de 30-40 cm de diámetro, y es utilizada principalmente cuando se utilizan plantas, o eventualmente guías, para lo que se podría colocar una mecha de menor diámetro.

Figura 3. Hoyadora agrícola (izquierda) y barreta hidráulica (derecha).



Fuente propia.

Independientemente del método de plantación elegido, es importante lograr un buen contacto del material de plantación con el suelo, rellenando con tierra cuando sea necesario y apisonando firmemente alrededor de las estacas, guías o plantas (barbados).

Época de plantación

El momento adecuado de plantación es durante el reposo vegetativo, que comienza en otoño a partir del momento de la caída de las hojas. En caso de utilizarse plantas, la operación puede realizarse a partir del mes de junio y hasta mediados de septiembre. La disponibilidad de raíces permite cierta flexibilidad del momento de plantación, ya que la humedad disponible en el suelo evitará una eventual deshidratación. En cambio, cuando se usan estacas o guías, ambas sin raíz, es conveniente plantar a partir de mediados de agosto y hasta principios de septiembre, haciéndola coincidir con la disponibilidad de agua para riego que normalmente ocurre a principios de septiembre. De esta manera, la aplicación del primer riego evita la posible deshidratación de estos materiales, minimizando la probabilidad de fallas (Thomas, 2015).

Densidades de plantación

Las densidades de plantación de macizos (Figura 4) varían en función de los objetivos productivos a mediano y largo plazo. El aprovechamiento final de la madera se obtiene entre los 12 y 15 años, dependiendo de la calidad del sitio y de las prácticas culturales realizadas durante el ciclo forestal. Se recomienda utilizar *densidades bajas* (200 a 350 árboles/ha) cuando el objetivo es producir rollizos de grandes diámetros para la cosecha final sin necesidad de raleo, ya que los árboles crecerán prácticamente sin competencia por los recursos (espacio, luz, agua y nutrientes) hasta el final del ciclo productivo. A modo de ejemplo, marcos de plantación de 8m x 4m o 10m x 5m permiten la producción agrícola entre las filas de árboles sin mermas importantes de rendimientos. En cambio, cuando el objetivo es producir rollizos de menor diámetro o postes a través de un raleo, y rollizos de grandes diámetros en la cosecha final, se recomienda utilizar *densidades intermedias* (400 a 600 árboles/ha). Del mismo modo que en el caso anterior, marcos de plantación de 6m x 3m u 8m x 2m permiten la producción agrícola entre las filas de árboles, pudiendo haber mermas de rendimiento por efecto del sombreado en función de las necesidades lumínicas del cultivo implantado (Thomas, 2015).

Figura 4. Macizo de álamo Guardi plantado con guías a 6m x 3m utilizando barreta hidráulica.



Fuente propia.

Riego

Los álamos y los sauces son muy demandantes de agua, requiriendo al menos 8.000-9.000 m³/ha durante la estación de crecimiento (FAO, 1980). En la región de los valles las precipitaciones varían entre 240 mm en el Alto Valle de Río Negro (Rodríguez y Muñoz, 2006) hasta 400 mm en el Valle Inferior del Río Negro (Musi Saluj, 2018). Debido a que estas lluvias no alcanzan a cubrir las necesidades hídricas de ambas especies, se complementa a través de riegos durante el período de mayor demanda hídrica que ocurre entre los meses de septiembre y abril. El riego se realiza normalmente por manto o inundación, aunque existen experiencias con riego por goteo (Montero y Thomas, 2017). La frecuencia de riegos debe ser alta durante los primeros años, aconsejando regar cada 7 a 10 días, reduciéndose a una frecuencia de 15 días a medida que los árboles crecen y sus raíces aumentan la exploración del suelo y la absorción de la napa freática.

Poda

La poda consiste en la eliminación de algunas ramas con el objetivo de producir madera sin nudos. En el caso de los álamos y sauces, se pueden diferenciar dos tipos de intervención: poda de formación y poda de limpieza de fuste (Amico, 2006).

La *poda de formación* consiste en la eliminación de tallos secundarios, bifurcaciones y ramas laterales que compitan con el tallo principal, con el objetivo de formar un árbol con un único fuste y sin ramas laterales de tamaño importante. Esta intervención se debe realizar durante el segundo o tercer año utilizando tijera de podar, tijerón o eventualmente serrucho.

La *poda de limpieza de fuste* (Figura 5) consiste en la eliminación de ramas laterales de la porción inferior del fuste para poder obtener madera libre de nudos. Cada una de las intervenciones se denomina levante, y suelen realizarse dos levantes de poda hasta lograr un fuste sin ramas de 6 a 8 metros de altura aproximadamente. Debido a que la eliminación de ramas, y por lo tanto de hojas, reduce la capacidad fotosintética, se recomienda no podar más del 50% de la altura total de los árboles en cada intervención, ya que una proporción mayor podría afectar la producción de madera. La extracción de las ramas se realiza con una pértiga con serrucho o con motosierra de altura. Suele utilizarse una plataforma elevada para mejorar la ergonomía de los operarios.

El corte realizado por las diferentes herramientas debe ser limpio, sin desgarros, teniendo la precaución de no lastimar la corteza, que incluye el tejido de cicatrización que se encuentra en la base de la rama, ni dejar una porción de rama o taco, que impedirán una correcta cicatrización de la herida.

La época en la que se acostumbra realizar la poda es el invierno, ya que se dispone de un tiempo prolongado para realizarla y se evita posibles ingresos de patógenos a través de las heridas. La mayor desventaja de realizarla durante el invierno es la emisión de rebrotes, conocidos como “ramas chuponas”. En estudios realizados por Casaubon et al. (2005) en el Delta del Paraná, y Davel y Arquero (2015) en los valles de Patagonia Norte, se observó que las podas realizadas en primavera o verano aceleran la cicatrización y disminuyen la emisión de ramas chuponas. En caso de realizarse en estas estaciones del año, se recomienda desinfectar las herramientas para evitar el contagio ante la eventual presencia de patógenos (ej. *Septoria musiva*).

Figura 5. Poda de limpieza de fuste con plataforma en álamos Guardi (izquierda) y detalle del corte realizado con la motosierra con pértiga extensible (derecha).



Fuente propia

Raleo

El *raleo* consiste en la disminución de la densidad de la forestación mediante la extracción de algunos árboles para eliminar la competencia por recursos y maximizar el crecimiento individual de los árboles remanentes que serán cosechados al final del turno. El momento y la intensidad de los raleos dependen de la densidad de plantación y del objetivo de producción. La respuesta del crecimiento de los árboles remanentes aumenta a mayores intensidades de raleo (Fernandez Tschieder et al. 2011).

La cosecha de una proporción de árboles a una edad intermedia del ciclo forestal permite obtener ingresos económicos por la venta de postes y rollizos de diámetros menores (20 a 30 cm) con destino a la industria del aserrado. En la región de los valles existe un mercado de postes tratados con sulfato de cobre, que se utilizan para las estructuras de conducción de los montes frutales.

Mediante raleos en momentos intermedios del turno se busca producir árboles de mayores diámetros al momento de la cosecha, de los que se obtendrán rollizos destinados a la industria del debobinado para la elaboración de tableros compensados, y a la industria del aserrado para la fabricación de productos de calidad.

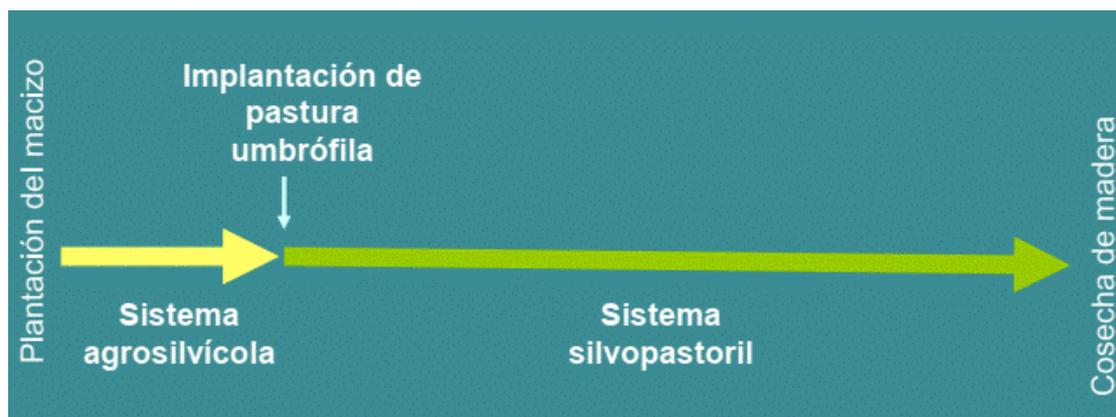
Turno forestal y aprovechamiento de la madera

En la región de los valles, el turno para la producción de madera de calidad varía entre 12 y 15 años, pudiendo cosecharse aproximadamente entre 250 y 300 toneladas dependiendo de la calidad del sitio y del manejo silvícola realizado (Thomas, 2015). También es posible plantear objetivos de más corto plazo como la producción de postes en turnos de 6 a 8 años.

No existe en la región maquinaria forestal como las cosechadoras (harvesters), los autocargadores o los arrastradores (skidders) que permiten realizar el aprovechamiento de la madera en forma mecanizada. El aprovechamiento se realiza en forma manual, mediante el apeo, desrame y trozado de los árboles con motosierra. Luego, los rollizos son cargados en el camión mediante una pala cargadora o un tractor elevador, y acomodados en forma manual para ser trasladados a la industria.

Sistemas agroforestales con álamos y sauces en valles de Patagonia Norte

Las forestaciones en macizos tienen como objetivo producir madera de calidad, y según el marco de plantación es posible la consociación con cultivos agrícolas en *sistemas agrosilvícolas* desde el inicio del ciclo forestal, y con ganadería en *sistemas silvopastoriles* durante los años restantes (Figura 6).

Figura 6. Etapas de un sistema agroforestal de sistema agrosilvícola a silvopastoril.

El diseño de modelos agroforestales debe estar en concordancia con los objetivos productivos a corto, mediano y largo plazo de cada uno de los componentes agrícola, ganadero y forestal (Esquivel, 2017). Por lo tanto, habrá modelos que prioricen la producción agrícola y ganadera, en los cuales la densidad del componente forestal será más baja (200 a 350 árboles/ha), y otros modelos con densidades iniciales mayores (400 a 650 árboles/ha) en los que se priorice la producción forestal, obteniéndose a mediano plazo postes y/o rollizos de diámetros menores para aserrado a través de raleos, y rollizos de diámetros mayores en la cosecha final.

Sistemas agrosilvícolas

Durante los primeros años de las forestaciones con álamos y sauces bajo riego es posible producir forraje para henificar, en forma de rollos o fardos, de pasturas perennes puras (alfalfa u otras) o polifíticas (mezclas con alfalfa, tréboles, raigrás, festuca u otras); y también de pasturas anuales con cebada, avena, centeno, triticale, puras o consociadas con vicia -en otoño-invierno, *verdeos de invierno*-, o con sorgo, mijo, moha -en primavera-verano, *verdeos de verano*-. También es posible producir granos (maíz, sorgo, cebada, avena, triticale) y hortalizas (zapallo, maíz dulce, cebolla y otras) (Cancio y Thomas, 2013; Thomas, 2015).

En esta primera etapa, la sombra irá aumentando gradualmente debido al tamaño de los árboles, y proporcionalmente irá disminuyendo el rendimiento de los cultivos en función de su sensibilidad a la falta de luz (Thomas, 2015). Si bien, en general, los rendimientos durante el primer y segundo año no se ven afectados, se dispone de una superficie neta cultivable menor debido al espacio adyacente a las filas de árboles. Según el marco de plantación elegido, es posible realizar estos cultivos durante una cantidad de años previo a que la sombra comience a limitar la producción. La poda de formación, que se realiza durante esta etapa inicial 2° y 3° año, favorece el ingreso de luz para el desarrollo de los cultivos (Davel y Arquero, 2015).

No es recomendable que durante este período ingresen animales libremente a pastorear dentro de la forestación ya que, debido a la preferencia por las hojas y brotes tiernos de álamos y sauces, pueden provocarles daños importantes (Casaubon, 2013). Eventualmente, en planta-

ciones con distancias amplias entre las filas (8 a 12 m), es posible implementar un sistema de pastoreo con alta carga instantánea en los interfilares utilizando alambrado eléctrico, manteniendo a los animales alejados de los árboles para evitar daños.

En macizos con marcos de plantación amplios -8m x 4m, 10m x 5m, 12m x 4m o configuraciones similares-, que se corresponden con densidades de 200 a 350 árboles/ha aproximadamente, es posible producir rollos o fardos de alfalfa durante los primeros 3 o 4 años sin mermas significativas de rendimiento por efecto del sombreado. En cambio, en marcos de plantación intermedios (6m x 3m; 8m x 2m, 8m x 3m o configuraciones similares), que se corresponden con densidades de 500 a 650 árboles/ha aproximadamente, la producción de forraje sufre una merma significativa (del 50% o más) por efecto del sombreado a partir del tercer o cuarto año (datos propios, no publicados).

La consociación de álamos con alfalfa durante los primeros años en macizos plantados a 6m x 3m y 8m x 3m ha sido el modelo más elegido al momento de adoptar estos sistemas en los valles de Patagonia Norte. También hubo experiencias de producción de rollos de sorgo en los interfilares de macizos plantados a 8m x 3m solamente durante los dos primeros años, ya que es una especie C4 sensible a la falta de radiación.

En INTA Alto Valle, se instaló en 2009 una parcela demostrativa que incluyó un modelo de plantación tradicional con álamos (A) y dos alternativas agroforestales con cultivos consociados (álamos con alfalfa -A+A- y álamos con cultivos hortícolas -A+H-) en un marco de 6m x 3 m. En las subparcelas correspondientes al cultivo de álamos consociado con alfalfa se cosecharon fardos durante los primeros tres años; en las correspondientes al cultivo de álamos consociado con hortícolas, se cultivó zapallo anco durante el primer año y maíz dulce durante el segundo y tercer año; y en las correspondientes al cultivo de álamos sin cultivos intercalares se controló la vegetación espontánea. Al cabo de los 3 años de ensayo se observó un mayor crecimiento en diámetro en los sistemas agroforestales (A+A y A+H) respecto del cultivo tradicional (A) (Thomas et al., 2013; Thomas et al., 2017).

La utilización del espacio interfilar para la agricultura permite aprovechar de manera más eficiente el suelo y el agua de riego disponible, generando ingresos durante los primeros años del ciclo forestal. Además, las labores culturales que demandan los cultivos agrícolas muestran un efecto benéfico sobre el crecimiento inicial de los árboles. Por lo tanto, esta integración de actividades brinda beneficios productivos y económico-financieros.

Sistemas silvopastoriles

A medida que los árboles crecen, aumenta progresivamente el tamaño de la copa reduciendo el ingreso de radiación solar al estrato herbáceo (Thomas, 2015). Cuando la cantidad de radiación limita la producción de cultivos altamente demandantes (heliófilos), es posible implantar pasturas con especies tolerantes a la sombra (umbrófilas) para la producción de forraje durante el resto del ciclo forestal. En este momento se produce la transición de un sistema agrosilvícola a uno silvopastoril.

La cantidad de radiación solar que llega al suelo está en función principalmente de la edad y la densidad de plantación, de la distribución espacial de los árboles para una misma densidad y de la orientación de las filas respecto a la trayectoria diaria del sol (Acciaresi et al., 1993; Douglas et al., 2006). Además, la forma de la copa de los árboles y la cantidad y distribución de ramas tiene gran influencia en la intercepción lumínica. En ese sentido, la elección de clones de álamo y sauce con copas estrechas y menor cantidad de ramas favorece el ingreso de radiación para ser aprovechado por las especies forrajeras. A partir de evaluaciones de nuevos clones en la región se observó un buen desempeño del álamo híbrido (*Populus x canadensis*) 'Ragonese 22 INTA' y de los sauces híbridos (*Salix matsudana x S. alba*) 'Los Arroyos INTA-CIEF' y 'Agronales INTA-CIEF', que desarrollan copas estrechas y los convierte en adecuados para la implementación de sistemas silvopastoriles (Thomas y Cerrillo, 2014; Thomas y Garcés, 2014).

La siembra de las pasturas umbrófilas se debe realizar cuando los niveles de radiación solar que ingresan a través del dosel son mayores a los que esas especies pueden tolerar una vez implantadas. Evaluaciones regionales realizadas en macizos de álamos indican que la implantación de pasturas con especies tolerantes a la sombra debe realizarse cuando el ingreso de luz a través del dosel es de aproximadamente el 50-60% del total de radiación incidente (datos propios, no publicados). Ese momento oportuno se corresponde con el cuarto o quinto año de forestaciones con álamos o sauces implantadas a las densidades utilizadas actualmente (280 a 555 árboles/ha), pudiendo variar sensiblemente según los marcos de plantación utilizados y la orientación de las filas. Una vez implantadas, estas especies se irán adaptando a la disminución progresiva de la cantidad de luz disponible, y por lo tanto variará la producción forrajera hasta el final del ciclo forestal.

Si bien la estación del año adecuada para la siembra de pasturas perennes en regiones templadas-frías es el otoño, las hojas de álamos y sauces que caen en esa época pueden constituir un impedimento físico durante la implantación. Una alternativa para evitar este inconveniente es realizar siembras tempranas en otoño (fines de febrero o principios de marzo) o siembras en primavera. Las especies forrajeras de clima templado-frío que mejor se adaptan a la restricción lumínica propia de estos sistemas silvopastoriles son: pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), festuca (*Festuca arundinacea*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*) (Cancio et al., 2013; Rodríguez et al., 2013). Las pasturas compuestas por una o más de estas especies sustentan la producción ganadera (bovina y ovina principalmente).

En base a evaluaciones realizadas por el INTA Alto Valle, en macizos con densidades intermedias (400 a 555 árboles/ha) es posible disponer a partir del quinto o sexto año entre 2.000 y 3.500 kg/ha/año de forraje de pasturas puras (festuca, pasto ovillo) o mixtas (festuca-tréboles, pasto ovillo-tréboles), concentrado mayormente en primavera-verano (Cancio et al., 2013; datos propios, no publicados). La calidad del forraje varía según las especies implantadas, aportando diferentes valores de fibra y proteína bruta (PB). Pasturas mixtas con pasto ovillo y trébol blanco bajo dosel proveen forraje de calidad, con valores de alrededor del 15% (14,2% a 16,5%) de proteína (PB) y del 67% (63,4 a 68,8%) de digestibilidad de la materia seca (DMS) (Thomas et al., 2016).

Importancia de la poda y raleo en sistemas agroforestales con álamos y sauces

El ingreso de radiación a través del dosel arbóreo varía principalmente en función de la edad de los árboles, de la densidad y distribución espacial de los mismos, y de la cantidad de ramas y hojas en sus copas. A través del manejo silvícola puede incrementarse el ingreso de radiación mediante la disminución de la densidad a través de raleos, y de la cantidad de ramas a través de las podas (Esquivel, 2017). Acciaresi et al. (1993) observaron una disminución del 80% de la producción forrajera en primavera de una pastura mixta (*Bromus unioloides*, *Lolium multiflorum* y *Dactylis glomerata*) bajo dosel de álamos deltoides de 6 años de edad con una densidad de 625 árboles/ha, concluyendo que es necesario ralear para favorecer el ingreso de radiación solar. Cancio et al. (2016) evaluaron la producción de alfalfa en dos niveles lumínicos instalando simuladores de cobertura arbórea (50% de restricción lumínica) en un macizo de álamo híbrido I-488 de 13 años de edad con una densidad de 140 árboles/ha (12m x 6m). Se obtuvieron un total de 4.940 kgMS/ha de forraje en el tratamiento con mayor ingreso de radiación solar (32,3% de transmisividad -12m x 6m- y 2.408 kgMS/ha de forraje debajo de los simuladores de cobertura (16,2% de transmisividad -simulando 6m x 6m-). Thomas et al. (2012) evaluaron la producción de verdeos invernales en un macizo de álamos híbridos euroamericanos raleado a los 14 años de edad, con una densidad final de 140 árboles/ha. Se sembraron dos consociaciones: triticale (*X Triticosecale*) y vicia (*Vicia sativa*), y avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y vicia en callejones de 12 m de ancho, y se obtuvieron 1.968 kgMS/ha para la consociación triticale y vicia, y 2.445 kgMS/ha para la consociación de avena, cebada y vicia.

Estos resultados de experiencias regionales permiten inferir que el raleo en sistemas silvo-pastoriles con álamos, a partir del cual se logra moderar la restricción lumínica, es posible producir forraje a partir de pasturas puras o consociadas.

Utilización de las hojas de álamos y sauces como forraje

Existen experiencias sobre el uso de las hojas de álamos y sauces en verde como suplemento alimenticio para el ganado ovino y bovino en épocas de sequía (McWilliam et al., 2005; Moore et al., 2003). El aprovechamiento de las hojas en verde como forraje se puede realizar de diferentes formas. Una de ellas es a través de las podas, de formación o de limpieza de fuste, realizada en los macizos durante la primavera o verano (Davel y Arquero, 2015). Las hojas de las ramas podadas pueden ser consumidas por el ganado, resultando un excelente complemento forrajero (Casaubon, 2013).

La cantidad de forraje de hojas por unidad de superficie que puede producir un macizo varía según la edad de los árboles, la densidad de plantación, la fertilidad del suelo y el manejo silvícola (podas, riegos, fertilización). Estimaciones realizadas en Nueva Zelanda cosechando ramas con hojas (pollarding) de álamos y sauces de entre 5 y 10 años de edad, indican que pue-

den producir más de 22 kg MS de hojas por árbol, y en árboles de mayor edad la producción puede alcanzar los 60 kg MS/árbol. Las hojas de álamo y sauces en verde tienen valores altos de digestibilidad a (DMS) y proteína bruta (PB). Análisis realizados en Nueva Zelanda muestran que las hojas de álamo poseen 65-70% de digestibilidad y aproximadamente 15% de proteína en primavera-verano (New Zealand Poplar & Willow Research Trust, 2016). En el Delta del Paraná se estudió el valor nutritivo de las hojas de álamos y sauces provenientes de la poda en diferentes momentos del ciclo vegetativo. En el caso de álamos, a pesar de las variaciones encontradas en los valores nutricionales según las diferentes épocas de poda, la digestibilidad fue mayor al 59% (62 ± 3%) y la proteína mayor al 13 % (15,7 ± 2,4%) (Tabla 1 Casaubon, 2013). En el caso de sauces, también se observaron diferencias según el momento, con valores de 26,7% de proteína y 65,9% de digestibilidad en primavera (Casaubon et al., 2017). Estos valores indican que la calidad forrajera de las hojas permite su utilización estratégica en planes ganaderos de cría en momentos de mayor requerimiento nutricional.

Tabla 1. Valores promedios (± desvío estandard) de materia seca (MS), fibra detergente ácido (FDA), digestibilidad estimada (DE), fibra detergente neutro (FDN) y proteína bruta (PB) expresados en porcentaje (%) en hojas de *Populus deltoides* `Australiano 106/60` originados de guías durante el período vegetativo 2009/10.

Mes	MS%	FDA %	DE %	FDN %	PB %
Octubre	20,1±2,5a	32,3±5,0a	63,7±3,9b	50,9±5,8ab	30,2 ±2,0a
Diciembre	36,5±1,0b	27,6±3,3b	67,3±2,6a	48,7±2,6b	15,7±2,4b
Marzo	42,3±1,0c	34,5±3,8a	62,0±3,0b	53,3±2,4a	16,5±2,0b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre meses (Casaubon, 2013).

También es posible aprovechar las hojas caídas en otoño como forraje para rumiantes. Según evaluaciones regionales, a partir del cuarto o quinto año se dispone de aproximadamente 4.500 a 6.000 kg/ha/año de materia seca de hojas según la densidad del rodal. Si bien la calidad forrajera de las hojas en otoño es baja debido a su escasa digestibilidad (DMS: 55-58%) y bajo contenido de proteína (PB: 5-6%), constituye un recurso forrajero del sistema que puede ser aprovechado estratégicamente (Cancio et al., 2013; Cancio y Thomas, 2018). Se evaluó también el consumo a corral de hojas caídas en otoño por ovejas de refugio a corral, reemplazando pellets de alfalfa, como alimento base, por proporciones crecientes (25-50-75%) de hojas de álamo. Se observó que no hubo pérdidas de peso vivo cuando los reemplazos fueron de hasta el 50%, incluso con leve aumento de peso cuando solo se reemplazó el 25% por hojas de álamo, constituyendo un recurso forrajero gratuito y de fácil disponibilidad para esquemas de producción familiar (Jockers et al., 2019).

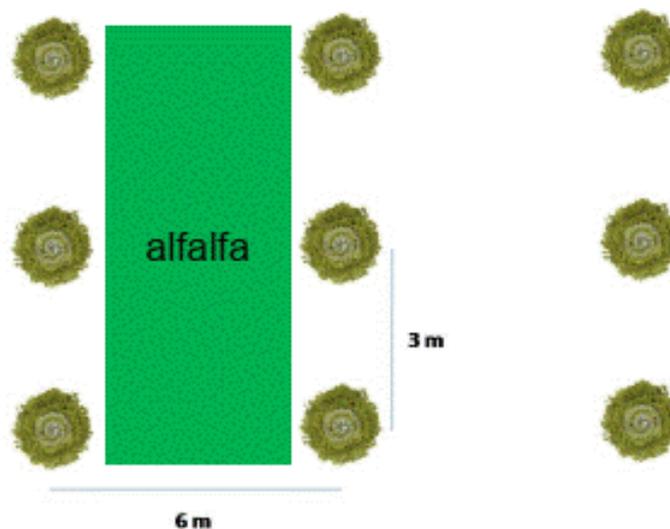
Modelos agroforestales para álamos y sauces en valles irrigados de Patagonia Norte

El diseño de los modelos agroforestales debe estar en concordancia con los objetivos productivos a corto, mediano y largo plazo de cada uno de los componentes: agrícola, ganadero y forestal (Esquivel, 2017). Por lo tanto, habrá modelos que prioricen la producción agrícola y/o ganadera, en los cuales la densidad del componente forestal será más baja (150 a 350 árboles/ha aproximadamente) que la de otros modelos en los que se priorice la producción forestal (350 a 600 árboles/ha aproximadamente) a partir de los cuales se pueden obtener a mediano plazo postes y/o rollizos de diámetros menores para aserrado, y rollizos de grandes diámetros en la cosecha final.

En base a los resultados de investigaciones realizadas por el INTA Alto Valle y a experiencias de productores, es posible sugerir modelos de sistemas agroforestales con álamos y sauces bajo riego que respondan a objetivos productivos en diferentes momentos del ciclo forestal.

Algunos modelos agroforestales que se proponen para la región se basan en la implantación de macizos con distanciamientos amplios (8 a 12 m entre filas y 4 a 6 m entre plantas dentro de las filas), correspondientes a densidades bajas (150 a 300-350 árboles/ha), o con distanciamientos menos amplios (6 a 8 m entre filas y 3 a 4 m entre plantas dentro de las filas) correspondientes a densidades intermedias (300-350 a 600 árboles/ha). La disponibilidad de agua de riego permite producir durante los primeros años, en los interfilares de esos macizos, fardos o rollos de alfalfa, granos o ensilado de planta entera de maíz, rollos de sorgo u otras forrajeras anuales (moha, mijo, centeno, cebada, avena, triticale, vicia, etc.) y diferentes productos hortícolas (Figura 7a y 7b y Figura 8). Según los cultivos asociados elegidos, es factible realizar dos cultivos por año en forma secuencial, como por ejemplo verdeos de invierno y verdeos de verano, o verdeos de invierno y cultivos hortícolas de verano (Thomas y Cancio, 2012; Thomas et al., 2013; Thomas et al., 2017).

Figura 7a. Esquema de modelo agroforestal consociado de álamos o sauces con alfalfa para producción de rollos o fardos.



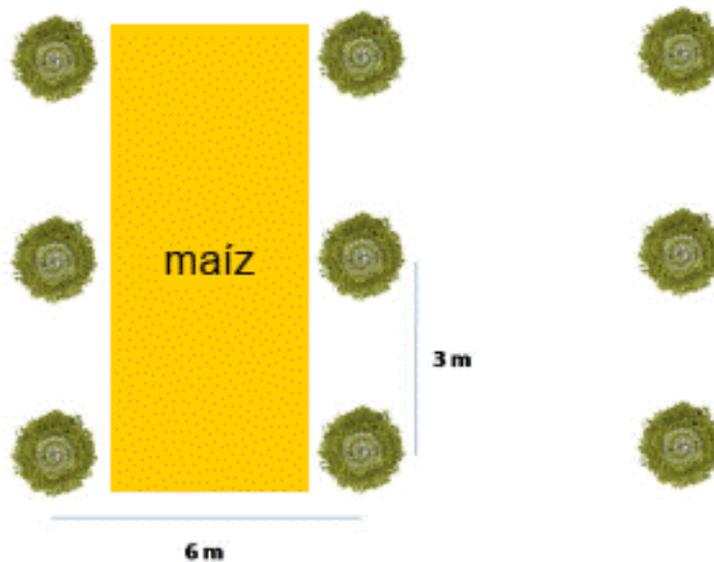
Fuente propia

Figura 7b. Sistema silvoagrícola, agrosilvícola o agroforestal. Álamo con alfalfa.



Fuente <https://inta.gob.ar/noticias/sistemas-agroforestales>.

Figura 8. Esquema de modelo agroforestal consociado de álamos o sauces con maíz para producción de granos o silaje de planta entera.



Fuente propia.

Durante esta etapa no deben ingresar animales a la forestación debido a que las hojas, tallos tiernos y corteza de álamos y sauces son apetecibles y podrían provocar daños irreversibles en los árboles (Casaubon, 2013; Thomas, 2015). Luego de esta etapa inicial y antes de que los niveles de luz sean limitantes para su implantación, se puede realizar la siembra de pasturas perennes, puras o consociadas, con festuca, pasto ovillo y tréboles, o verdeos invernales con avena, cebada, triticale y vicia para el pastoreo directo de los animales (Thomas et

al., 2012; Cancio et al., 2013). En el caso de los macizos con densidades iniciales intermedias (350 a 555 árboles/ha), deberá realizarse un raleo con el fin de favorecer el ingreso de luz y permitir la implantación de las pasturas.

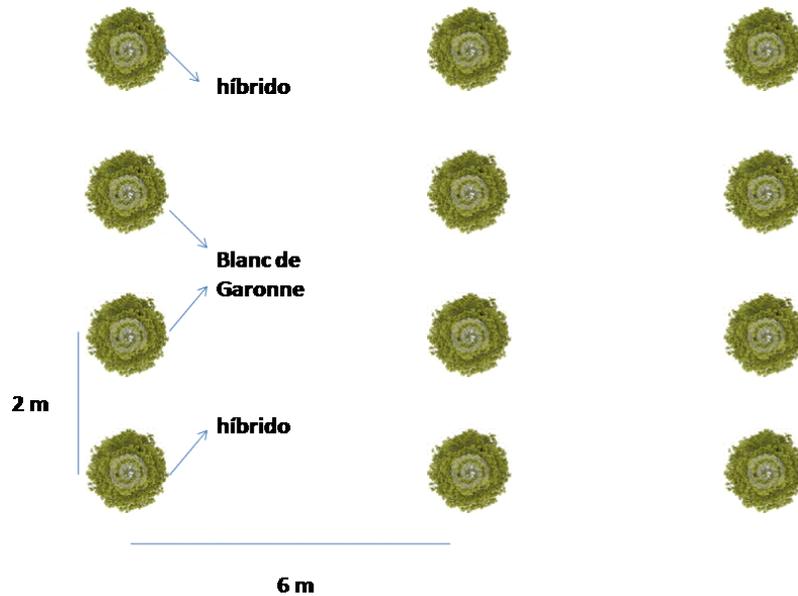
Una vez implantada las pasturas, cuando los árboles alcanzan 10-12 cm de DAP, es posible ingresar los animales a la forestación. En este momento, la producción de forraje se ve disminuida debido a la reducción de radiación que ingresa a través del dosel, generándose además ciertos efectos sobre el estrato herbáceo como cambios en la velocidad de rebrote, cambios en las características morfológicas de las plantas y disminución de la tasa de acumulación de materia seca, lo que provoca una mayor fragilidad del componente forrajero en comparación con la producción forrajera a cielo abierto. Debido a esto y a que las especies que prosperan con menor radiación son las gramíneas perennes, se debe diagramar con mayor cuidado los momentos de pastoreo. Por lo general, el aprovechamiento del forraje se realizará con categorías de menores requerimientos, generalmente vacas de cría o animales livianos en etapa de recría. En estos sistemas se contempla el aprovechamiento forrajero de las hojas del componente forestal además de lo producido por el estrato herbáceo. La utilización de las hojas puede realizarse a través de las podas aprovechando las hojas en verde durante la temporada de crecimiento, o durante el periodo en que caen al suelo cuando finaliza la temporada de crecimiento.

Una alternativa es la implementación de sistemas silvopastoriles con planteos ganaderos de cría vacuna u ovina, en el cual ingresan vacas u ovejas a pastorear debajo de la forestación. En este caso, la venta de terneros y corderos generará ingresos económicos desde aproximadamente el cuarto o quinto año y hasta la cosecha final. La carga animal se deberá ajustar en función de la reducción gradual de la oferta forrajera bajo dosel a través de los años producto de la disminución del ingreso de radiación.

En función de la oferta forrajera a lo largo del año, es posible planificar un pastoreo a fines de primavera para consumir el forraje acumulado en invierno y primavera, y otro pastoreo a fines del otoño que permita consumir el forraje acumulado en verano y otoño, sumando el aporte forrajero de las hojas de álamos y sauces caídas en esta estación del año (Cancio et al., 2013).

La elección de los clones de álamo o sauce estará en función, entre otros aspectos, de los objetivos productivos planteados durante el ciclo forestal. En estos modelos normalmente se planifica utilizar un solo clon de álamo o sauce, cuya elección estará en función del sitio a forestar y del tipo de rollizos demandados por las diferentes industrias regionales. Una alternativa es combinar dos o más clones que permitan cumplir con más de un objetivo a lo largo del ciclo forestal. Por ejemplo, se pueden intercalar dentro de las filas individuos de álamos híbridos euroamericanos (Conti 12, Guardi, I-214, Ragonese 22 INTA, Triplo) e individuos de álamo Blanc de Garonne (*P. nigra* 'Jean Pourtet'), con el objetivo de ralear los álamos Blanc de Garonne para obtener postes y permitir el crecimiento de los álamos híbridos para obtener madera rolliza en la cosecha final (Figura 9).

Figura 9. Esquema de modelo agroforestal combinando dentro de las filas clones de álamos híbridos euroamericanos y álamos Blanc de Garonne.



Fuente propia.

La factibilidad técnica de cada cultivo asociado y del planteo ganadero en los diferentes momentos del ciclo forestal estará en función del marco de plantación inicial, de la planificación de podas y eventuales raleos, y de la tolerancia a la sombra de cada cultivo en particular.

Sistemas silvopastoriles con pino ponderosa en Patagonia Norte

El pino ponderoso ha sido y sigue siendo la especie más utilizada en las forestaciones en Patagonia Norte. Utilizando el marco conceptual de interacciones ecológicas que ocurren entre los componentes de un sistema silvopastoril (SSP), se presentan a continuación resultados de diferentes investigaciones realizadas por el Grupo de Ecología del INTA Bariloche y se proporcionan pautas de manejo para SSP basadas en plantaciones de pino ponderosa establecidas sobre pastizales naturales de Patagonia Norte. Las pautas de manejo sugeridas se basan en procesos ecofisiológicos evaluados a nivel de planta y de rodal.

El área donde se pueden desarrollar los SSP corresponde a los distritos Subandino y Occidental (38° a 46°30'S) de la región fitogeográfica patagónica con altitudes entre 300 y 1800 msnm. (Leon et al., 1998). El clima es templado frío, húmedo hacia los Andes, con más de 1000 mm de precipitación anual, y subhúmedo en el extremo oriental (isoyeta de 400 mm). Las precipitaciones se concentran en otoño e invierno, lo que lleva a veranos secos con menos de 150 mm de precipitación (octubre a abril) (Paruelo et al. 1998).

Los pastizales naturales están dominados por tres de las nueve unidades de vegetación definidas por Paruelo et al. (2004): Estepa herbácea y estepa herbácea-arbustiva en posicio-

nes topográficas relativamente altas con productividades anuales entre 300 y 800 kg MS/ha/año y mallines o praderas en zonas bajas del terreno con disponibilidad de agua permanente o semipermanente y productividades variables entre 1500 y 6000 kg MS/ha/año. Las estepas herbáceas y herbáceo-arbustivas están dominadas por gramíneas perennes C3, especialmente, coirón blanco o dulce (*Festuca pallescens*) y coirón amargo (*Pappostipa speciosa*). Los principales componentes de los arbustos son las especies nativas de *Nassauvia* sp. y *Berberis* sp. Los mallines están dominados por hierbas exóticas como *Taraxacum officinale*, gramínoideas nativos como *Juncus balticus* y *Carex gayana*, la leguminosa introducida *Trifolium repens* y gramíneas C3, como *Phleum pratense* y *Holcus lanatus* y especialmente la exótica *Poa pratensis*.

Componente forrajero en SSP con pino ponderosa

Los sistemas silvopastoriles pueden tener mayores rendimientos en comparación con los monocultivos debido a una mayor captura de recursos y/o efectos de facilitación de los árboles sobre las especies del sotobosque (Huang y Xu, 1999). Numerosos estudios informan una disminución de la producción del estrato herbáceo a medida que crecen los árboles (Kellas et al. 1995; Ong et al., 2000) debido a la alta competencia por recursos de crecimiento como el agua y la radiación. Sin embargo, otros resultados han demostrado que la productividad del sotobosque puede aumentar bajo los árboles en determinadas circunstancias (por ejemplo, Belsky 1994; Holmgren et al., 1997). Los árboles pueden mejorar la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos (Joffre y Rambal, 1988) y la disponibilidad de nutrientes (Belsky, 1994). Además, al reducir los niveles de radiación que alcanzan el sotobosque, disminuyen la demanda evaporativa de las especies del estrato herbáceo (Breshears et al. 1997; Holmgren y col., 1997). Los árboles también amortiguan las temperaturas extremas en invierno y verano (por ejemplo, Garnier y Roy, 1988). El resultado neto de estos efectos sobre la productividad del estrato herbáceo dependerá de las características de la especie (Belsky, 1994; Pugnaire et al., 2011) y de la intensidad de los factores abióticos que condicionan el crecimiento (Callaway y Walker, 1997; Pugnaire et al., 2011).

Las mencionadas especies que componen los pastizales naturales de Patagonia Norte coexisten en varios sitios, pero debido a su diferente tolerancia al estrés abiótico, a veces ocupan diferentes nichos. *Pappostipa speciosa* es una especie heliófila resistente a la sequía (Nicora, 1978), mientras que *Festuca pallescens* es más sensible a la sequía (Nicora, 1978; Fernández, 2003). Por lo tanto, es factible que estas dos especies puedan responder de manera diferente a la presencia del dosel arbóreo y sus diferentes niveles de cobertura (Figura 10).

Figura 10. Sistema silvopastoril con pino ponderosa y pastizal natural de *Festuca pallescens*. Forestación de 25 años, Valle Meliquina, Neuquén.

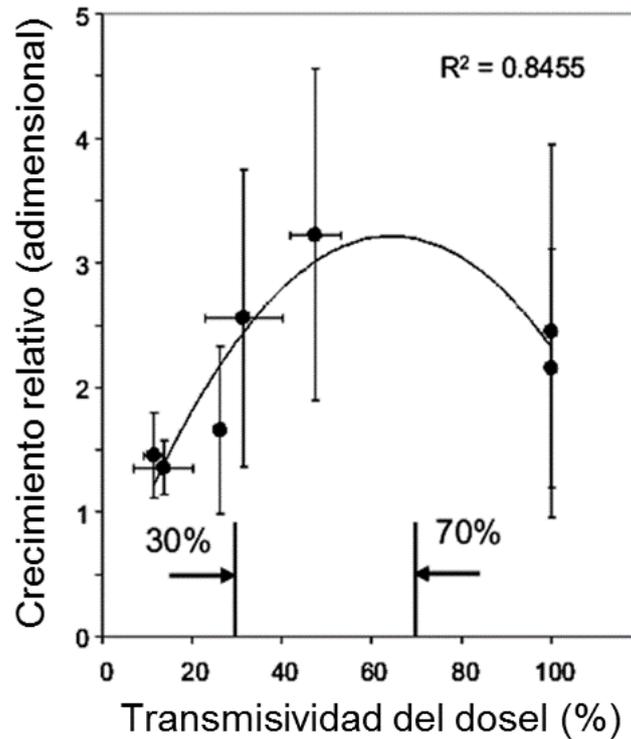


Fuente propia.

Estudios realizados a nivel de planta, mostraron que el crecimiento de *P. speciosa* disminuyó rápida y linealmente con el aumento de la cobertura arbórea (Fernández et al. 2002), mientras que el crecimiento de *F. pallescens* se mantuvo hasta niveles de cobertura arbórea próximos al 60-70% y luego disminuyó sensiblemente (Fernández et al. 2002; Caballé, 2013). En esos niveles de cobertura, la radiación que llega al sotobosque a lo largo de la temporada de crecimiento representó un 45 a 55% de la radiación incidente en zonas abiertas (Fernández et al., 2006; Caballé, 2013, Caballé et al., 2014). Así, en los sitios donde coexisten ambas especies, la presencia de estrato arbóreo de los SSP resulta en la sustitución de *P. speciosa* por *F. pallescens* (Fernández et al. 2005).

Ecológicamente, el efecto neto de los árboles sobre el crecimiento de *P. speciosa* es negativo (competencia neta). La radiación es el recurso de crecimiento más limitante para esta especie tolerante a la sequía y, por lo tanto, la competencia con los árboles domina las interacciones entre ambos estratos. En contraste, el balance neto de las interacciones de los árboles sobre el crecimiento de *F. pallescens*, tolerante a la sombra, puede ser nulo o positivo hasta niveles elevados de cobertura arbórea (Figura 11). Esto es más notorio entre las copas de los árboles en comparación con las posiciones debajo de la copa, ya que la sombra es más densa y la competencia por el agua entre las especies es menor en relación a la posición bajo copa (Fernández et al., 2006; Fernández et al., 2007).

Figura 11. Crecimiento relativo de *Festuca pallescens* en función de la transmisividad del dosel arbóreo. El valor 100% de transmisividad corresponde a zonas a cielo abierto. El crecimiento relativo representa la variación en la cantidad de macollos, la elongación foliar y el número de hojas verdes en una misma planta comparando la situación al inicio de la temporada de crecimiento (octubre) con el final de la temporada (abril).



Fuente: Letourneau et al. (2010)

Estos resultados sugieren que *F. pallescens* es la especie más importante para el desarrollo de SSP con pino ponderosa en Patagonia Norte. Además, esta especie constituye más del 20% de la dieta del ganado doméstico y se distribuye ampliamente en la zona ecotonal (Pelliza Sbriller et al., 1984; Bertiller y Defosse, 1990; Somlo et al., 1997; Caballé et al., 2009). No obstante, los SSP con pino ponderosa sobre estos pastizales naturales de *F. pallescens* van a ser viables si los niveles de cobertura arbórea se mantienen durante todo el turno de corta o ciclo forestal en el rango presentado en la Figura 11. Si el nivel de cobertura excede el 60-70% predomina la competencia entre estratos y el estrato herbáceo comienza a deteriorarse. A diferencia de lo que ocurre en los SSP con Salicáceas en los Valles irrigados, donde se pueden implantar pasturas bajo el dosel, en la zona ecotonal de Patagonia Norte está práctica es irrealizable. Si se pierde el estrato herbáceo, no existe posibilidad de recuperarlo y el SSP se transforma en una plantación forestal convencional.

Silvicultura de pino ponderosa en sistemas silvopastoriles

Los estudios ecofisiológicos presentados en el apartado anterior, para *F. pallescens* creciendo bajo dosel de pino ponderosa, indican que el umbral crítico de cobertura del dosel, se ubicaría próximo al 70% (Caballé, 2013). Por encima de este nivel, el efecto facilitador que generan los árboles sobre el estado hídrico del estrato herbáceo se pierde debido a la fuerte competencia por radiación. El manejo silvícola, a partir de raleos y podas, permite regular los niveles de cobertura arbórea para no superar este umbral crítico. Esto se puede lograr mediante el uso de modelos de rendimiento y crecimiento forestal.

Piltriquitron (Andenmatten et al. 2007) es un modelo empírico desarrollado por INTA, para predecir específicamente el crecimiento y rendimiento del pino ponderosa en las condiciones de crecimiento de Patagonia Norte. Mediante el análisis de fotografías hemisféricas tomadas en 63 rodales de pino ponderosa distribuidos entre los 36° y 42°S (la mayor parte del área potencial de plantación de la especie en la Patagonia), se estimaron con precisión los parámetros de cobertura del dosel. Para cada rodal, mediante un inventario forestal, se estableció la relación entre sus parámetros estructurales y la cobertura arbórea obtenida en el análisis de la foto hemiesférica. El mejor ajuste, se encontró entre la apertura del dosel (% de cielo visible) y el índice de densidad relativa de Curtis. La densidad relativa de Curtis se basa en la relación entre el tamaño del árbol y el número de árboles por hectárea (Letourneau et al. 2010). Esta relación se utilizó en el modelo Piltriquitron y, considerando los umbrales críticos de cobertura arbórea necesarios para evitar la pérdida del estrato herbáceo, se simuló programas de raleo.

Las simulaciones mostraron que para un rodal plantado a 1111 árboles/ha en un sitio de calidad intermedia, era necesario realizar dos raleos para no exceder el umbral crítico del 70% de cobertura arbórea (Tabla 2). En la cosecha final a la edad de 33 años, el rodal tendría 75 árboles/ha con un DAP medio de 45 cm. Incluyendo los raleos, la producción total sería de 280 m³/ha.

Por otro lado, estudios de los efectos de la poda sobre el pino ponderosa han demostrado que la poda reduce la productividad, y esto se magnifica en los árboles que crecen a densidades altas (Gyenge et al. 2010). Esto implica que el umbral de poda (es decir, el porcentaje de copa viva podada) es inversamente proporcional a la densidad del rodal y la disponibilidad de recursos.

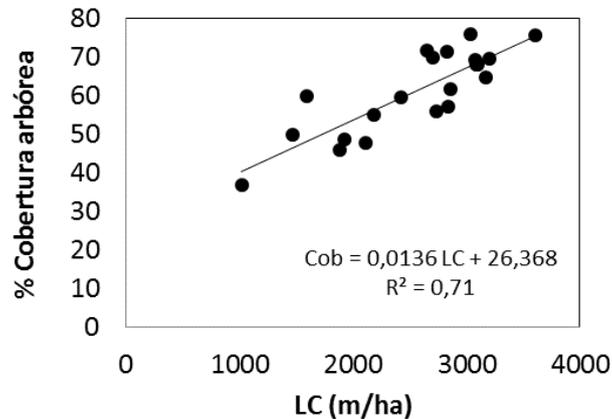
Tabla 2. Simulación de manejo forestal para SSP con pino ponderosa en distintas calidades de sitio manteniendo la cobertura arbórea por debajo del 70% evitando alcanzar el umbral crítico limitante para el desarrollo del estrato herbáceo de *F. pallescens*. IS (20): Índice de sitio, altura dominante promedio a los 20 años, Dg: Diámetro cuadrático promedio.

Índice de sitio IS ₍₂₀₎ (m)	1er Raleo	2do Raleo	Corta final	Producción comercial (m ³ /ha] > 15 cm punta fina	Producción bruta (m ³ /ha) incluye los raleos
18.6	13 años 1111 a 290 árboles/ha Dg = 13.9 cm	24 años 290 a 77 árboles/ha Dg = 34.0 cm	29 años 77 árboles/ha Dg = 45.6 cm	196	290
16.4	15 años 1001 a 248 árboles/ha Dg = 15.3 cm	29 años 248 a 68 árboles/ha Dg = 36.8 cm	33 años 68 árboles/ha Dg = 44.8 cm	195	287
13	18 años 1083 a 290 árboles/ha Dg = 13.9 cm	36 años 290 a 78 árboles/ha Dg = 33.6 cm	45 años 78 árboles/ha Dg = 45.3 cm	185	276

Fuente propia.

A manera orientativa, en la Figura 12 se muestra la relación existente entre el porcentaje de cobertura arbórea y los metros lineales de copa viva por hectárea de pino ponderosa. A partir de esta relación, tomando datos de inventario de altura total de los árboles y altura de inicio de copa, se pueden calcular en base a la densidad de la plantación, los metros lineales de copa viva y a partir de ese dato estimar el nivel de cobertura arbórea. Valores entre 1700 y 2000 metros lineales de copa viva por hectárea darían como resultado una cobertura arbórea próxima al 50%. Si se sobrepasa este valor se podrá optar por un nuevo levante de poda o por un nuevo raleo para no resentir la producción forrajera y viabilizar el sistema silvopastoril.

Figura 12. Relación entre el porcentaje de cobertura arbórea y largo de copa viva en metros lineales (LC m/ha) para pino ponderosa. El valor de referencia 50% de cobertura representa aproximadamente 1700 m/ha de copa viva.



Claramente, con el fin de mantener un dosel abierto durante toda la rotación, es necesario resignar producción de madera respecto a una producción puramente forestal (Tabla 2). En contrapartida, luego de un periodo inicial de 4 a 8 años de exclusión del ganado para evitar daños sobre los árboles, se podrían generar ingresos anuales por venta de productos de origen animal durante el resto del turno de corta, es decir, para el ejemplo anterior, durante 20 años se podrían combinar la actividad ganadera y forestal.

Crecimiento del pino ponderosa, productividad del rodal y calidad de la madera

A medida que los árboles de un SSP crecen, las relaciones ecológicas entre pastos y árboles cambian en magnitud y dirección. En el momento de implantación de los pinos, los pastos y arbustos presentes en el pastizal natural compiten durante algunas temporadas de crecimiento (de tres a cinco, según la disponibilidad de recursos, Letourneau y Andenmatten, 2007). A medida que los pinos se hacen más grandes, la competencia disminuye o se vuelve neutra. Los tratamientos de desmalezado o el pastoreo del pastizal natural previo al momento de implantación de los pinos pueden ser herramientas de manejo útiles para evitar la competencia inicial y permitir una correcta implantación del estrato arbóreo.

Es bien sabido, que el crecimiento en diámetro de los árboles disminuye en la medida que aumenta la densidad de manejo. En el caso particular de las plantaciones de pino ponderosa en Patagonia Norte, los árboles que crecen en SSP mostraron un crecimiento anual en diámetro 2,5 a 3 veces mayor que árboles de plantaciones densas con destino de producción de madera, de la misma edad creciendo en sitios similares (DAP: 18 y 6 mm/año, respectivamente,

Gyenge et al., 2010). En términos de productividad, los rodales de 15 años con 350 y 500 árboles/ha presentaron incrementos anuales de 14 y 19 m³/ha/año, respectivamente. Una plantación adyacente de la misma edad, no raleada, con 1300 árboles/ha tuvo un incremento anual de 13 m³/ha/año (Gyenge et al. 2010).

En relación a la calidad de madera del pino ponderosa se encontró que la densidad promedio de la madera no cambia para un rango importante de densidades de manejo, a pesar de las diferencias en las tasas de crecimiento anual (Martínez Meier et al. 2013). Sin embargo, fue posible determinar diferencias de densidad entre las porciones de madera temprana y madera tardía del anillo anual de crecimiento (Martínez Meier et al., 2013). Por el contrario, el aumento de la densidad de manejo presentó un efecto positivo sobre el Módulo de Elasticidad (MOE), una propiedad mecánica que define la rigidez de la madera y su aptitud para uso estructural. Rodales de pino ponderosa de 35 años de edad con 1300 árboles/ha presentaron un 30% más de MOE en relación a rodales de la misma edad con 100 árboles/ha, estructura deseable en un SSP de esa edad (Caballé et al., 2016).

Componente animal en SSP con pino ponderosa

La zona del ecotono estepa-bosque donde se pueden desarrollar los SSP con pino ponderosa es una estrecha franja de 50 km de ancho que se extiende a lo largo de la provincia de Neuquén, Río Negro y Chubut, entre los paralelos 36 y 42°S. En esta extensión se manifiestan diferentes sistemas de producción animal. Estos incluyen, producción caprina en la zona norte de Neuquén, actividad de cría extensiva ovina sobre sierras y mesetas hacia el E y cría y recría bovina en las zonas de precordillera o bosques andinopatagónicos. La información disponible sobre el componente animal bajo SSP con pino ponderosa es escasa. Existen antecedentes provenientes de la zona norte de la provincia de Neuquén, donde el sistema de producción tradicional es la ganadería de trashumante basada en la "cabra criolla".

Cabra criolla en SSP del norte Neuquino

La actividad caprina trashumante del norte neuquino, involucra aproximadamente a 1700 pequeños productores que utilizan las tierras altas de la Cordillera de los Andes como sitios de pastoreo de verano (veranada) y las estepas ubicadas hacia el E como sitios de invernada. El desarrollo de SSP, puede ser posible solo en los sitios de veranada. Las escasas precipitaciones, inferiores a 300 mm anuales, de los sitios esteparios de las invernadas, limitan el crecimiento del pino ponderosa. El período de veranada generalmente comienza los primeros días de diciembre y dura aproximadamente 120 días, hasta principios de abril. La ingesta diaria de materia seca de una cabra criolla se aproxima al 3% de su peso vivo, es decir, 1,2 kg MS. Si se contempla el consumo del 50% de la biomasa presente en el pastizal natural, la capacidad de carga animal de un SSP en estas áreas sería de 2 a 4 cabras/ha durante este período de veranada de cuatro meses (Figura 13).

Figura 13. Sistema silvopastoril basado en pastizales naturales, Pino ponderosa y “cabra criolla” en el norte de la provincia de Neuquén, Argentina.



Fuente propia.

Evaluaciones realizadas durante 3 años consecutivos en SSP en zonas de veranada, demuestran que el peso vivo y la condición corporal de las cabras durante todo el período de veranada, no se diferenció de los animales que pastorearon el mismo periodo zonas abiertas de pastizal natural (producción ganadera convencional). Sin embargo, las ganancias diarias de peso mostraron una tendencia favorable hacia los animales que pastorearon en el SSP. Los chivitos, “dientes de leche” (principal producto de estos sistemas de producción), duplicaron su peso durante el período de la veranada alcanzando pesos vivos de 23 a 26 kg en abril. Las cabras madres, recuperaron posparto entre 5 y 10 kg durante el periodo de veranada en el SSP. Estos valores no se diferenciaron de los obtenidos en el mismo periodo en animales en condiciones de producción tradicional. Tanto los animales del SSP como los del sistema de producción convencional salieron de la veranada con una condición corporal mayor a 2, umbral crítico requerido para recibir servicio durante la invernada siguiente.

Preferencia, dieta y daño al componente arbóreo por parte de la cabra criolla

El ramoneo y el pisoteo de los animales pueden causar graves daños a los árboles durante las primeras etapas de un SSP, e inclusive, en algunos casos, provocar la muerte de los árboles. La ingesta voluntaria de follaje, ramas o corteza responde a la capacidad física digestiva del animal, la preferencia de dieta, las demandas de energía, la calidad del forraje y la disponibilidad relativa de cada componente (Minson, 1990). Respecto a la preferencia de dieta, las cabras son menos

selectivas que los ovinos y bovinos, y su dieta generalmente incluye más especies leñosas (Animut et al. 2008). Por lo tanto, las cabras potencialmente pueden causar más daño a los árboles jóvenes en los sistemas SSP que otras especies de animales domésticos.

Se realizaron estudios de dieta en cabras criollas pastoreando en SSP con pino ponderosa, de edad juvenil, en los que al momento de ingresar los animales no se había realizado el primer levante de poda. La composición botánica de la dieta mostró un mayor consumo de árboles y arbustos (47%) respecto a gramíneas (30%), hierbas (17,4 %) y graminoides (5,3%). El componente de árboles y arbustos aumentó en los animales más jóvenes (dientes de leche y cabras de dos dientes), mientras que el componente de gramíneas fue mayor en los animales más viejos (4 o más dientes). El 80% del componente de árboles y arbustos en la dieta estuvo representado por las siguientes especies, en orden de importancia: *P. ponderosa* (13%), *Berberis sp.* (7%), *Nothofagus antarctica*, ñire (7%), *Chuquiraga sp.* (5,5%), *Ephedra sp.* (4%), *Adesmia sp.* (3%) y *Gaultheria sp.* (3%). El componente gramíneo estuvo representado por cuatro especies, en orden de importancia: *F. pallescens* (11%), *Poa sp.* (6%), *Rytidosperma sp.* (6%) y *Bromus setifolius* (3%). El componente hierbas, quedó representado por el único género presente, *Acaena sp.* Durante el período veranada, el 37% de la dieta de las cabras criollas estuvo compuesto por *F. pallescens*, *P. ponderosa* y *Acaena sp.*

La preferencia de dieta, considerada como la relación entre la proporción en la dieta de una especie y su disponibilidad en la zona de pastoreo, presentó el siguiente orden: 1- ñire (*N. antarctica*) especie arbórea nativa y el arbusto leguminoso *Anarthrophyllum rigidum*, llamado localmente “mata guanaco”, 2- la hierba *Acaena splendens*, 3- las gramíneas *Poa lanuginosa*, *Poa ligularis* y *F. pallescens*, localmente llamadas “coirones”, y 4- las acículas de pino ponderosa.

Si bien las acículas de pino ocuparon el cuarto lugar en la preferencia de dieta de las cabras, su contribución promedio a la dieta fue superior al 13% con un pico en febrero del 18%, momento en el que fue la especie vegetal más consumida. Esto se debe a su distribución espacial homogénea debido al marco de plantación y a la alta disponibilidad de este material (756 kg MS/ha). Esta cantidad de materia seca es aproximadamente el 70% de la materia seca total de los pastizales naturales bien conservados y más del doble de la materia seca presente en los pastizales degradados (Caballé et al., 2011).

El daño severo por ramoneo asociado con el consumo de acículas se verificó en árboles menores a 1,5 m de altura donde en algunos casos se produjo la muerte del ápice de la planta (Figura 14). Los árboles de más de 1,5 m de altura exhibieron defoliación parcial o total de las ramas basales y no presentaron ningún daño en los fustes luego de 120 días de pastoreo continuo. La frecuencia del daño sobre los pinos aumentó en la medida que el pastizal circundante presentaba indicios de degradación. En pastizales con abundancia de *A. splendens* y *P. speciosa* y más de 30% de suelo desnudo, el daño sobre los pinos fue elevado. Así, en SSP con pino ponderosa, las cabras deben introducirse una vez que los árboles superen 1,5 m de altura. Además, se debe prestar especial atención al estado de conservación de los pastizales. Dependiendo de la calidad del sitio, el período de exclusión de pastoreo necesario para que los árboles superen 1,5 m de altura puede ser de 2 a 6 años.

Figura 14. Daño severo por ramoneo de cabra criolla sobre pino ponderosa menor a 1,5 m de altura.



Fuente propia.

Calidad forrajera y disponibilidad de acículas de pino

Los pastizales naturales de Patagonia Norte, fuera de las áreas de mallines con alta productividad, tienen un marcado gradiente de producción definido principalmente por la disminución de las precipitaciones anuales en sentido O-E y la alta estacionalidad de las lluvias que se concentran principalmente en el invierno y principios de primavera. La producción primaria neta aérea está controlada durante el invierno por las bajas temperaturas y durante el final de la primavera y el verano por la disponibilidad de agua (Jobbagy y Sala, 2000). Estas condiciones climáticas hacen que la calidad nutricional de las principales especies forrajeras disminuya notablemente a medida que avanza la temporada de crecimiento y alcance únicamente para satisfacer las necesidades de mantenimiento del ganado doméstico (Somlo et al.; 1985).

El valor promedio de proteína bruta de las acículas verdes de pino ponderosa alcanzó valores cercanos a 9,2%, considerablemente más alto que la concentración promedio de 5,7% encontrada en las gramíneas perennes del pastizal natural (*Poa sp.*, *Agrostis sp.*, *Festuca sp.*, *Pappostipa sp.*) pero más baja que la encontrada en las hojas de los arbustos (12%), ya que la

mayoría son leguminosas (Caballé et al., 2009). Además, a diferencia de las gramíneas, donde la concentración de proteína bruta cae del 7,2% al 4,6% a medida que avanza la temporada de crecimiento, la proteína bruta de las acículas verdes del pino permaneció igual o incluso aumentó hacia el final de la temporada (Caballé et al., 2010).

Las diferencias encontradas en la concentración de proteína bruta entre las acículas de pino y las principales especies forrajeras del pastizal natural sugieren que el aporte del pino a la dieta de las cabras en el norte neuquino puede ser importante, especialmente al final de la estación seca cuando las gramíneas contienen solo la mitad de su concentración. Sin embargo, la digestibilidad de la materia seca de las acículas de pino (53%) es muy baja y similar a la digestibilidad de las gramíneas nativas de peor calidad como *Pappostipa speciosa* (Somlo et al. 1985). Esto está directamente relacionado con la alta concentración de lignina de las acículas de pino. La baja digestibilidad y el efecto negativo de los compuestos secundarios presentes en las acículas de pino sobre la microflora del rumen probablemente impiden que los animales aumenten la aún más la ingesta de acículas (Pfister et al. 1992).

Tabla 3. Calidad forrajera de las especies del pastizal natural y del pino ponderosa en SSP en el norte neuquino. FD: Fibra detergente ácida, PB: Proteína bruta, DMS: Digestibilidad de la materia seca.

Especies	Sitio	FDA (%)	PB (%)	DMS (%)
<i>Agrostis sp.</i>	Pastizal natural	3.8	6.8	67.5
	Sistema silvopastoril	4.3	7.0	65.2
<i>Festuca sp.</i>	Pastizal natural	7.1	5.4	56.5
	Sistema silvopastoril	7.8	5.2	54.7
<i>Poa sp.</i>	Pastizal natural	4.3	6.1	63.6
	Sistema silvopastoril	4.6	6.7	65.9
<i>Pappostipa sp.</i>	Pastizal natural	7.3	4.6	54.7
	Sistema silvopastoril	8.2	5.5	53.1
<i>Acaena splendens</i>	Pastizal natural	6.2	6.4	68.3
	Sistema silvopastoril	8.4	7.5	61.5
<i>Anarthrophyllum rigidum</i>	Pastizal natural	19.3	12.0	52.5
	Sistema silvopastoril	18.4	12.5	56.6
<i>Pinus ponderosa</i>	Sistema silvopastoril	15.6	9.2	53.3
<i>Nothofagus antarctica</i>	Pastizal natural	12.2	8.3	59.8

Fuente propia.

Referencias

- Acciaressi H.A., Marlats, R.M., Marquina J. (1993). Sistemas Silvopastoriles: incidencia de la radiación fotosintéticamente activa sobre la fenología y la producción estacional forrajera. *Invest. Agr., Sist. Recur. For.* Vol.2 (1), pp.19-30.
- Amico I. (2006). Viverización y cultivo de álamos y sauces en el noroeste de Chubut. Ediciones INTA. Bs As. 52 pp.
- Bava J. (2017). Inventario nacional de plantaciones forestales. Inventario de plantaciones forestales bajo riego. Región Patagonia.
- Belsky A. J. (1994). Influences of trees on savannah productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology* 75: 922–932.
- Bertiller M. and Defossé G. E. (1990). Grazing and plant growth interactions in a semiarid *Festuca pallescens* grassland (Patagonia). *Journal of Range Management* 43(4): 300-303.
- Breshears D. D.; Rich P. M.; Barnes F. J. and Campbell K. (1997). Overstorey-imposed heterogeneity in solar radiation and soil moisture in a semiarid woodland. *Ecological Applications* 7: 1201-1215.
- Caballé G. (2013). Efecto interactivo de la defoliación del estrato herbáceo y la cobertura del estrato arbóreo sobre el crecimiento del estrato herbáceo en sistemas silvopastoriles. Tesis doctoral, EPG-FAUBA, UBA, 216 pp.
- Caballé G.; Borrelli L.; Avila M.; Castañeda S.; Inostroza L.; Muñoz O. y Reising C. (2011). Interacción planta-animal: la cabra criolla y su preferencia por el pino ponderosa. II Congreso Nacional Silvopastoril, Santiago del Estero, Argentina.
- Caballé G.; Dezzotti A.; Sbrancia R.; Stecher G.; Reising C.; Bonvissuto G.; Fernández M. E.; Gyenge J.; Schlichter T. (2009). Estudio de caso: Interacción entre el pastizal natural, la plantación de pino y el ganado caprino en el sistema silvopastoril experimental de Mallín Verde (Neuquén). Pp. 1-7, I Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Posadas, Misiones, Argentina.
- Caballé G.; Fernández M.E.; Gyenge J.; Lantschner V.; Rusch V.; Letourneau F. and Borrelli L. (2014). Chapter 5: Silvopastoral systems based on natural grassland and ponderosa pine in Northwestern Patagonia, Argentina. *Silvopastoral Systems in Southern South America*. Peri P. L.; Dube F.; Varella A. Ed. *Advanced in Agroforestry*, Springer Verlag. pp. 89-117.
- Caballé G.; Reising C. y Cohen L. (2010). Valor nutritivo y disponibilidad de materia seca de pino ponderosa en sistemas silvopastoriles. I Congreso Internacional Agroforestal Patagónico, Coyhaique, Chile.
- Caballé G.; Santaclara O.; Jovanovski A.; Gonda H.; Diez J.P.; Almeida J.; Antonelli J.; Martínez Meier A.; Merlo E. (2016). Wood quality of *Pinus ponderosa* in silvopastoral systems in NW Patagonia, Argentina. Physical and acoustic evaluation. *World Congress Silvo-Pastoral Systems 2016*, Evora, Portugal. Andenmatten E.; Letourneau F. y Getar E. 2007 Simulador forestal para *Pseudotsuga Menziesii* (Mirb) Franco y *Pinus ponderosa* (Laws) en Patagonia

- Argentina. En: Gonda, H; Davel, M; Loguercio, G; Picco, O, (Eds) 1ra.Reunión sobre Forestación en la Patagonia. Ecoforestar 2007, Esquel, Chubut, Argentina.
- Callaway R. M. and Walker L. R. (1997). Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78: 1958-1965.
- Cancio H.; Thomas E. (2011). Utilización de una barreta hidráulica para la plantación de guías de álamos en los valles irrigados de Patagonia Norte. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquén, 16 al 19 de marzo de 2011.
- Cancio H.; Thomas E. (2012). Producción de triticale en un sistema agroforestal con álamos bajo riego. 2° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero, 9 al 11 de mayo de 2012.
- Cancio H.; Thomas E. (2018). Utilización de hojas de álamo (*Populus x canadensis* Moench.) como recurso forrajero en sistemas silvopastoriles. 41° Congreso Argentino de Producción Animal. Mar del Plata, 16 al 19 de octubre de 2018.
- Cancio H.; Thomas E.; Caballé G. (2016). Producción de alfalfa en dos niveles lumínicos en un sistema silvopastoril con álamos euroamericanos. III Congreso Internacional Agroforestal Patagónico. Puerto Natales, Chile, 14 al 16 de diciembre de 2016.
- Cancio H.; Thomas E.; Montero E. (2013). Disponibilidad de forraje de *Dactylis glomerata* en otoño en sistemas silvopastoriles con álamos híbridos. II Jornadas Forestales de Patagonia Sur - 2° Congreso Internacional Agroforestal Patagónico. El Calafate (Santa Cruz), 16 al 18 de mayo de 2013.
- Casaubon E. (2013). Establecimiento de Sistemas Silvopastoriles. Efecto de la edad del material de multiplicación y manejo del pastoreo con bovinos. M.Sc. thesis. Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano. Facultad de Agronomía. Buenos Aires. Argentina.
- Casaubon E., Casado, M.; Gurini L.; Cerrillo T.; Corvalan G.; Gamietea I.; Fernandez M.; Ravalli J. (2017). Valor forrajero de hojas de sauce (*Salix* spp.) y del pastizal natural en el Delta del Paraná. 40° Congreso Argentino de Produccion Animal. Córdoba, 6 al 9 de noviembre de 2017.
- Casaubon E.; Cueto G.; González A.; Spagarino C.; S. Ortiz. (2005). Resultados preliminares de dos ensayos orientativos de épocas de poda en *Populus deltoides* cv Stoneville 67 en el bajo delta bonaerense del Río Paraná. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes, septiembre de 2005.
- Casaubón E.; Peri P.; Cornaglia P.; Carou N.; Cueto G. (2012). Valor forrajero de hojas de álamo en el bajo delta del Río Paraná. Segundo Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero. Argentina. ISBN 978-987-679-123-6.
- Cortizo S.; Cerrillo T.; Thomas E.; Monteverde S. (2016). Subprograma Salicáceas (*Salix* y *Populus*). En Libro: Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. Martín A. Marcó et al. Componente Plantaciones Forestales Sustentables del Proyecto de Manejo Sustentable de Recursos Naturales BIRF 7520. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Agroindustria. Unidad para el Cambio Rural (UCAR). 10 422 pp.
- Davel M.; Arquero D. (2015). Evaluación de la intensidad de poda en plantaciones de álamos en Patagonia Norte. *Revista Patagonia Forestal*, junio 2015. CIEFAP.

- Douglas G. B., A. S. Walcroft, S.E. Hurst, J.F. Potter, A.G. Foote, L.E. Fung, W.R.N. Edwards and C. van den Dijssel. (2006). Interactions between widely spaced young poplars (*Populus* spp.) and introduced pasture mixtures. *Agroforestry Systems*, vol. 66, no. 2, pp. 165–178.
- Esquivel, J. (2017). Sistemas silvopastoriles: un aporte a la ganadería carbono neutro. XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, 5 y 6 de octubre de 2017.
- FAO (1980). Los álamos y los sauces. Colección FAO: Montes N°10. Roma. 349 p.
- Farrell J.G.; Altieri M.A. (1999). Sistemas agroforestales. En: *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Altieri M.A. (ed). Editorial Nordan Comunidad. Montevideo, Uruguay. pp. 229-243.
- Fernández M. E. (2003). Influencia del componente arbóreo sobre aspectos fisiológicos determinantes de la productividad herbácea en sistemas silvopastoriles de la Patagonia Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Comahue. 240 pp.
- Fernández M. E.; Gyenge J. E. and Schlichter T. M. (2006). Growth of the grass *Festuca pallescens* in silvopastoral systems in a semi-arid environment, Part 1: Positive balance between competition and facilitation. *Agroforestry Systems* 66 (3): 259-269.
- Fernández M. E.; Gyenge J. E. and Schlichter T. M. (2007). Balance of competitive and facilitative effects of exotic trees on a native Patagonian grass. *Plant Ecology* 188 (1): 67-76.
- Fernández M. E.; Gyenge J. E.; Dalla Salda G. and Schlichter T. M. (2002). Silvopastoral systems in NW Patagonia: I. growth and photosynthesis of *Stipa speciosa* under different levels of *Pinus ponderosa* cover. *Agroforestry Systems* 55: 27-35.
- Fernández M. E.; Rusch V.; Gyenge J. E. y Schlichter T. M. (2005). La heterogeneidad de la vegetación en plantaciones forestales en el N.O. de la Patagonia. In: *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León*. Ed. M. Oesterheld, M. Aguiar, C. Ghersa, J. Paruelo. F.A.U.B.A., Buenos Aires, Argentina. pp: 413-428. ISBN: 950-29-0902-X
- Fernández Tschieder E.; Borodowski E.D.; García Cortés M. y Signorelli A. (2011). Efecto de la intensidad de raleo sobre el crecimiento de *Populus deltoides*. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquen, 18 al 21 de marzo de 2011.
- García J.; Aguerre, M.; Denegri G.; Acciaresi G. (2017). Aplicación del sistema de valor a la planificación del desarrollo de las cadenas forestoindustriales de álamos ubicadas en el norte de la Patagonia argentina. *Revista DELOS. Desarrollo Local Sostenible*; vol. 10, N°29, 16 p.
- García J.; Serventi N. (2006). Situación actual y perspectivas del cultivo de Salicáceas bajo riego en Patagonia. *Disertación. Jornadas de Salicáceas 2006*. Buenos Aires, 28 a 30 de septiembre de 2006.
- Garnier E. and Roy J. (1988). Modular and demographic analysis of plant leaf area in sward and woodland populations of *Dactylis glomerata* and *Bromus erectus*. *Journal of Ecology* 76: 729-743.
- Gyenge J.; Fernández M. E.; Schlichter T. M. (2010). Effect of stand density and pruning on growth of ponderosa pines in NW Patagonia, Argentina. *Agroforestry Systems* 78(3): 233-241. DOI: 10.1007/s10457-009-9240-z.

- Holmgren M.; Scheffer M.; Huston M. A. (1997). The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78(7): 1966-1975.
- Huang W. and Xu Q. (1999). Overyield of *Taxodium ascendens*-intercrop systems. *Forest Ecology and Management* 116: 33-38.
- Jobby E. and Sala O. (2000). Controls of grass and shrubs aboveground production in the Patagonian steppe. *Ecological Applications* 10: 541-549.
- Jockers E.; Ortiz S.; Thomas E.; Escobar G. (2019). Utilización de hojas de álamo en la alimentación de ovejas de refugio durante el otoño-invierno en el Alto valle de Río Negro. V Congreso del Foro de Universidades Nacionales para la Agricultura Familiar. Cinco Saltos, 15 y 16 de mayo de 2019.
- Joffre R. and Rambal S. (1988). Soil water improvement by trees in the rangelands of southern Spain. *Oecologia Plantarum* 9: 405-422.
- Kellas J. D.; Bird P. R.; Cumming K. N.; Kearney G. A. and Ashton A. K. (1995). Pasture production under a series of *Pinus radiata*-pasture agroforestry systems in South-west Victoria, Australia. *Australian Journal of Agriculture Research* 46: 1285-1297.
- Lassig J. y Palese C. (2011). Cortinas forestales: nuevos aspectos fluidodinámicos. Disertación. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquén, 18 al 21 de marzo de 2011.
- León R. J. C.; Bran D; Collantes M.; Paruelo J. M.; Soriano A. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8: 125-144.
- Letourneau F. J. y Adenmatten E. (2007). Crecimiento de Pino ponderosa en el corto y mediano plazo: respuesta a la remoción de vegetación en el sitio de plantación. En *Actas Ecoforestar 2007*, pp. 25-27.
- Letourneau F. J.; Caballé G.; Andenmatten E. y De Agostini N. (2010). Simulación de manejo silvícola en base a umbrales de cobertura en sistemas silvopastoriles compuestos por *Festuca pallescens* y *Pinus ponderosa*. I Congreso Internacional Agroforestal Patagónico, Coyhaique, Chile.
- Martinez-Meier A.; Caballé G.; Dalla-Salda G.; Sarasola M. (2017). Proceso, producto y gestión de la madera de pino Ponderosa. 1a ed. - Bariloche, Río Negro: Ediciones INTA, 2017. 50 pag. Libro digital, PDF. ISBN 978-987-521-825-3Ñ.
- McWilliam E.L.; Barry T.N.; Lopez-Villalobos N.; Cameron P.N.; Kemp P.D. (2005). Effects of willow (*Salix*) versus poplar (*Populus*) supplementation on the reproductive performance of ewes grazing low quality drought pasture during mating. *Animal Feed Science and Technology* 119, 69–86.
- Montero E.; Thomas E. (2017). Evaluación de clones de *Populus deltoides* en forestaciones con riego por goteo en la meseta de Río Negro. Artículo de divulgación. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_evaluacion-de- clones-de-populus-deltoides-en-forestaciones-con-riego-por-goteo.pdf
- Montero E.; Thomas E.; Ortiz S.; Cerrillo T. (2017). Crecimiento de nuevos sauces en suelos salino-sódicos de los valles irrigados del norte de la Patagonia Argentina. V Congreso Internacional de Salicáceas. Talca, República de Chile, 13 al 17 de noviembre de 2017.

- Moore K.M.; Barry T.N.; Cameron P.N.; Lopez-Villalobos N.; Cameron D.J. (2003). Willow (*Salix* sp.) as a supplement for grazing cattle under drought conditions. *Animal Feed Science and Technology* 104, 1-11.
- Musi Saluj C. (2018). Caracterización climática del Valle Inferior del río Negro. INTA Valle Inferior de Río Negro. https://inta.gob.ar/sites/default/files/informe_climatologico_valle_inferior.pdf
- New Zealand Poplar & Willow Research Trust (2016). Poplar and willows as fodder. The benefits from pollarding poplars and willows to provide fodder. Fact sheet N°02 <https://beeflambnz.com/knowledge-hub/PDF/poplars-and-willows-fodder>
- Nicora E. G. (1978). Flora patagónica. Parte III: Gramíneas. Colección Científica del INTA. Buenos Aires, Argentina, 563 pp.
- Nolting J. (2001). Agroforestería. Revista Rompecabezas tecnológico N° 30. INTA Alto Valle de Río Negro.
- Ong C. K. and Leakey R. R. B. (2000). Why tree-crop interactions in agroforestry appear at odds with tree-grass interactions in tropical savannahs. *Agroforestry Systems* 45: 109-129.
- Paruelo J. M.; Beltrán A.; Jobbágy E. G.; Sala O. E. and Golluscio R. A. (1998). The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* 8: 85-101.
- Paruelo J. M.; Golluscio R. A.; Guerschman J. P.; Cesa A.; Jouve V. V. and Garbulsky M. F. (2004). Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning: the case of the Patagonian steppes. *Global Ecology and Biogeography* 13: 385-395.
- Pelliza Sbriller A.; Bonino N. A.; Bonvissuto G.; Amaya J. N. (1984). Composición botánica de la dieta de herbívoros silvestres y domésticos en el área de Pilcaniyeu, Río Negro. Pp. 429-432 *Revista IDIA, Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.*
- Peri P. (2011). Cortinas cortaviento en Patagonia sur: Revisión del conocimiento actual. *Disertación. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquén, 18 al 21 de marzo de 2011.*
- Pfister J. A.; Adams D.; Randall C.; Wiedmeier D. and Cates R. G. (1992). Adverse effects of pine needles on aspects of digestive performance in Cattle. *Journal of Range Management* Vol. 45, N° 6: 528-533.
- Pincemin J.M.; Monlezun S.J.; Zunino H.; Cornaglia P.S. y Borodowski E. (2007). Sistemas Silvopastoriles en el Delta del Río Paraná: Producción de materia seca y estructura de gramíneas templadas bajo álamos. XX Reunión ALPA - XXX Reunión APPA. Cusco, Perú.
- Pugnaire F.; Armas C.; Maestre F. T. (2011). Positive plant interactions in the Iberian South-east: Mechanisms, environmental gradients, and ecosystem function. *Journal of Arid Environments* 75(12): 1310-1320.
- Rodríguez A.; Cancio H.; Montero E.; Thomas E. (2013). Acumulación térmica y emergencia de especies forrajeras bajo dosel de álamos bajo riego. II Jornadas Forestales de Patagonia Sur - 2° Congreso Internacional Agroforestal Patagónico. El Calafate (Santa Cruz), 16 al 18 de mayo de 2013.
- Rodriguez A.; Muñoz A. (2006). Síntesis Agrometeorológica para el período 1990-2004. EEA Alto Valle. Ed. INTA. Boletín Divulgación Técnica n° 53, 38 p.

- Serventi N. (2011). Las cortinas forestales en los valles irrigados de Norpatagonia. Disertación. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquen, 18 al 21 de marzo de 2011.
- Somlo R. (1997). Atlas dietario de herbívoros patagónicos. Prodesar INTA GTZ. 109 pp.
- Somlo R.; Durañona C. y Ortiz R. (1985). Valor nutritivo de especies forrajeras patagónicas. Revista Argentina de Producción Animal Vol 5, N° 9-10: 588-603.
- Sozzi G.O. (2007). Árboles Frutales: Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 805 p. ISBN 950-29-0974-7.
- Tassara M. (2005). Defensa contra heladas. Revista Fruticultura y Diversificación N°45, pp.20-28. Ediciones INTA Alto Valle.
- Thomas E. (2015). Cultivo de álamos y sauces. Plantación de cortinas rompevientos y macizos. Cartilla. Ediciones INTA Alto Valle.
- Thomas E.; Cancio H.; Boetto C.; Caballé G. (2016). Valor nutricional de pasto ovillo y trébol blanco en sistemas silvopastoriles con álamos y sauces. V Jornadas Forestales Patagónicas - III Jornadas Forestales de Patagonia Sur. Esquel, 9 al 13 de noviembre de 2016.
- Thomas E.; Cancio H.; Menni F. (2013). Influencia de cultivos asociados sobre el crecimiento de álamos en sistemas agroforestales bajo riego. II Jornadas Forestales de Patagonia Sur - 2° Congreso Internacional Agroforestal Patagónico. El Calafate (Santa Cruz), 16 al 18 de mayo de 2013.
- Thomas E.; Cancio H.; Ortiz S.; Menni F. (2017). Influencia de los cultivos agrícolas consociados sobre el crecimiento de álamos en sistemas agroforestales bajo riego. V Congreso Internacional de Salicáceas. Talca, República de Chile, 13 al 17 de noviembre de 2017.
- Thomas E.; Cancio H.; Rodriguez A. (2012). Verdeo invernal en un sistema silvopastoril con álamos bajo riego. 2° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero, 9 al 11 de mayo de 2012.
- Thomas E.; Cerrillo T. (2014). Evaluación preliminar de nuevos clones de sauce en la región Norpatagónica. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata, 19 al 21 de marzo de 2014.
- Thomas E.; Cortizo S. (2014). Evaluación de clones de *Populus deltoides* en el Alto Valle de Río Negro. Jornadas de Salicáceas 2014. La Plata, 18 al 21 de marzo de 2014.
- Thomas E.; Cortizo S. (2014) "Nuevos genotipos de *Populus* permitirán aumentar la disponibilidad de clones para forestar en los valles del norte de la Patagonia". IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata, 18 al 21 de marzo de 2014.
- Thomas E.; Ferrere P. (2019). Estrés calórico: beneficios de los árboles en los sistemas ganaderos. Revista Fruticultura & Diversificación N° 83. Ediciones INTA EEA Alto Valle de Río Negro.
- Thomas E.; Garcés A. (2014). Evaluación del crecimiento inicial de clones de álamo en el norte de la Patagonia. Revista de la facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Vol. 46 (1): 241-246.