

CAPÍTULO 4

Cortinas forestales

Diego Ramilo

Introducción

Al igual que en otras partes del mundo, en el paisaje rural de diferentes regiones de Argentina es habitual hallar plantaciones de árboles en alineación en establecimientos agropecuarios, ya sea en los perímetros de lotes en producción o alrededor del área de viviendas, galpones y otra infraestructura asociada.

En muchas regiones el viento puede constituir una adversidad que afecta las producciones agropecuarias como también la confortabilidad térmica de la vida del hombre en el campo, especialmente en aquellas de climas templados o fríos. En algunas zonas los vientos son una limitante para poder realizar actividades productivas; ejemplos de ello son los oasis de riego de Cuyo y Patagonia, al igual que diversas áreas de secano en la Patagonia Andina, por citar algunos ejemplos.

Es a través de forestaciones de servicio, específicamente de **cortinas forestales cortavientos** o **cortinas rompevientos** (ingl. *windbreaks* o *shelterbelts*), que el hombre ha logrado en cierto modo morigerar los efectos perniciosos del viento, reduciendo su velocidad y brindando protección a cultivos, ganados e infraestructura, y para su propia confortabilidad de vida en la naturaleza.

La acción del viento en las producciones agropecuarias

El viento puede tener efectos perjudiciales para las producciones agropecuarias, pudiendo ser estos directos o indirectos. Los efectos directos son aquellos que se producen por la acción mecánica del viento. Los efectos indirectos son ocasionados por este en la fisiología de plantas y animales y en su normal comportamiento.

Uno de los efectos negativos es la **erosión**, que sucede cuando se combinan fuertes vientos con suelos de texturas gruesas, condiciones de sequedad o climas secos y suelos libres de cobertura vegetal, ya sea porque fueron cosechados sin dejar residuos de cobertura, se encuentran laboreados o han sido sobrepastoreados (Figura 1). Bajo tales condiciones, aumenta el riesgo de inicio de procesos erosivos, con deflación y transporte de partículas de suelo superficial y la consecuente pérdida de fertilidad y capacidad productiva. Este transporte de partí-

culas y el impacto de éstas en los vegetales puede también causar daño mecánico a los cultivos especialmente en sus fases iniciales de crecimiento, como también ocasionar perjuicios al acumularse y sepultar parcial o totalmente las plantas.

Figura 1. Efecto erosivo del viento en el suelo.



Izq. Voladuras en suelos laboreados con condiciones inadecuadas de humedad. Der. Suelo desnudo luego de cosecha que no deja residuos que brinden adecuada cobertura.

Con su acción mecánica directa el viento puede afectar a diversos cultivos: cereales, industriales, forrajes, frutales, hortícolas o florales por mencionar algunos, al rasgar o dañar el follaje, o a la floración en sus diferentes fases y con ello los rendimientos cuando el producto de interés son frutos o semillas (Cleugh et al., 1998). Es frecuente también que se vea afectada la calidad de los productos debido a los golpes y fricción provocada por el viento, lo que genera el marcado en los frutos como también su caída prematura (Figura 2 Der.). De igual forma, pueden registrarse vuelcos de plantas enteras en cultivos de talla alta ante la acción de vientos fuertes obrando de forma aislada o combinados con lluvias (Figura 2 Izq.).

Figura 2. Efectos mecánicos directos del viento sobre cultivos.



(Izq.) Vuelco en maíz. (Der.) Caída de frutos en cítricos. Fuente: Curso de introducción a la Dasonomía FCAYF – UNLP.

Junto con el contenido de humedad, las características del suelo, la radiación solar, la temperatura y humedad del aire, el viento es un factor que influye en la evapotranspiración de los cultivos (Defina, 1985). Al aumentar la evapotranspiración provoca la desecación y estrés en las plantas, afectando su normal crecimiento y repercutiendo en los rendimientos. El hombre puede intervenir modificando el contenido de humedad del suelo mediante la práctica agronómica de riego; en la velocidad del viento, puede hacerlo a través del establecimiento de barreras cortavientos.

Para muchos cultivos la polinización mediada por insectos o aves es crucial en la fecundación y formación de frutos (Mc Gregor, 1976; Buchmann y Nabhan, 1996; Carreck et al., 1997; Monelos y Peri, 1998; Cecen et al., 2008; Bentrup et al., 2019). La velocidad del viento ejerce su influencia en los polinizadores dificultando el vuelo. Por ejemplo, las abejas cesan la colecta de polen y por lo tanto su actividad polinizadora cuando la velocidad del viento supera 20 km/h y con velocidades de 25 – 30 km/h dejan de volar en altura (Shoukat y Muhahid, 2020).

El clima afecta al ganado de forma directa e indirecta, modificando la calidad y cantidad de forrajes, los requerimientos energéticos de los animales y sus mecanismos fisiológicos y el comportamiento de estos para mantener su temperatura corporal dentro de rangos normales (Arias et al., 2008). En verano, el viento ayuda a reducir los efectos del estrés por calor, mejorando los procesos de disipación de calor por evaporación (Madler et al., 1999), siendo estos más eficientes cuando la piel del animal está húmeda.

Durante el invierno, el viento potencia el efecto negativo de las bajas temperaturas y la temperatura equivalente o sensación térmica resultante puede provocar estrés en el ganado. El estrés por frío causa un aumento significativo en el consumo de alimento por los mayores requerimientos energéticos del animal para mantener su temperatura corporal; son asimismo menos eficientes en convertir el alimento en energía, disminuyendo su eficiencia productiva (Quam et al., 1994; Morris et al., 1996; Smith, 2016) y dicho estrés puede ocasionar morbilidad y mortalidad de crías en condiciones severas (Gregory, 1995).

En climas fríos, las características del pelaje mullido de los animales en invierno y el aire entre las fibras actúa como una barrera aislante; no obstante, cuando el animal se moja o cuando el viento sopla fuerte, esta capacidad aislante se pierde. En estas condiciones, los animales buscan refugio en elementos naturales (quebradas, arbustos o árboles aislados, montes) y artificiales (infraestructura, cercos, carteles, entre otros) que puedan brindarles protección, o bien se agrupan entre sí para disminuir la pérdida de calor.

La Tabla 1 muestra la temperatura equivalente o sensación térmica para diferentes temperaturas del aire ante vientos de velocidad creciente y refleja la incidencia que puede tener el viento en las condiciones térmicas a las que debe enfrentarse el ganado en pastoreo en zonas frías y ventosas. Como el enfriamiento al que pueden estar expuestos los animales depende de la temperatura, de la velocidad del viento, de la capacidad aislante del pelaje y de si este está mojado o no, al reducir la velocidad del viento las barreras cortavientos interactúan con uno de los elementos que puede causar pérdidas excesivas de calor en el ganado.

Tabla 1. Temperatura equivalente o sensación térmica para diferentes temperaturas del aire con vientos de velocidad creciente.

		Temperatura del aire							
		10 °C	5 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C	-15 °C	-20 °C	-25 °C
		Temperatura equivalente / sensación térmica							
Velocidad del viento	10 km/h	8,6	2,7	-3,3	-9,3	-15,3	-21,1	-27,2	-33,2
	15 km/h	7,9	1,7	-4,4	-10,6	-16,7	-22,9	-29,1	-35,2
	20 km/h	7,4	1,1	-5,2	-11,6	-17,9	-24,2	-30,5	-36,8
	25 km/h	6,9	0,5	-5,9	-12,3	-18,8	-25,2	-31,6	-38,0
	30 km/h	6,6	0,1	-6,5	-13,0	-19,5	-26,0	-32,6	-39,1
	35 km/h	6,3	-0,4	-7,0	-13,6	-20,2	-26,8	-33,4	-40,0
	40 km/h	6,0	-0,7	-7,4	-14,1	-20,8	-27,4	-34,1	-40,8
	45 km/h	5,7	-1,0	-7,8	-14,5	-21,3	-28,0	-34,8	-41,5
	50 km/h	5,5	-1,3	-8,1	-15,0	-21,8	-28,6	-35,4	-42,2
	55 km/h	5,3	-1,6	-8,5	-15,3	-22,2	-29,1	-36,0	-42,8
60 km/h	5,1	-1,8	-8,8	-15,7	-22,6	-29,5	-36,5	-43,4	

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

En *feedlots* el viento también puede ejercer efectos negativos durante el invierno, no obstante, la presencia de barreras o cortinas permanentes es capaz de intensificar el estrés por calor en el verano, al restringir la circulación de aire requerida para el enfriamiento de los animales por evaporación (Mader et al., 1997; 1999). En estas situaciones, las barreras temporarias o móviles son soluciones más adecuadas para mejorar el confort animal en la época invernal.

En las regiones de climas fríos y en el invierno en las de climas templados, el viento es la variable de mayor influencia en el confort humano de la vida en el medio rural. El establecimiento de barreras cortavientos o cortinas puede alterar el balance energético en las edificaciones de modo considerable (Heisler y Herrington, 1976), al modificar el flujo del aire, el intercambio de calor y la temperatura del aire en su entorno. Su presencia ha traído como beneficio reducciones significativas en el consumo de energía para calefacción (Bates, 1945; Bentrup y Francis, 2001; NRCS, 2006; Liu y Harris, 2008), lo que significa un ahorro económico, ya sea que la fuente empleada se leña, combustibles fósiles o electricidad.

El Cuadro 1 sintetiza los principales efectos que el viento provoca en las producciones y en el medio rural.

Cuadro 1. Efectos del viento en las producciones agropecuarias y en el confort humano en el medio rural.

 <p>SUELO</p>	<p>Erosión y barrido de suelo superficial (deflación) en condiciones de clima seco y suelos de texturas gruesas, afectando el contenido de materia orgánica y la fertilidad.</p> <p>Daño indirecto por la acción abrasiva de partículas de suelo en cultivos en las fases iniciales de establecimiento, por voladura bajo la acción del viento.</p>
 <p>CULTIVOS</p>	<p>Aumento en la evapotranspiración provocando desecación y estrés, afectando el crecimiento y rendimiento de cultivos.</p> <p>Daños mecánicos directos en follaje y vuelco de plantas en cultivos; daño a flores y frutos, con la merma cuantitativa de rinde o afectando la calidad de lo producido.</p> <p>Mengua en la presencia y actividad de insectos polinizadores, afectando la floración, formación de frutos y semillas.</p>
 <p>GANADOS</p>	<p>Afectación de la salud y sobrevida de crías en diferentes tipos de ganado al potenciar el efecto de las bajas temperaturas.</p> <p>Pérdida de temperatura corporal en ganados, que en situaciones de bajas temperaturas provoca un detrimento de la condición corporal ó disminución en la ganancia de peso por unidad de alimento consumida.</p>
 <p>CONFORT HUMANO</p>	<p>Pérdida de calor en viviendas rurales e infraestructuras vinculadas a la producción.</p> <p>Mayor gasto energético para alcanzar confortabilidad térmica.</p> <p>Ruido persistente en regiones de vientos constantes y fuertes</p>

Fuente: elaboración propia.

Barreras cortavientos

Un **cortavientos** o **cortina rompeviento** es una barrera que reduce la velocidad del viento y genera una *zona de calma* o protección a sus espaldas o sotavento, es decir, del lado opuesto al que incide el viento.

Su aplicación es diversa: en el ámbito rural se utilizan para la protección de los efectos nocivos del viento sobre cultivos, huertos frutales, pasturas y áreas de pastoreo, cultivos florales, feedlots, mangas, corrales e infraestructura de producción (salas de ordeño, galpones, silos, etc.), viveros y para brindar abrigo a las viviendas y construcciones asociadas. Son también utilizadas en la industria con el fin de reducir la deriva de polvo que algunas de ellas generan, además de amortiguar los ruidos y brindar una barrera visual para enmascarar infraestructura y mejorar el paisaje desde el punto de vista estético.

Las barreras cortavientos pueden ser **artificiales** o **naturales**. Entre las primeras se encuentran las mallas sintéticas de diferentes características, elaboradas en polietileno de alta densidad o poli-propileno, y con diferente graduación respecto a la cantidad de aire que dejan atravesar (Figuras 3 y 4). Ejemplos de este tipo son las mallas mediasombra y mallas plásticas diseñadas específicamente para reducir el viento denominadas *mallas cortavientos* (ingl. *windbreak mesh*).

Figura 3. Mallas cortavientos sintéticas para protección de infraestructura industrial en minería.



Fuente: Mining Technology Journal (www.mining-technology.com)

Figura 4. Mallas cortavientos sintéticas para protección de cultivos intensivos.



(Izq.) Producción de orégano en El Maitén, Chubut. (Der.) vivero forestal en Gdor. Virasoro, Corrientes. Fuente: Curso de introducción a la Dasonomía FCAyF – UNLP.

También se elaboran cortavientos artificiales a partir de materiales naturales entre los que se destacan los cercos de cañas, muy utilizados en huertas familiares y en algunos cultivos intensivos por su bajo costo relativo y facilidad de construcción (Figura 5).

Figura 5. Barreras cortavientos elaboradas con materiales naturales.



(Izq.) Cortaviento de cañas en cultivos de frutilla. Veinticinco de mayo, Buenos Aires. (Der.) Cortavientos y cercos de caña y mimbre protegiendo huertas familiares. Chile.

Las cortinas como sistemas agroforestales

En el medio rural, las cortinas forestales están integradas al sistema productivo, por lo que forman parte de **sistemas agroforestales**. Cabe esta aclaración de “en el medio rural”, pues están también presentes en zonas periurbanas, asociadas frecuentemente a áreas industriales (parques industriales, precintos industriales y fábricas de forma aislada), conformando barreras para disminuir la velocidad del viento, para enmascarar infraestructura industrial por cuestiones de estética visual y/o cumpliendo funciones de mitigación de ruidos. Al respecto, existe legislación provincial que exige la instalación de barreras forestales al momento de radicar nuevas industrias (Ley N° 14.440 modificatoria de la Ley N° 11.459 de Radicación industrial de la provincia de Buenos Aires y Resol. OPDS-PBA 85/2011).

Desde el punto de vista de su clasificación por su estructura en el espacio y diseño en el tiempo (ver clasificación de SAF en el capítulo 2), las cortinas son **sistemas agroforestales simultáneos** pues coexisten en el tiempo y espacio con la producción a la que están brindándole protección.

En cuanto a la clasificación por sus componentes, en producciones donde la cortina está protegiendo un cultivo perenne cuya persistencia se prolonga en el tiempo durante la vida útil de la cortina, estamos en presencia de un **sistema silvoagrícola**. Podemos citar como ejemplo producciones frutales de pepita y carozo, en las que la cortina y el monte frutal coexisten durante toda la vida del primero y junto con el recambio del monte frutal es frecuente que se elimine también la cortina para renovarla a la vez que se comercializa su madera. En el caso de cortinas protegiendo pasturas, podría entonces clasificarse como un **sistema silvopastoril** si el lote en cuestión es destinado de forma permanente a pasturas de corte y pastoreo, y como un **agrosilvopastoril** cuando alterne en el tiempo pasturas con otro tipo de cultivos anuales o plurianuales. Un ejemplo de ello sería una plantación de álamo en Cuyo, que durante los primeros años coexiste con horticultura en los espacios interfilares y posteriormente dicho cultivo es reemplazado por pasturas perennes.

El funcionamiento de una cortina forestal cortavientos

Interpuestas de forma aproximadamente perpendicular a la dirección del viento, las barreras actúan como un obstáculo al desplazamiento del aire. Quedan definidas 2 zonas: una de *barlovento* o anterior a la cortina y una de *sotavento* detrás de la barrera, que es la *zona protegida o de calma* (Figura 6).

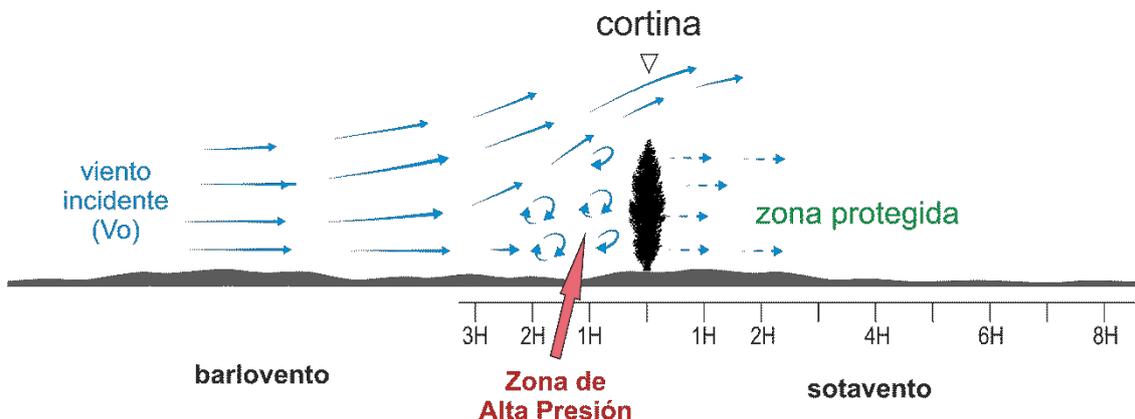
Figura 6. Esquema de perfil de una cortina y sus zonas de barlovento y sotavento.



Fuente: elaboración propia

Al encontrarse con el obstáculo que la cortina constituye al normal flujo del viento, la velocidad de este disminuye en relación a la que traía a campo abierto (V_0). En el sector inmediatamente anterior a la barrera (barlovento) ocurre una ‘acumulación’ de aire que provoca un aumento de la presión (**zona de alta presión**). Este fenómeno fuerza a que parte del viento ascienda y fluya por encima de la cortina (Figura 7), mientras que una fracción la atraviesa. Queda de este modo determinada la **zona protegida o zona de calma a sotavento** en la que la velocidad del viento es sensiblemente menor a la que tenía a campo abierto antes de incidir en la cortina.

Figura 7. Esquema de perfil de una cortina.



Formación de zona de alta presión inmediatamente antes de la cortina provoca el ascenso y flujo del aire por encima de esta. Fuente: elaboración propia

El comportamiento del aire que fluye a través de la cortina y por encima de ésta, el porcentaje de reducción en la velocidad del viento y la extensión de la zona protegida están influenciados principalmente por 2 parámetros: la **altura de la cortina** y su **porosidad** (o bien su densidad, que es la inversa de la porosidad).

La **altura de una cortina (H)** está determinada por la/s especie/s empleada/s, la calidad de sitio en que está creciendo y su edad. En cortinas de más de una especie, estará definida por la altura promedio de la especie más alta. La extensión del área protegida, ya sea a barlovento o a sotavento, se expresa como múltiplos de la altura de la cortina (n veces H) y la influencia que la cortina tiene en la velocidad del viento se extiende hasta 30 veces la altura a sotavento ($30H$) y hasta 5 veces la altura a barlovento ($5H$) (van Eimern et al., 1964; Vigiak et al., 2003; Brandle et al., 2004).

La **porosidad de la cortina** es el parámetro de mayor influencia en la intensidad de la turbulencia del viento, en la distribución de su velocidad y, por consiguiente, en la extensión del área a sotavento en la que la cortina ejerce su efecto protector. Conocida formalmente como **porosidad aerodinámica**, determina la proporción entre la cantidad de aire que fluye a través de la cortina (a través de los poros o huecos) y la cantidad que lo hace por encima de ella (Loeffler y colab, 1992). Su medición es extremadamente compleja debido a la heterogeneidad en las características tridimensionales de las copas de las especies empleadas y de los árboles en forma individual (de los fustes, la arquitectura de ramas y las singularidades de su follaje), a lo que se suma la cantidad variable de filas que pueden componer la cortina. En su reemplazo y como estimador de la porosidad de la cortina se utiliza la **porosidad óptica** que es la proporción de huecos en la cortina respecto a la superficie total de la barrera (Cleugh, 1998; Guan et al., 2003).

La reducción relativa de la velocidad del viento y la distancia efectiva de protección están correlacionadas con la porosidad óptica y su utilización como variable predictora permite pasar de la complejidad de un sistema tridimensional a uno de dos dimensiones. En la práctica, la porosidad óptica se calcula como la proporción entre la superficie de la cortina a través de la cual puede verse el cielo respecto a la superficie total (Sudmeyer y Scott, 2002). Esto puede realizarse a través del uso de grillas o cuadrículas sobre una fotografía tomada de forma perpendicular a la cortina o bien con el auxilio de análisis asistido por computadora de fotografías digitales (Wan et al., 2005; Stredova et al., 2012).

De acuerdo a su **porosidad**, las cortinas se clasifican en **densas, semipermeables y permeables** (Tabla 2). Presentan diferente funcionamiento aerodinámico y, en consecuencia, difieren en su efecto en la reducción de la velocidad del viento, la extensión del área protegida y la distancia a la cortina a la cual la reducción de la velocidad presenta su máximo valor.

Tabla 2. Clasificación de cortinas cortavientos por porosidad.

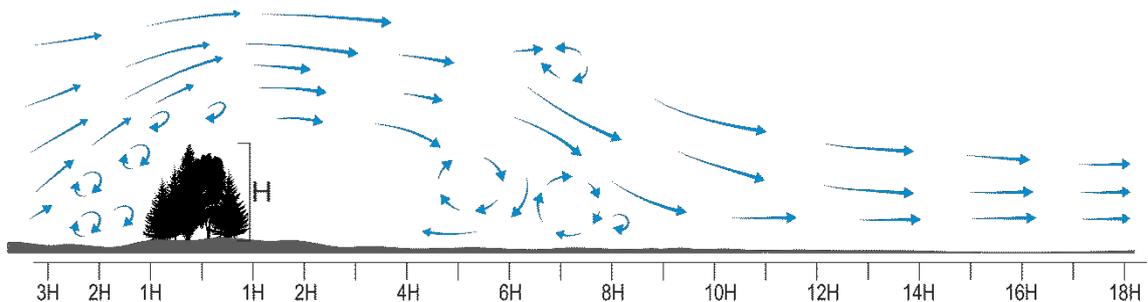
Tipo de cortina	Rango Porosidad	Extensión del área protegida (veces H)	Zona de máxima protección (veces H)	% de reducción en zona de máxima protección	Aplicaciones
Densa	< 15 %	10	3 - 4H	80-90%	proteccion de infraestructura y cultivos muy sensibles al viento
Semipermeable	30 - 45%	15-18	5-10H	60-75%	frutales, pasturas y cultivos en general
Permeable	50 - 60%	20-25	5H	< 40%	proteccion en cultivos poco sensibles al viento

Fuente: elaboración propia a partir de Read (1964), Peri (1996), Vigiak y colab. (2003) y Davel y colab. (2020).

En las **cortinas densas** o **poco permeables** (permeabilidad < 15%), solo una pequeña fracción del viento que incide logra atravesarla. La mayor parte asciende y fluye por encima de esta, generando turbulencias en la zona posterior a la cortina que promueven un descenso más rápido y brusco de la corriente de aire, reduciendo la extensión del área protegida (Figura 8). Este tipo de cortinas brinda alta protección a distancias relativamente cortas, es decir, logran

una alta reducción de la velocidad del viento en una zona de hasta 10 veces la altura de la cortina (10H), registrando un máximo de reducción a 3 - 4 veces la altura (3 – 4H) (Vigiak et al., 2003). En síntesis, las cortinas densas son muy útiles cuando el objetivo perseguido es brindar mucha protección en distancias muy cortas y generalmente se las emplea para la protección de infraestructuras, producciones intensivas y como barreras en el área de viviendas.

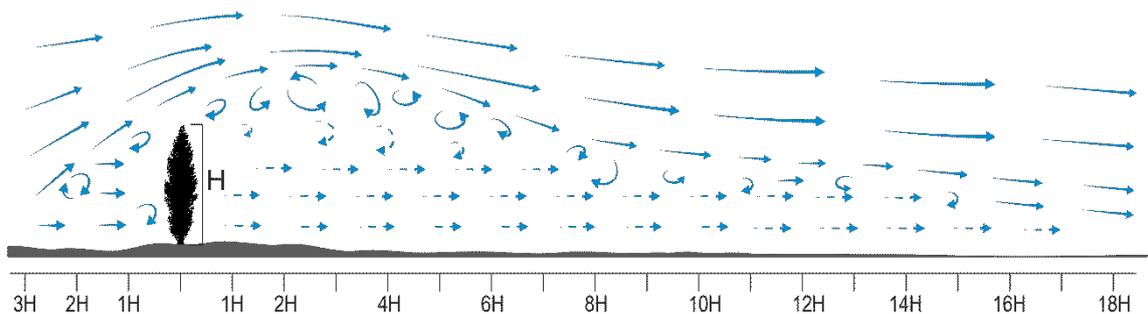
Figura 8. Esquema del flujo del viento en una cortina densa o poco porosa (porosidad < 15 %)



Fuente: elaboración propia.

En las **cortinas semipermeables** (Figura 9) parte del viento incidente atraviesa la cortina y fluye por la zona de barlovento a una velocidad reducida (V_1). De manera simultánea, una parte del viento pasa por encima de ella a la misma velocidad que traía a campo abierto (V_0). En esta condición, el viento que atravesó la cortina por un lado favorece una menor turbulencia del aire a la vez que provoca que el viento que pasó por encima de ella descienda a una distancia más alejada de su emplazamiento, ampliando la longitud de la zona protegida.

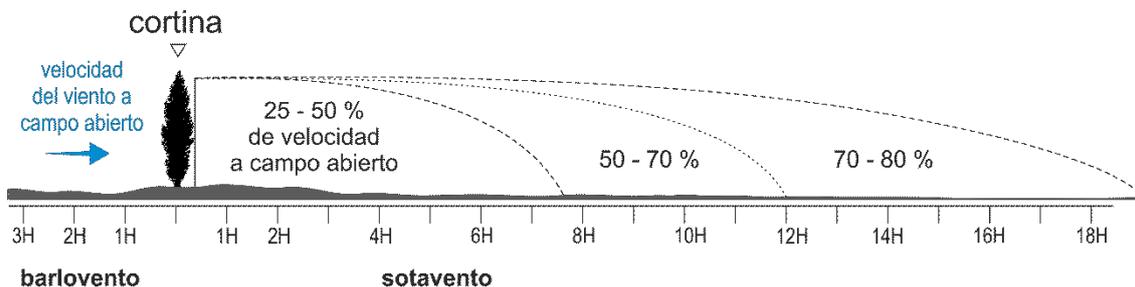
Figura 9. Esquema del flujo del viento en una cortina semipermeable (porosidad 25 – 50%).



Parte del viento atraviesa la cortina y promueve que el viento que pasa por encima de esta descienda y recobre su velocidad a campo abierto a una distancia mayor, ampliando la longitud de la zona protegida a sotavento. Fuente: elaboración propia.

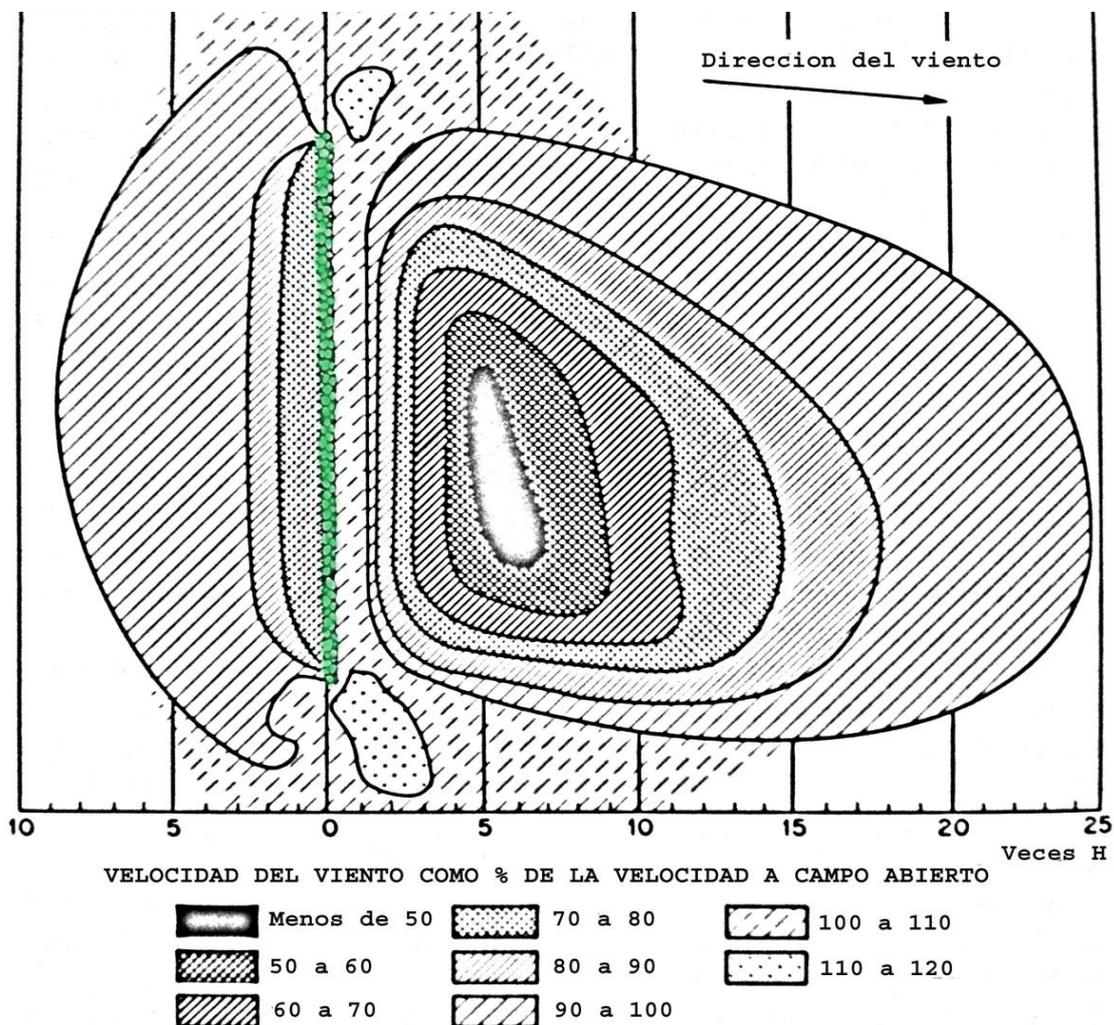
En cortinas de este tipo, la zona protegida se extiende hasta 20 veces la altura de la cortina (20H) y la mayor reducción de velocidad se registra a una distancia entre 5 a 10 veces la altura de esta (5 – 10H). A medida que nos alejamos de la cortina hacia sotavento, la velocidad del viento va aumentando hasta recobrar aquella que tenía a campo abierto antes de incidir en la barrera (Figuras 10 y 11).

Figura 10. Esquema de reducción de velocidad del viento a diferentes distancias de una cortina semipermeable (porosidad 40-50 %).



La velocidad en las diferentes zonas está expresada como porcentaje de la velocidad del viento a campo abierto antes de atravesar la cortina ($100 \cdot V1/V0$). Fuente: elaboración propia a partir de Read (1964)

Figura 11. Esquema de vista en planta de la reducción de velocidad del viento a diferentes distancias de una cortina semipermeable (porosidad 50 %)

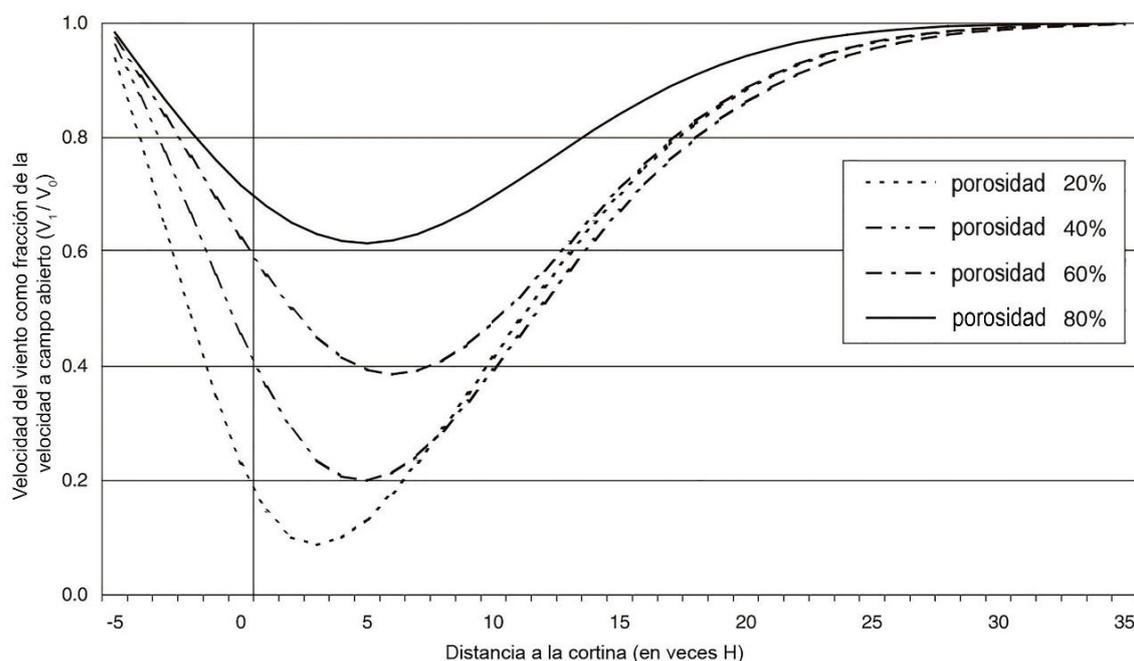


La velocidad en las diferentes zonas está expresada como porcentaje de la velocidad del viento a campo abierto. Modificado de Goor y Barney (1976)

Este tipo de cortinas logran una menor reducción en la velocidad del viento, pero lo hacen sobre una mayor extensión. Son empleadas en cultivos extensivos, frutales, pasturas, áreas de pastoreo y otras producciones, como también en la protección de infraestructura en situaciones donde por la naturaleza de los vientos locales no se requiere una significativa reducción de velocidad.

A modo de síntesis, el Gráfico 1 ejemplifica como varía la reducción de la velocidad del viento y la extensión de la zona protegida a sotavento y barlovento bajo diferentes porosidades de cortina y en la Tabla 2 se resumen sus características.

Gráfico 1. Velocidad del viento y extensión de la zona protegida a barlovento y sotavento según porosidad de la cortina.



Modificado de Vigjak et al. (2003).

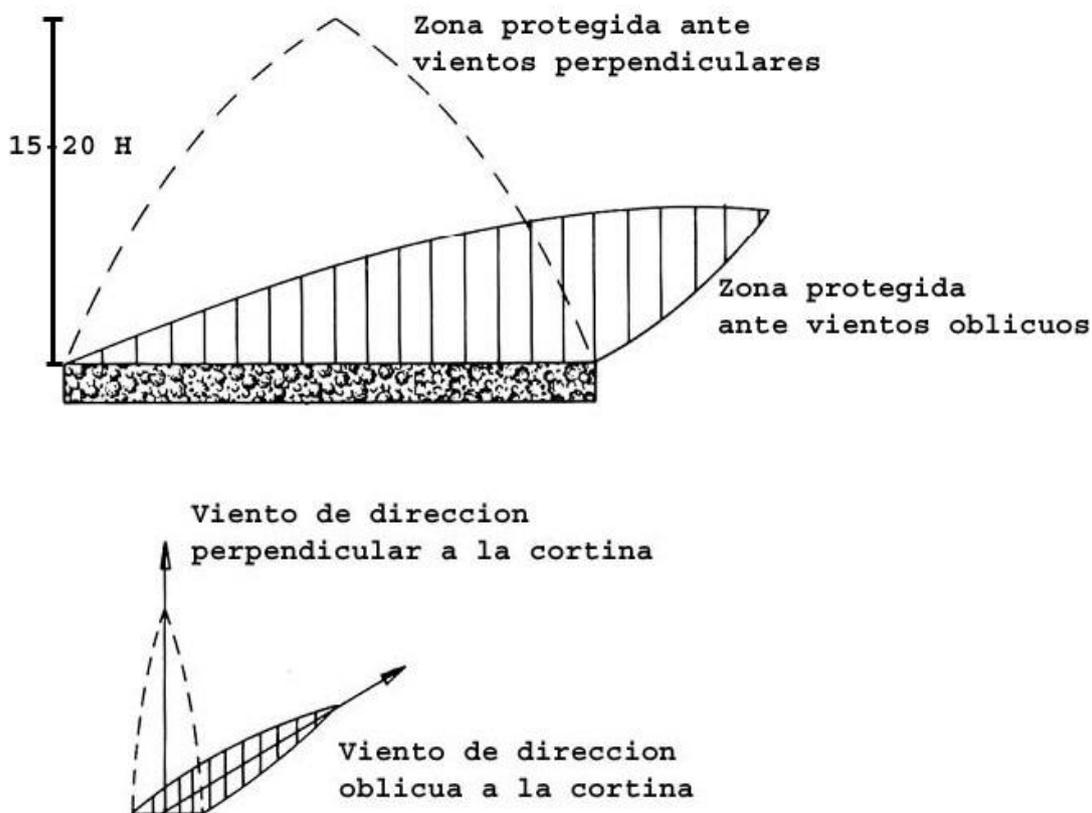
Hemos de tener en cuenta que, para una misma cortina, estas características son dinámicas; cambian con la edad, volviéndose más densa conforme los árboles crecen, expanden su copa y las copas de árboles contiguos se aproximan y/o entrelazan, a la vez que aumentan su altura y con ello la extensión del área protegida. Por este motivo, al diseñar una cortina han de considerarse como referencia las características que tendrán los árboles que la componen a una edad de 10-20 años, esto último dependiendo de la especie y la velocidad de crecimiento en el sitio donde será plantada.

A fin de proteger toda la extensión de un área, se plantan **cortinas principales** paralelas y a intervalos regulares y el distanciamiento entre ellas está determinado, como antes comentamos, por la altura que alcanzarán los árboles y la permeabilidad de la cortina (Tabla 2). Estas son complementadas con la instalación de **cortinas secundarias** cuyo objetivo es mejorar la protección mientras las cortinas principales son jóvenes. Las secundarias se plantan con idénticas

tica orientación y a distancias intermedias entre las principales y también de forma perpendicular a ellas (Figura 17 Der.). Cuando las cortinas principales alcanzan su altura adulta, las secundarias pueden eliminarse.

El **ángulo de incidencia del viento** también modifica la porosidad de una cortina respecto a la que tiene cuando éste incide en forma perpendicular. La incidencia del viento en forma oblicua a la orientación de la cortina afecta la zona protegida a sotavento (Figura 12), tanto en su extensión como en su forma.

Figura 12. Alteración en la extensión del área protegida por una cortina forestal ante vientos que inciden en forma oblicua a la orientación de su eje longitudinal.



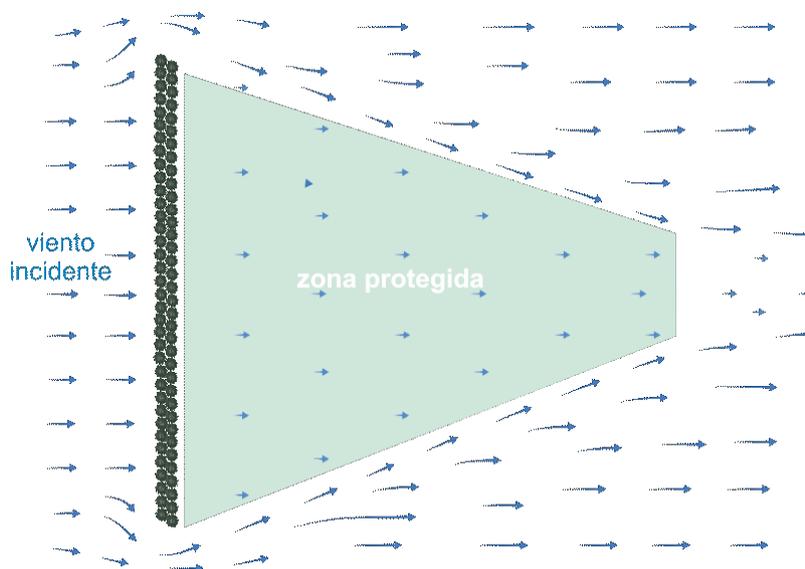
Adaptado de Read (1964).

Por último y no menos importante, la propia velocidad del viento modifica la porosidad de la cortina: los vientos muy fuertes (> 50 km/h, ver Tabla 4 de escala de Beaufort modificada por Simpson) provocan la deformación temporaria de la copa producida por la flexión de tallos, ramas y la reorientación del follaje (Gardiner et al., 2016) y dicha variación en la porosidad resulta en una disminución de su efecto morigerante del viento y protector.

Uniformidad y longitud de una cortina

Bajo un modelo simplificado del viento soplando de forma perpendicular a su orientación, veamos ahora que ocurre en los bordes de la cortina. El viento que incide en este sector flanquea la barrera, genera turbulencias en su parte posterior e invade progresivamente el área de calma y dicha invasión es mayor a medida que nos alejamos de la cortina. Vista en planta, el área protegida en los laterales adquiere forma aproximadamente triangular o trapezoidal (Figura 13). En razón de ello y para mayor eficiencia, es deseable que el largo ininterrumpido de una cortina sea de al menos 10 veces la altura de los árboles al estado adulto (10 H). Por ejemplo, si se prevé que la altura de la cortina será de 20 m al alcanzar su máxima talla, la longitud de la cortina debería ser de al menos 200 m.

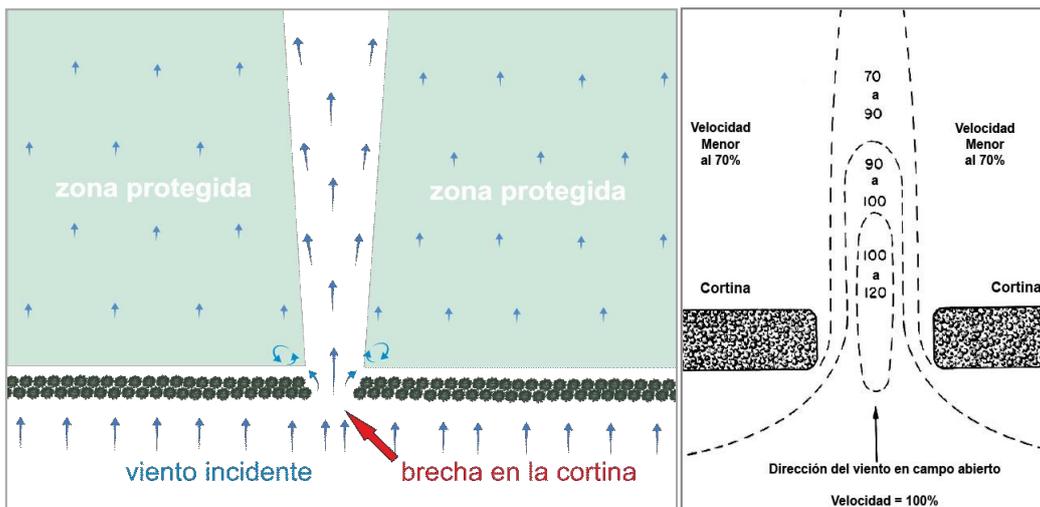
Figura 13. Esquema de vista en planta de la reducción lateral del área protegida a sotavento por el efecto de los vientos que flanquean la cortina.



Fuente: elaboración propia.

Para un correcto funcionamiento es necesario que la barrera tenga una **distribución uniforme** de los árboles y que no presente interrupciones, pues alteran el flujo del aire y el comportamiento aerodinámico. La existencia de huecos en la continuidad de la cortina habilita el pasaje del viento, que por un lado se acelera al pasar a través de esta constricción, generando turbulencias inmediatamente detrás de la cortina a la vez que se modifica la velocidad del viento y la forma del área protegida (Figura 14).

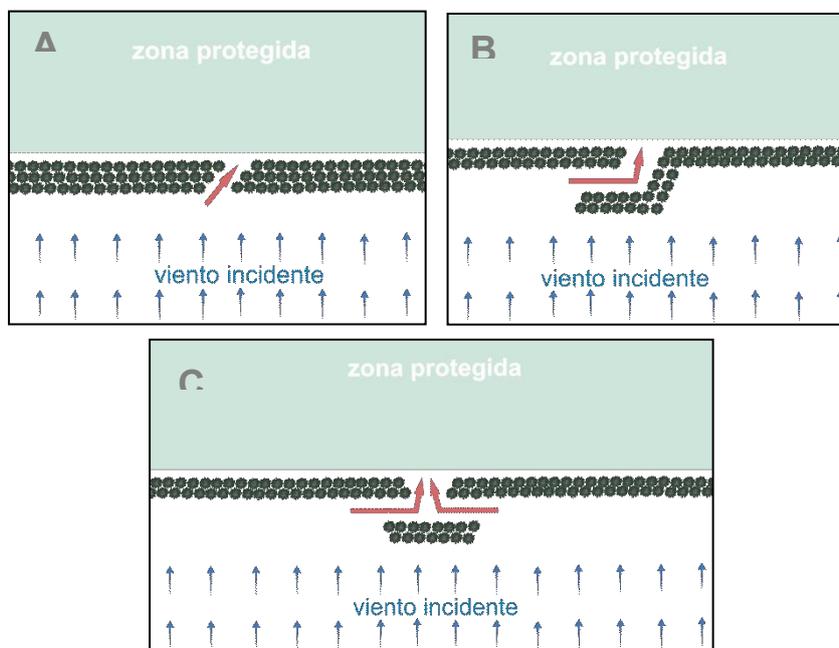
Figura 14. Esquema de vista en planta del efecto que provoca un brecha o discontinuidad en la cortina sobre el flujo y velocidad del viento.



Fuente: (Izq.) Elaboración propia. (Der.) Modificado de Read (1964).

Para el tránsito de maquinaria y equipos resulta indispensable disponer de pasajes a través de las cortinas. Sin embargo, éstos han de resolverse de manera que la continuidad de la misma no se vea interrumpida. El diseño de los pasajes en forma oblicua al eje longitudinal, la plantación de mangas o segmentos de cortina frente a los pasos son alternativas válidas para salvar la continuidad y mantener la uniformidad de las barreras forestales (Figura 15).

Figura 15. Alternativas de resolución de un pasaje a través de una cortina para mantener su continuidad.



(A) Formación de un pasaje oblicuo al eje de la cortina. (B) Establecimiento de mangas en la cortina que protejan la brecha originada por el paso. (C) Plantación de segmentos de cortina frente a los pasos. La flecha roja indica el tránsito a través de la cortina. Fuente: elaboración propia

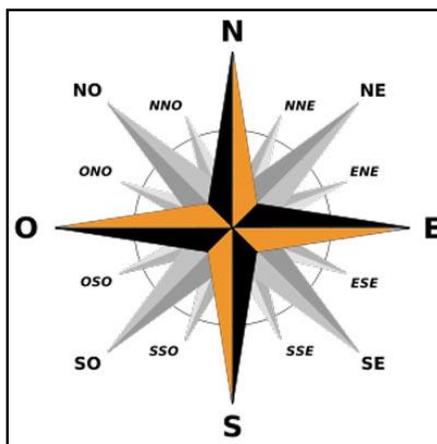
El estudio de los vientos para el diseño de cortinas

El viento es aire en movimiento en la superficie terrestre y juega un rol fundamental en la determinación y regulación del clima y la meteorología. Es un fenómeno que se caracteriza por dos magnitudes: su dirección y su velocidad. La dirección se señala por el punto cardinal, lateral o colateral del cual procede el viento, determinando 16 posibles direcciones (Tabla 3 y Figura 16); de allí que las veletas ‘apunten’ hacia el lugar desde donde sopla el viento.

Tabla 3. (Izq.). Puntos cardinales y laterales que señalan la dirección del viento.

Punto Cardinal	Azimut (grados)	Puntos Lateral	Azimut (grados)	Puntos Colateral	Azimut (grados)
N	0	NE	45	NNE	22,5
				ENE	67,5
E	90	SE	135	ESE	112,5
				SSE	157,5
S	180	SO	225	SSO	202,5
				OSO	247,5
O	270	NO	315	ONO	292,5
				NNO	337,5

Figura 16 (Der.) Rosa de vientos señalando los puntos cardinales, laterales y colaterales.



Las estaciones agrometeorológicas oficiales del SMN (Servicio Meteorológico Nacional) y del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) registran la velocidad del viento mediante anemómetros instalados a una altura estándar de 15 m y la expresan en km/h en sus series de estadísticas climáticas. El SMN utiliza una escala de Beaufort modificada por Simpson (Shaw y Simpson, 1906), que relaciona la velocidad del viento con efectos visibles que este tiene sobre la tierra (Tabla 4). También registra la dirección, asignándole el punto cardinal o lateral más próximo desde el cual procede en viento (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).

Integrando lo anterior y a modo de ejemplo, cuando en el informe de pronóstico meteorológico se señala que habrá ‘vientos regulares del sector sudeste’, significa que el viento procederá de ese punto lateral con azimut de 135° y una velocidad de entre 29 y 38 km/h.

Tabla 4. Escala de Beaufort modificada utilizada por el SMN y rangos de efectividad de las cortinas forestales en la reducción de la velocidad del viento.

Denominación	Rango de Velocidad	Efecto apreciable	Efectividad de cortinas en la reducción de la velocidad del viento
Calma	1 - 5 km/h	El humo se mueve verticalmente	Zona de efectividad de cortinas en la reducción de la velocidad del viento (vientos frecuentes)
Brisa	6 - 11 km/h	Se mueven las hojas de los árboles y las veletas comunes	
Leve	12 - 19 km/h	Hojas y ramillas de los árboles se agitan constantemente. Las banderas se extienden al viento.	
Moderado	20 - 28 km/h	Se mueven las ramas pequeñas de los árboles y se levanta el polvo	
Regular	29 - 38 km/h	Se balancean los árboles jóvenes o pequeños. En las superficies de agua de estanques se forman ondas.	
Fuerte	39 - 49 km/h	Se mueven las ramas principales gruesas de árboles adultos	Zona de efecto regulador disminuido (vientos poco frecuentes)
Muy fuerte	50 - 61 km/h	Los troncos de árboles adultos se mueven. Dificultad para caminar contra el viento.	
Temporal	62 - 74 km/h	Se rompen las ramas pequeñas de los árboles	
Temporal fuerte	75 - 88 km/h	Rompe ramas gruesas y provoca voladura de techos (chapas, tejas)	Zona no efectiva. Rotura de ramas, troncos y/o caída de árboles (vientos excepcionales)
Temporal muy fuerte	89 - 102 km/h	Provoca la caída de árboles y daños severos a infraestructura	
Temporal muy duro	103 - 117 km/h	Ocasiona destrozos generalizados. Voladura de personas y objetos.	
Temporal huracanado	> 118 km/h	Voladura de vehículos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o tifón	

Fuente: elaboración propia en base a SMN.

Las cortinas rompevientos brindan protección frente a los vientos de velocidades normales que soplan con regularidad en una determinada zona. Por su dirección, contenido de humedad y/o temperatura, algunos se consideran especialmente problemáticos para determinadas producciones en varias regiones del país: ejemplos de ello son las bajas temperaturas y heladas advectivas ocasionadas por el viento Pampero en la región central y litoral del país (también Uruguay y Sur de Brasil) y su consecuente efecto en cultivos y ganados; o la acción desecante de vientos secos del oeste (Zonda) en algunas regiones de Cuyo y su impacto en la floración de frutales, vid y olivo (Caretta et al., 2004).

El análisis de los vientos en una ubicación para la orientación de cortinas

El primer paso para evaluar la necesidad de una cortina y proyectarla es el análisis de los vientos de una zona en relación a las producciones que se pretende proteger.

El SMN publica series de estadísticas climáticas de la red de estaciones meteorológicas, constituidas por datos colectados durante una década. Las estadísticas sobre vientos contienen, para cada mes y punto cardinal / lateral, las frecuencias y la velocidad media del viento, registrando también la frecuencia de los días de calma (sin viento) (Tabla 5).

Tabla 5. Serie de estadísticas climáticas de la estación Hilario Ascasubi INTA (Pdo. Villarino, Buenos Aires). Período 2001-2010.

Nombre	Provincia	Lat S	Long W	Altura	Nro OMM	Categoría	Pertenece a	Periodo
HILARIO ASCASUBI INTA	Buenos Aires	39,23	62,37	22	87741	Climática	I.N.T.A.	2001-2010

VIENTO (km/h)

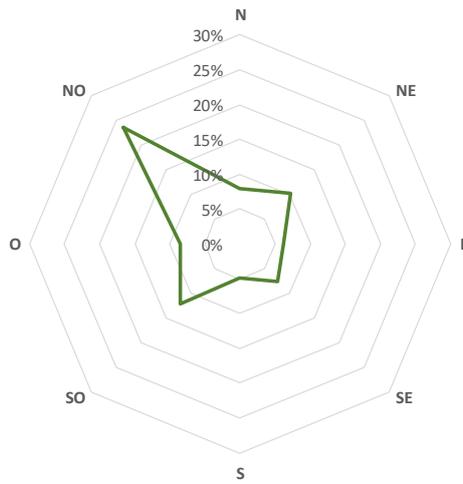
VELOCIDAD MEDIA POR DIRECCIÓN Y FRECUENCIA DE DIRECCIONES EN ESCALA DE 1000

DIR		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
N	Frecuencia	85	93	93	78	90	57	67	77	94	86	77	60	80
	Velocidad Media	9,0	4,1	7,4	7,4	7,1	7,0	6,4	1,3	8,0	9,2	8,6	5,9	6,8
NE	Frecuencia	154	156	113	57	57	48	69	77	105	120	133	146	103
	Velocidad Media	9,7	4,7	6,8	7,3	6,4	7,1	7,8	7,7	8,5	8,2	8,7	8,5	7,7
E	Frecuencia	90	107	68	20	30	26	19	39	60	59	91	125	61
	Velocidad Media	7,7	1,5	5,9	6,5	6,9	6,3	5,7	6,5	8,1	6,7	7,3	7,3	6,3
SE	Frecuencia	130	122	92	63	42	19	25	64	65	100	85	101	76
	Velocidad Media	8,0	3,4	6,5	7,6	6,4	4,0	8,7	8,2	9,3	7,8	10,5	9,3	7,6
S	Frecuencia	51	47	63	53	39	20	30	43	65	47	69	56	48
	Velocidad Media	6,6	1,7	6,0	6,8	5,4	4,9	6,5	6,4	8,3	6,3	7,6	8,1	6,2
SW	Frecuencia	104	91	92	111	107	132	168	142	120	136	139	112	121
	Velocidad Media	11,0	2,0	8,2	8,4	7,4	8,7	9,1	9,3	8,2	10,6	9,6	10,5	8,8
W	Frecuencia	65	61	60	118	81	125	106	95	68	80	99	73	86
	Velocidad Media	8,6	9,6	7,7	6,5	5,9	7,1	6,7	6,9	7,9	9,9	8,0	9,0	6,6
NW	Frecuencia	221	181	197	245	275	340	272	261	220	216	189	216	236
	Velocidad Media	11,3	1,3	9,4	8,9	8,4	8,8	9,8	5,5	10,1	11,0	10,3	10,7	8,7
Calma	Frecuencia	101	142	222	255	279	232	245	202	204	155	118	110	189

Fuente: Series de estadísticas climáticas. Servicio Meteorológico Nacional

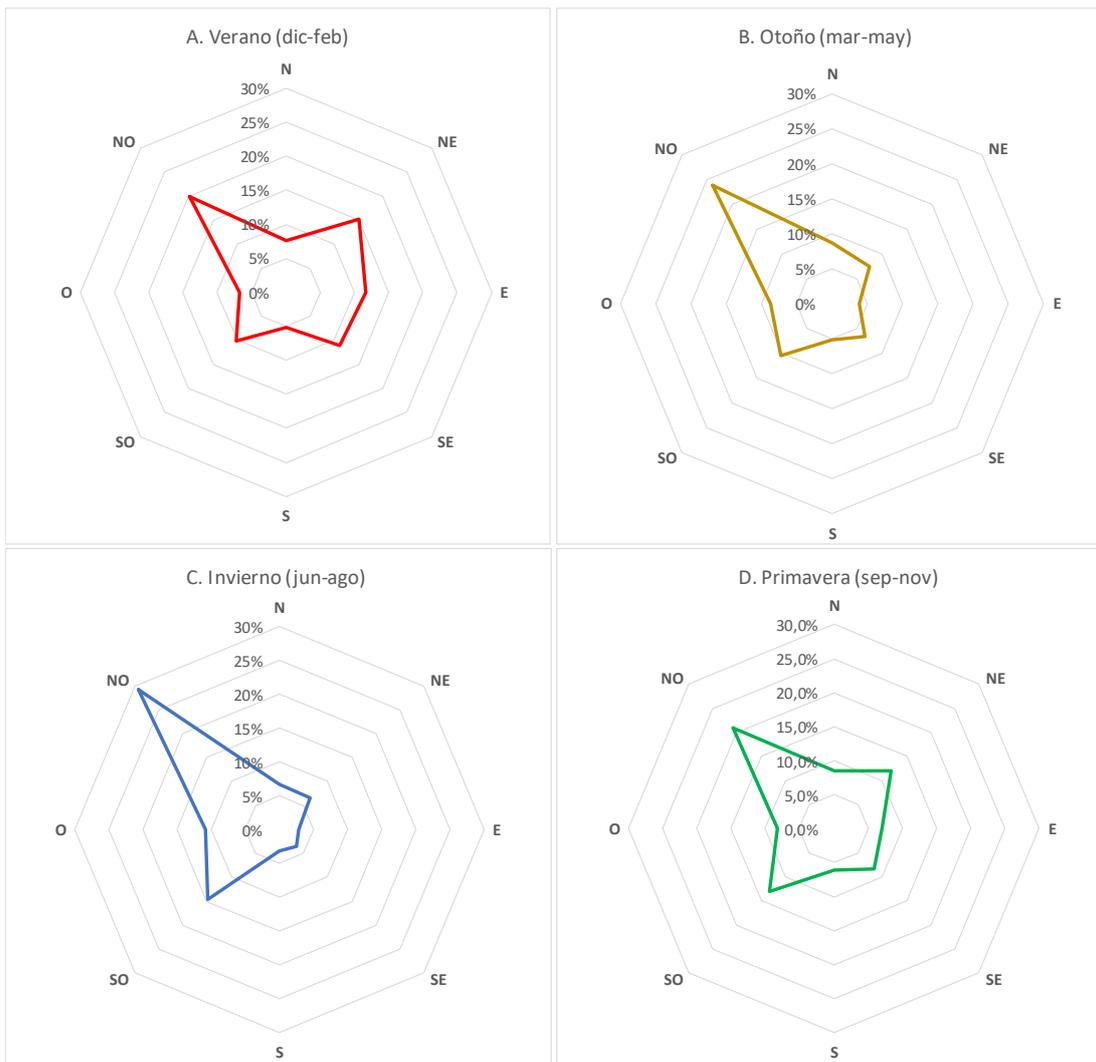
En base a una serie actualizada de estadísticas climáticas se elaborarán los anemogramas o rosas de vientos, a fin de identificar la dirección de los vientos predominantes. Es posible construir un anemograma anual (Gráfico 2) y/o por estaciones (Gráficos 3A a 3D), para un estudio más pormenorizado de los vientos de una estación en particular coincidentes con épocas sensibles para los cultivos a proteger. **Identificadas la o las direcciones de los vientos predominantes, la orientación óptima del eje longitudinal de la cortina es perpendicular a estos.**

Gráfico 2. Anemograma anual para Hilario Ascasubi.



El viento predominante es del noroeste.

Gráfico 3 (A al D). Anemogramas estacionales para Hilario Ascasubi (Pdo. Villarino, Buenos Aires).

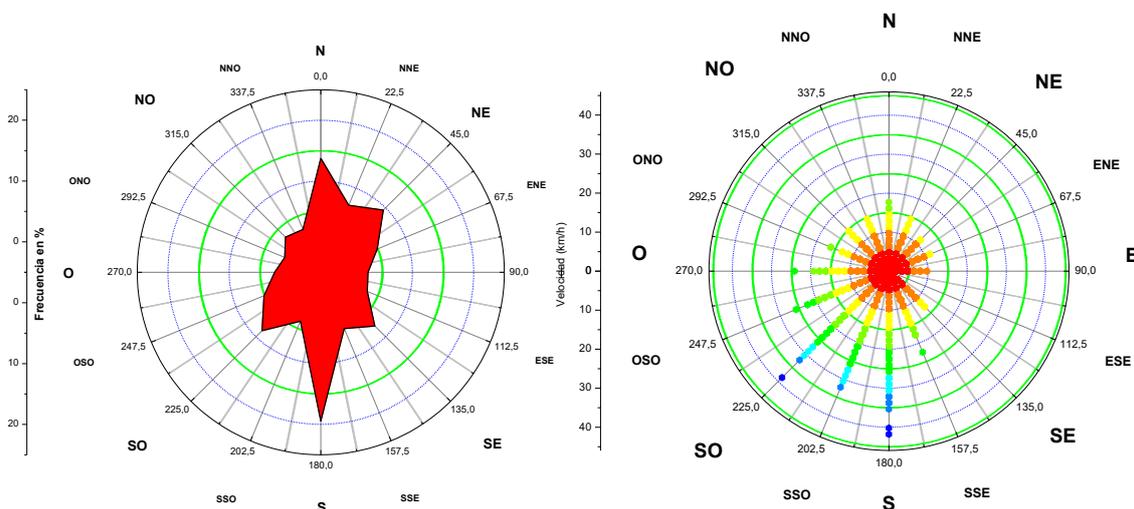


Fuente: elaboración propia a partir de serie de estadísticas climáticas 2001-2010 del Servicio Meteorológico Nacional.

En el ejemplo anterior, en el anemograma anual se observa que en ese lugar los vientos más frecuentes proceden del noroeste; los vientos primaverales y los estivales son frecuentes desde el sudoeste y noreste. En consecuencia, las cortinas deberán planificarse preferentemente con una orientación SO-NE y NO-SE, es decir, perpendiculares a los vientos predominantes.

En las últimas tres décadas, la adopción progresiva de estaciones meteorológicas automáticas ha permitido contar con un gran volumen de datos del clima en general y del viento en particular, con registros detallados de dirección y velocidad a lo largo del día. Para las estaciones meteorológicas que cuentan con series de datos con este detalle, es posible construir anemogramas que incluyen la velocidad del viento como variable y con ello identificar la dirección de los vientos de mayor velocidad (Gráfico 4), que en algunas regiones son los más problemáticos y los que se tienen en cuenta para definir la orientación de una cortina. En otros casos, junto con la velocidad se tiene en cuenta la temperatura (bajas o altas) y/o el contenido de humedad al momento de identificar los vientos más nocivos para las producciones.

Gráfico 4. Anemogramas de frecuencia y de velocidad del viento según origen.



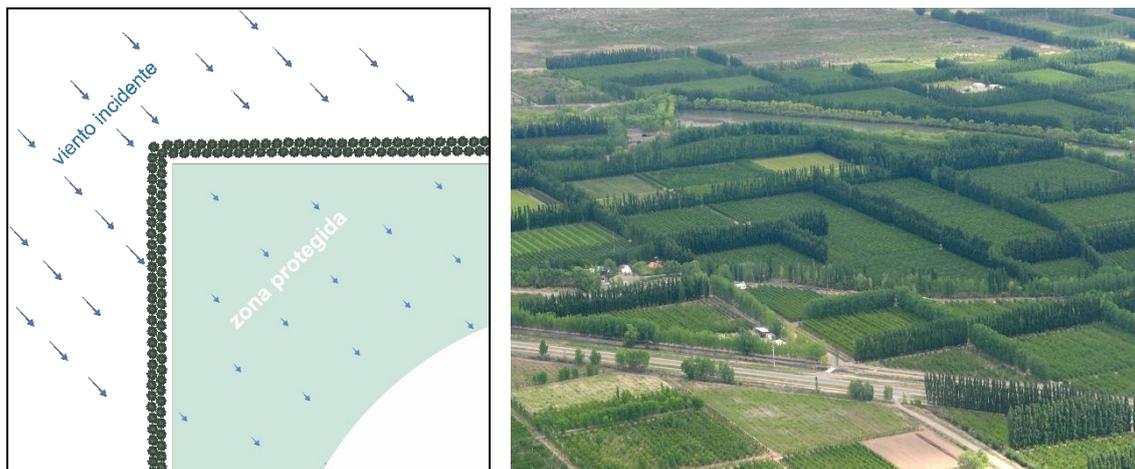
(Izq.) Anemograma para la EEA San Pedro INTA indicando la frecuencia de días con viento según su origen permite identificar los vientos más frecuentes. (Der.) Anemograma de la misma estación señalando la velocidad (denominada también intensidad) de viento según origen. Nótese que mientras que los vientos más frecuentes proceden del norte y del sur, los de mayor velocidad proceden del S y SO. Fuente: elaboración propia a partir de datos de estación meteorológica automática EEA San Pedro INTA.

Restricciones del terreno en el diseño y replanteo a campo de las cortinas

No siempre es posible plantar una cortina con la orientación óptima perpendicular a los vientos predominantes. En la mayoría de los casos, la proyección a campo de una cortina frecuentemente se encuentra con restricciones determinadas por la división catastral y la orientación de los lotes, la ubicación de alambrados, caminos e infraestructura, como también la existencia de desagües, arroyos u otros condicionantes naturales. En las zonas de regadío, la disposición de los canales de diferente magnitud que conforman la red de riego y drenaje definen la orientación de los lotes y de las cortinas cortavientos (Figura 17 Der.).

Frecuentemente los vientos inciden de forma oblicua a la orientación en que efectivamente puede plantarse una cortina en el terreno. Esto lleva a la adopción de diseños de cortinas de 2 brazos o en forma de “L” (Figura 17) o de 3 brazos o en forma de “C”, para proteger 2 o 3 laterales de un lote respectivamente.

Figura 17. Cortinas de dos o más aristas o brazos.



(Izq.). Cuando los vientos predominantes inciden de forma oblicua a la orientación de los alambrados o la red de riego, se establecen cortinas sobre las 2 aristas o linderos de los lotes. (Der.). La disposición de las cortinas en zonas de riego se ajusta a la división catastral y a la orientación de la red de riego y drenaje. Fuente: elaboración propia.

Elección de las especies y materiales de propagación

La selección de la/s especie/s a utilizar en una cortina cortavientos está condicionada por diversos factores, siendo los más importantes:

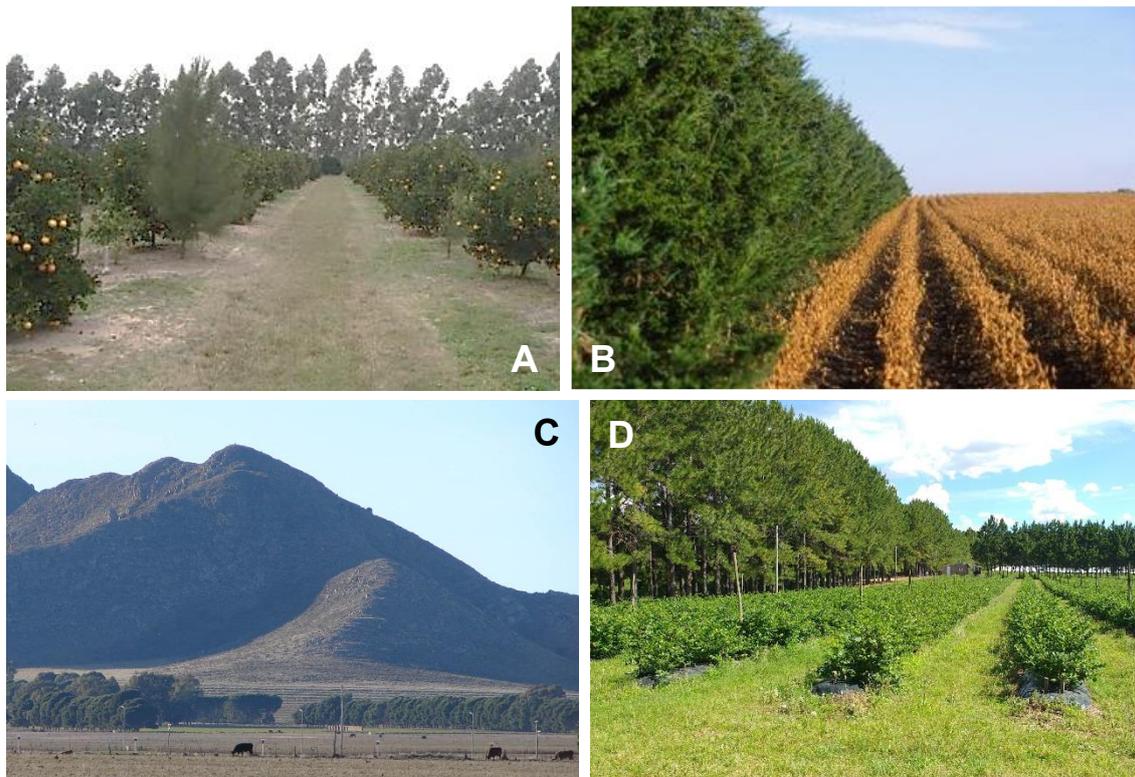
- Las características climáticas y edáficas del sitio
- El tipo de producción a proteger y la época crítica en que esta requiere protección.
- La talla de la especie, su velocidad de crecimiento, forma de copa, arquitectura de ramas y persistencia de follaje.
- El potencial destino industrial de la madera obtenida del aprovechamiento de la cortina.
- La existencia de mecanismos de promoción o fomento al establecimiento de cortinas.

Las condiciones de clima y suelo resultan excluyentes al momento de elegir las especies potenciales para uso como cortinas. En líneas generales, el tipo de clima define los géneros o grupos de especies que es factible cultivar. Luego, las características del suelo delimitarán calidades de sitio disponibles y con ello las especies a plantar en cada zona.

Un segundo criterio que se tiene en cuenta en la selección son las características de crecimiento del tronco, abundancia, largo, ángulo de inserción y flexibilidad de las ramas frente al viento, además de las características del follaje en cuanto a si es perenne o caduco, su tamaño, textura y la persistencia de las ramas en la porción baja y media del tronco con la edad. Las especies preferidas para uso como cortinas se caracterizan por un tener hábito de crecimiento

excurren, con un tronco o eje preferentemente único y dominante, ramas poco extendidas horizontalmente o adpresas al tronco generando copas de forma columnar o fastigiada.

Figura 18. Cortinas de follaje perenne.



(A) casuarina y cítricos, Colonia Ayuí, Entre Ríos. (B) ciprés y soja, Lima, Buenos Aires. (C) pino de Alepo y pastura, Pigüe, Buenos Aires. (D) pino taeda y arándano, Concordia, Entre Ríos. Fuente: Curso de introducción a la Dasonomía FCAyF – UNLP.

El tipo de follaje, perenne o caduco, dependerá de la clase de producción a proteger (o infraestructura) y la época más sensible en la que se requiere protección, de modo que los árboles tengan follaje en dicha época (Figuras 18, 19 y 20).

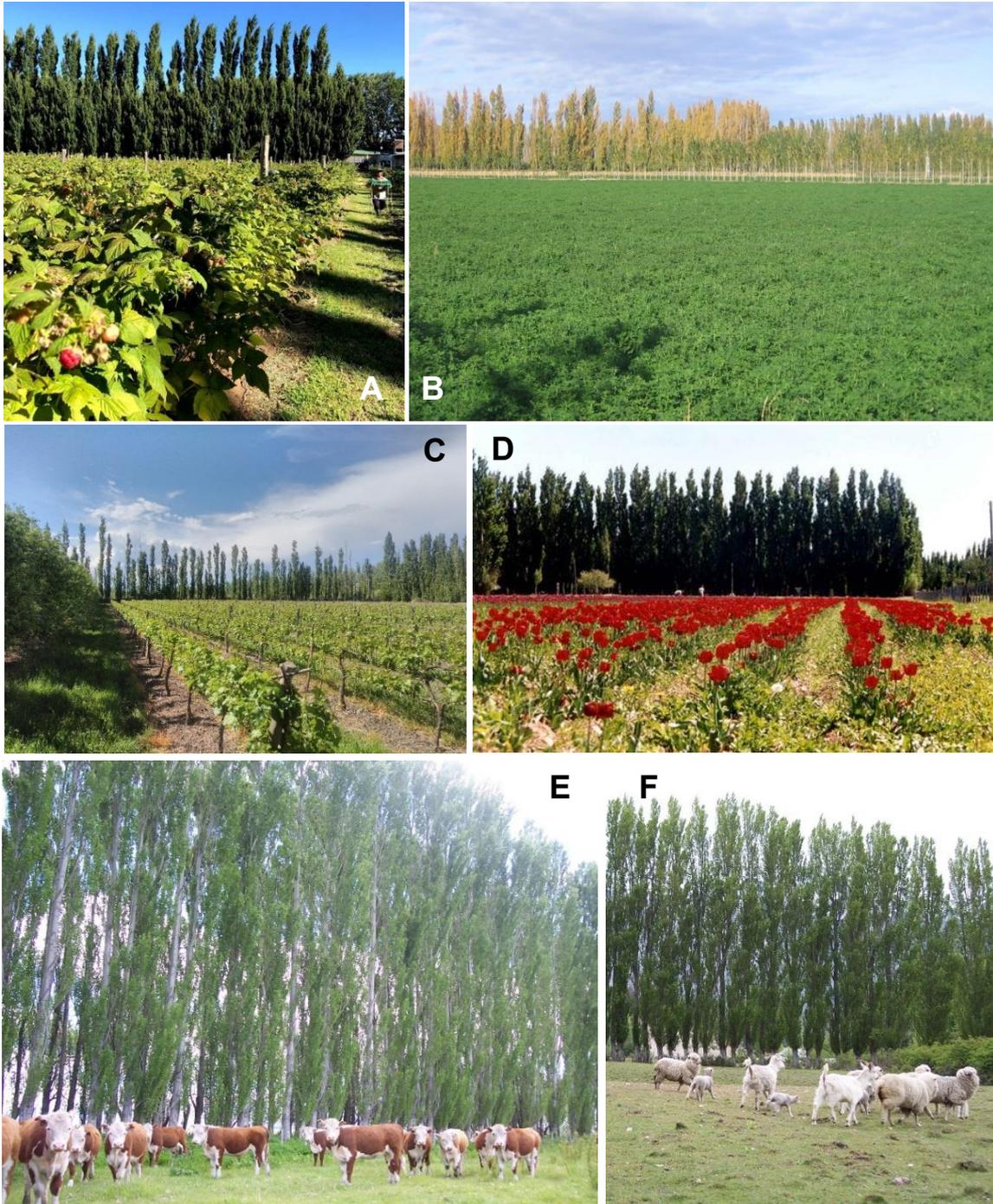
Figura 19. Cortinas protegiendo infraestructura.



(Izq.) de hoja perenne (*Eucalyptus* spp). (Der.) de hoja caduca (*Populus* spp.). Fuente: Curso de introducción a la Dasonomía FCAyF – UNLP.

La rapidez de crecimiento y la sanidad son características de peso en la elección, a fin de lograr cortinas que crezcan vigorosas y puedan comenzar a prestar servicio reduciendo la velocidad del viento en el tiempo más corto posible.

Figura 20. Cortinas de follaje caduco.



(A) álamo y frambuesa, Plottier, Neuquén. (B) álamo y alfalfa, Senillosa, Neuquén. (C) álamo y vid, Sargento Vidal, Río Negro. (D) álamo y tulipanes, Gdor. Gregores, Santa Cruz. (E) álamo criollo y bovinos, El Maitén, Chubut. (F) álamo criollo, lanares y caprinos, Epuayén, Chubut. Fuente: A al D: Curso de introducción a la Dasonomía FCAYF – UNLP. E y F: Ing. Ivana Amico, EEA Esquel INTA.

Otro aspecto importante en la elección de las especies es la aplicación industrial de su madera. Como veremos enseguida, en algunas regiones el sistema de plantación en cortinas representa una parte importante del recurso forestal implantado y el aprovechamiento maderero de las mismas da origen a una industria forestal en ocasiones de relevancia y ligada a la producción principal que protegen, como sucede con las cortinas de álamo protegiendo frutales en los oasis de riego de Patagonia norte y la obtención de madera destinada a la fabricación de embalajes y cajonería.

A modo de síntesis, la Tabla 6 resume los grupos y especies empleadas para cortinas en cada región, junto con el uso industrial de la madera fruto de su aprovechamiento.

Tabla 6. Especies utilizadas para cortinas forestales en diferentes regiones.

Región	Protegiendo	Grupos cultivados	Especies / cultivares	Aplicación de la madera
Litoral	cítricos, arándanos	Pinos subtropicales Casuarina	<i>Pinus elliotii</i> ; <i>P. taeda</i> <i>Casuarina spp</i> <i>Grevillea robusta</i>	aserrado, leña (casuarina y eucalipto)
	infraestructura	Casuarina, eucaliptos subtropicales	<i>Casuarina spp.</i> <i>Eucalyptus grandis</i> ; <i>Corymbia torelliana</i>	
Región pampeana	pasturas, cultivos, infraestructura	Casuarina, eucaliptos templados, álamo, cipreses	<i>Casuarina ssp.</i> <i>Eucalyptus camaldulensis</i> ; <i>E. tereticornis</i> ; clones de <i>Populus deltoides</i> y <i>P. x euroamericana</i> ; <i>Cupressus sempervirens</i> , <i>C. macrocarpa</i> , <i>C. x leylandii</i>	aserrado, carpintería rural, leña (casuarina y eucalipto)
Buenos Aires Sudeste	cultivos, infraestructura	eucaliptos templados, cipreses	<i>Eucalyptus viminalis</i> ; <i>E. globulus</i> <i>Cupressus macrocarpa</i> ; <i>C. sempervirens</i>	aserrado triturado celulosico (<i>E. globulus</i>)
Cuyo bajo riego	frutales, pasturas, horticolas. infraestructura	clones de álamo de forma fastigiada	<i>Populus nigra</i> (cv. itálica, cv. Thaysiana, cv. Jean Pourtet); <i>P. alba var. pyramidalis Bolleana</i> <i>P. x euroamericana</i> (I-214, Conti 12, cv. Guardi, cv. Veronese)	aserrado general, cajonería, debobinado
Patagonia bajo riego	frutales, pasturas, horticolas. infraestructura	clones de álamo de forma fastigiada	<i>Populus nigra</i> (cv. itálica, cv. Thaysiana, cv. Jean Pourtet) <i>P. x euroamericana</i> (I-214, I-488, I-262, Conti 12, cv. Guardi, cv. Luisa Avanzo)	aserrado general, cajonería, celulosa, debobinado
Patagonia andina (secano)	pasturas, cultivos, infraestructura	clones de álamo de forma fastigiada, cipreses, pinos templado/fríos	<i>Populus nigra</i> (cv. itálica, cv. Thaysiana, cv. Jean Pourtet, cv. Moissac, cv. Sehuil, DeLion, Naurduze) <i>P. x euroamericana</i> (I-214, I-488, Conti 12) <i>P. trichocarpa</i> (cv. SP1456, cv. SP125, cv. Río Frío, cv. 919) <i>Cupressus macrocarpa</i> , <i>Pinus radiata</i> , <i>P. contorta</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i>	aserrado, leña
Region semiárida (La Pampa, San Luis, BsAs)	cultivos, pasturas, infraestructura	eucaliptos, pinos mediterráneos, olmo	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> ; <i>E. viminalis</i> <i>Pinus halepensis</i> ; <i>P. brutia</i> ; <i>Ulmus spp.</i>	aserrado, carpintería rural, leña
Delta del Paraná	fijación de costas, infraestructura	pinos subtropicales, casuarina, cipreses calvos, salicáceas, eucaliptos templados	<i>Pinus elliotii</i> ; <i>P. taeda</i> <i>Casuarina spp</i> <i>Taxodium spp.</i> Clones de <i>Populus deltoides</i> ; clones de <i>Salix nigra</i> , <i>S. alba</i> , <i>S. matsudana</i> y sus híbridos <i>Eucalyptus camaldulensis</i> ; <i>E. dunnii</i>	aserrado, carpintería rural, leña

Fuente: Elaboración propia a partir de SAGPyA (1999), Amico (2002), Calderón (2006), Serventi (2011), Borodowski (2017), CFI-FCAYF (2018), Zubrzycki (2019), Davel y colab. (2020) y observaciones propias

Cabe comentar en este punto que los mecanismos de fomento forestal vigentes en Argentina establecen para cada región del país cuáles son las especies que están promocionadas para realizar forestaciones en cortinas y en macizos. Volveremos brevemente al tema de fomento a la realización de cortinas en un próximo apartado.

Materiales de propagación

Los materiales de propagación empleados para plantar cortinas son la planta con cepellón o pan de tierra en el caso de casuarina, pinos, eucaliptos y cipreses. En eucaliptos y pinos el material de plantación más común es el plantín en contenedor de una temporada de crecimiento (plug + 0), fácilmente disponible y a bajo costo en viveros forestales. Para casuarina y cipreses, frecuentemente se emplean plantas de 2 a 4 temporadas de crecimiento en envase tipo maceta plástica de 1 o 4 litros dependiendo de la región y el vivero proveedor.

Para álamos y sauces que son multiplicados vegetativamente, se utilizan barbados de 1 o 2 temporadas (estacas enraizadas en vivero con 1 o 2 temporadas de crianza), guías o estacas. En zonas bajo riego el barbado es el material de plantación por excelencia, pues al ser una planta con raíz, se logra un mayor prendimiento. En la región Pampeana y en el Delta del Paraná se utilizan con frecuencia guías de 1 temporada de crecimiento y estacas por su menor costo y buena sobrevivencia. Las estacas también se emplean en zonas bajo riego cuando las cortinas se plantan junto a acequias y canales que aseguran una adecuada dotación de humedad en el suelo.

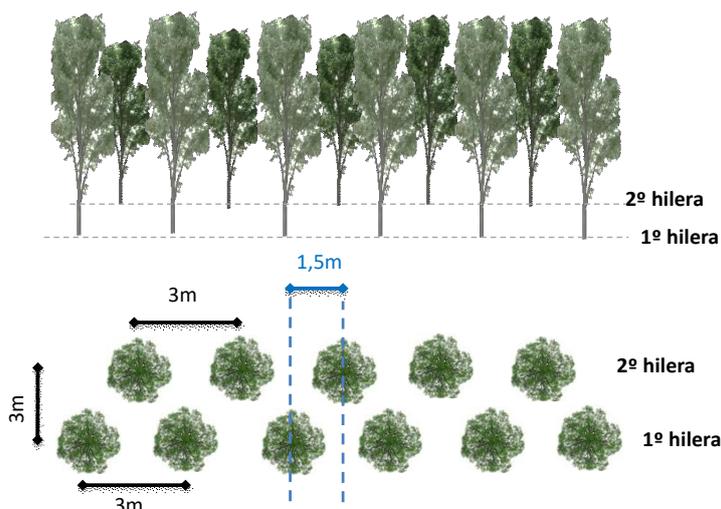
Para ahondar en los diferentes tipos de material de propagación referiremos al lector al capítulo 2 del libro cátedra “Plantaciones forestales en Argentina: Fundamentos técnicos y metodologías para la realización de forestaciones en diferentes regiones” (Galarco y Ramilo Ed, 2020) publicado por EDULP y de libre acceso a través del repositorio institucional de la UNLP.

Diseño: cantidad de hileras y espaciamiento

El número de hileras de una cortina varía con las especies y variedades (o clones), la región con sus condiciones climáticas y en particular sus vientos, el tipo de producción a proteger y la utilización que tiene la madera de la cortina. En todos los casos son de 1 a 3 hileras, excepcionalmente 4, ya que con mayor número de hileras se consideran *fajas* o *trincheras*.

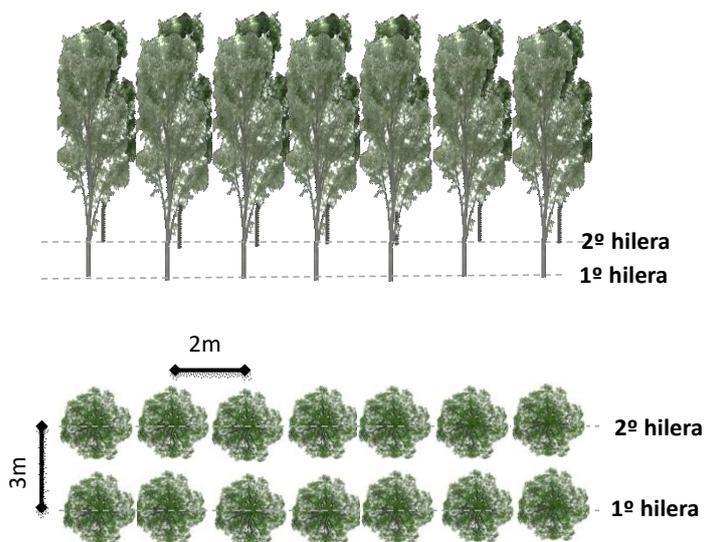
En cortinas de 2 o más hileras la configuración espacial de las plantas puede ser en **tresbolillo** (Figura 21) o **marco real** (Figura 22), siendo la primera muy utilizada ya que en cortinas de 2 hileras tal disposición garantiza que todas las plantas tengan frente al viento cuando este sopla en dirección perpendicular a la barrera.

Figura 21. Configuración espacial en tresbolillo.



Las plantas de hileras contiguas se ubican desfasadas un 50% entre sí. Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Configuración espacial en marco real.



Las plantas de hileras contiguas están alineadas; puede ser 'rectangular' cuando la distancia entre plantas en la hilera y entre hileras es diferente o 'cuadrado' cuando ambas distancias son iguales. Fuente: elaboración propia.

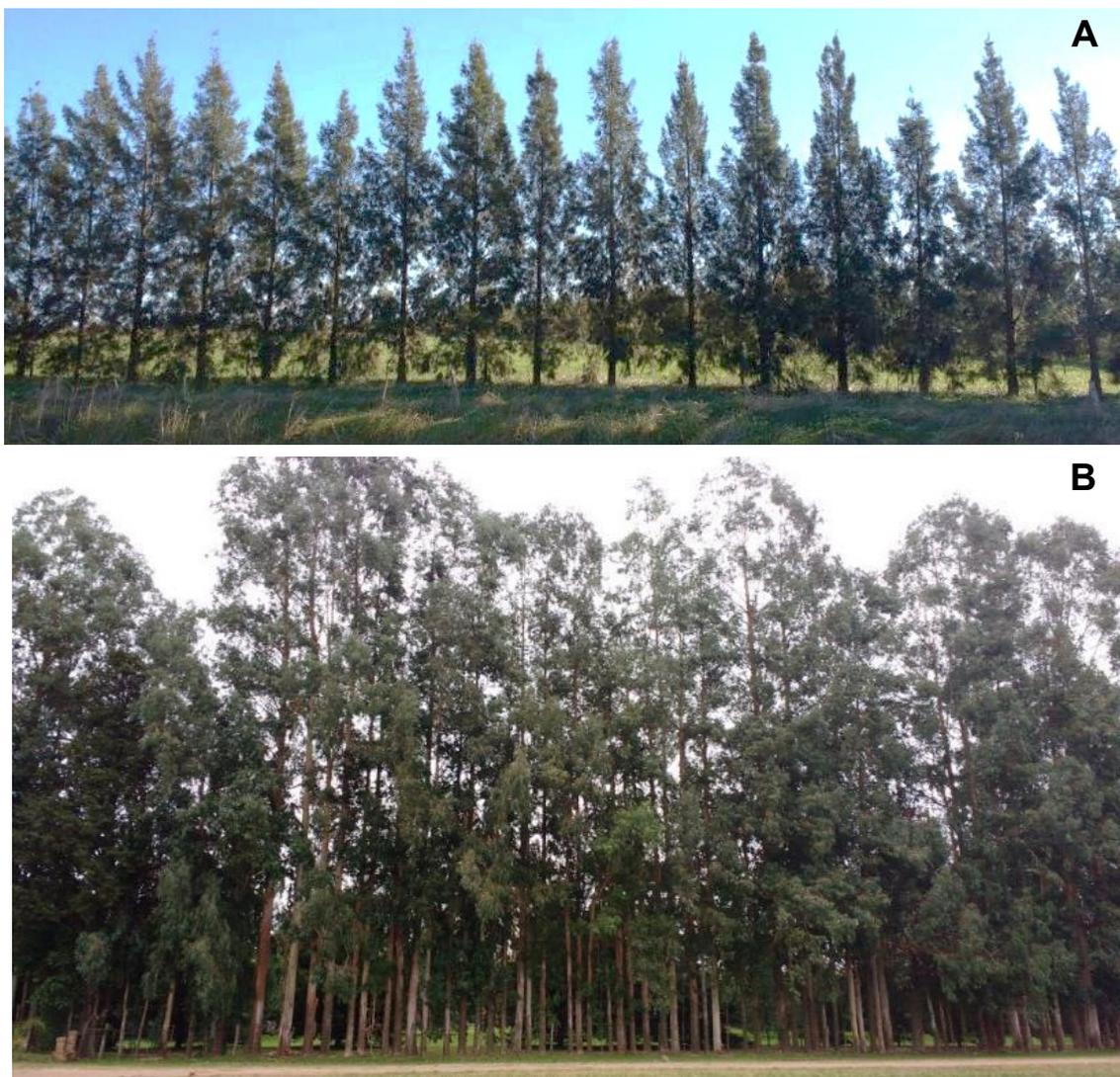
En las de 3 o 4 hileras se repite alguno de estos dos patrones de distribución, siendo la distribución en marco real algo común en este tipo de cortinas. Asimismo, puede ser la opción adecuada en situaciones en las que, por restricciones de apotreramiento, orientación de alambrados o de otro tipo, el viento incide de forma oblicua al eje longitudinal de cortina (Figura 17 Izq.)

Cortinas de 1 hilera

Las cortinas de 1 hilera son las más simples (Figura 23); el espaciamiento entre plantas surge del compromiso, por un lado, de la especie y variedad en relación a su arquitectura, for-

ma y diámetro de la copa y por otro, de la porosidad deseada para la cortina a crear, esto último en relación al tipo de producción y/o infraestructura que se desea proteger. En casuarina los espaciamientos entre plantas de 2 m a 2,5 m son usuales para cortinas semipermeables; para las poco permeables o de tipo barrera sanitaria, puede reducirse a 1,2 a 1,5 m (Figura 23A). En *Eucalyptus* se adoptan distanciamientos entre plantas de 2 hasta 3 m dependiendo de la especie utilizada y un aspecto tenido en cuenta es que son pocas las especies del género que mantienen las ramas en la porción baja y media del tronco con la edad (Figura 23B).

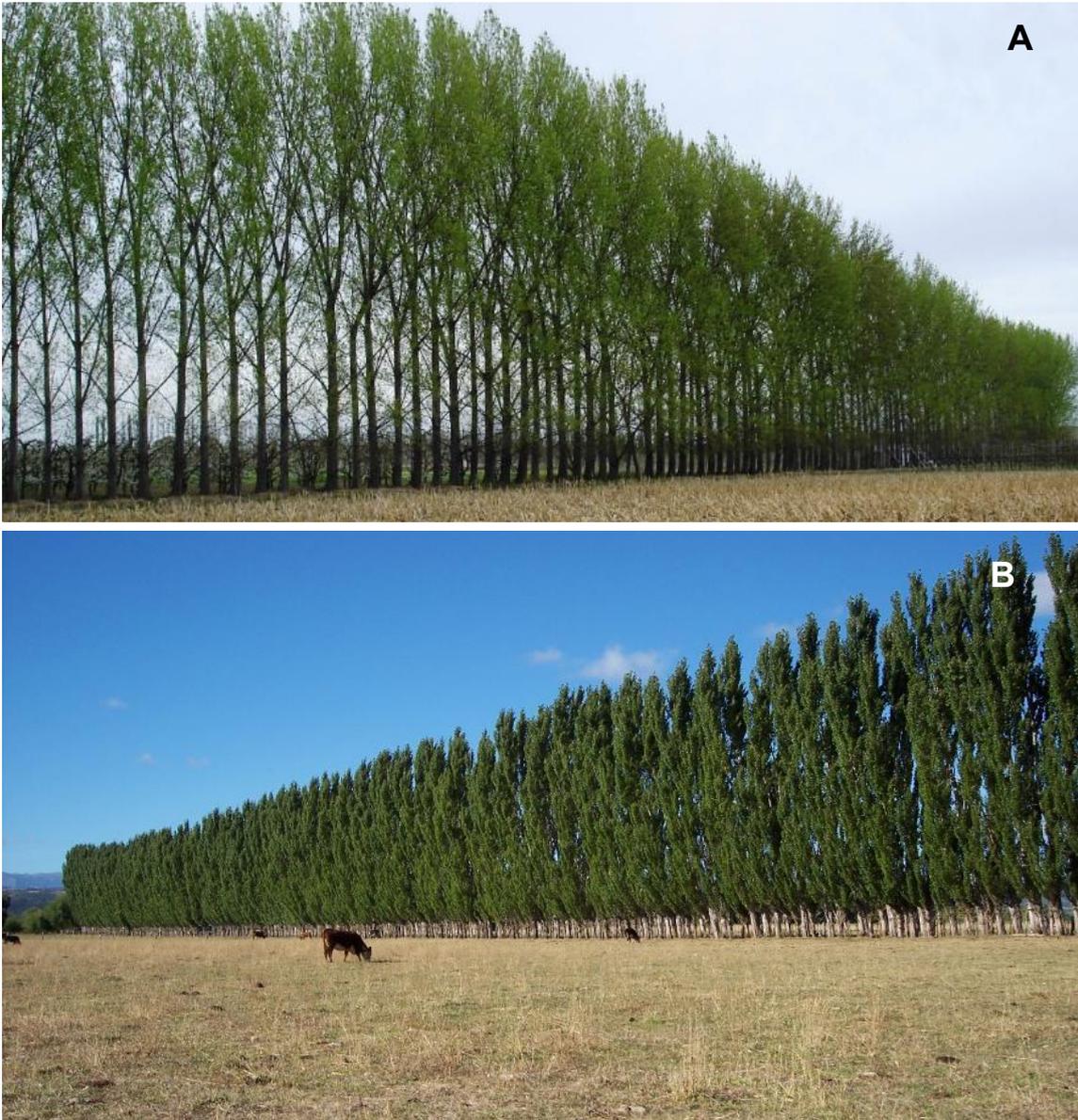
Figura 23. Cortinas de 1 hilera de hoja perenne.



(A) *Casuarina* spp., Bolívar, Buenos Aires. (B) *Eucalyptus dunnii*, Saladillo, Buenos Aires. Fuente: Curso de introducción a la Dasonomía FCAyF – UNLP.

En álamo, cuando se emplean especies o variedades de porte fastigiado, los distanciamientos son de 1,2 m a 1,5 m entre plantas para cortinas semipermeables y 2m entre plantas en las permeables (Peri, 1997; Thomas, 2014; Davel et al., 2020) (Figura 24).

Figura 24. Cortinas de 1 hilera de hoja caduca.



(A) *Populus x euroamericana* I-214 en Allen, Río Negro. (B) *Populus nigra* cv *italica* en Trevelin, Chubut. Fuente: A: Ing. Esteban Thomas, EEA Alto Valle INTA. B: Ing. Ivana Amico, EEA Esquel INTA.

Cuando se utilizan cipreses en cortinas poco permeables, los distanciamientos son de al menos 4 m para especies de copa extendidas horizontalmente como *Cupressus macrocarpa* o *C. x leylandii* y algo menores en otras especies del género con copas de menor diámetro.

Cortinas de 2 hileras

En este tipo de cortinas se recomienda la plantación en tresbolillo cuando son de una sola especie. Los distanciamientos entre plantas en la misma hilera se amplían respecto a los utilizados en las de 1 sola hilera y las plantas de la segunda hilera ocupan posiciones intermedias entre las plantas de la primera (Figura 21).

En región Pampeana se adoptan distancias entre hileras de 2,5 hasta 5 m. Los distanciamientos entre plantas en la hilera son de 2 a 3,5 m dependiendo de la porosidad buscada en relación al objetivo de protección. Similares distanciamientos se emplean en cortinas de casuarina o de pino para la protección de cítricos en el litoral (Zubrzycki, 2019; Oberschelp et al., 2020). Para eucaliptos los distanciamientos entre hileras son de 4 a 6 m y entre plantas dentro de la hilera de 3 m a 4 m según la especie.

Figura 25. Cortinas de 2 hileras.



(Izq.) casuarina protegiendo arándanos en Concordia, Entre Ríos. (Der.) Eucalyptus viminalis en Veinticinco de Mayo, Buenos Aires. Fuente: Curso de introducción a la Dasonomía FCAyF – UNLP.

En Patagonia, para las cortinas de 2 hileras realizadas con álamos de porte fastigiado se utilizan distanciamientos de 1,5m a 2m (y hasta 3m) entre hileras y 1 - 1,6m entre plantas (Peri, 1998; Amico, 2002; Peri, 2003; Tassara et al., 2008; Thomas, 2014; Davel et al., 2020) dependiendo de la porosidad de cortina que se desea lograr.

En los oasis de riego de Patagonia y Cuyo se emplean cortinas de álamo de 2 hileras y es una práctica frecuente plantarlas a ambos márgenes de las acequias (Figura 26).

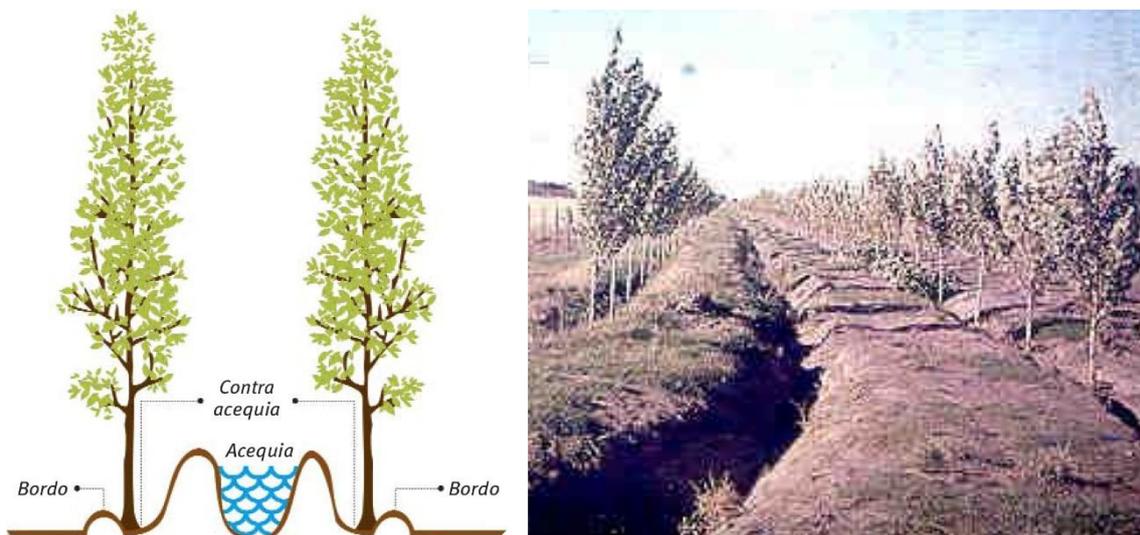
Figura 26. Cortinas de álamo de 2 hileras en las márgenes de acequias



(Izq.) Allen, Río Negro; (Der.) Senillosa, Neuquén. Fuente: (Izq.) Ing. Esteban Thomas, EEA Alto Valle INTA. (Der.) Nicolás García.

A fin de facilitar los trabajos regulares de limpieza y mantenimiento de la red de riego en la época invernal, es conveniente evitar la plantación de las cortinas inmediatamente junto a las acequias, optando por ubicarlas en la contra acequia (Salimbeni, 1980; Thomas, 2014) (Figura 27).

Figura 27. Ubicación de las plantas en la contra acequia, a fin de facilitar los trabajos regulares para su limpieza y mantenimiento.



Fuente: (Izq.) tomado de Thomas (2014). (Der.): cortina de álamo en el Valle Bonaerense del Río Colorado. Curso de introducción a la Dasonomía FCAyF – UNLP.

En algunas situaciones las cortinas pueden combinar 2 especies, particularmente en aquellas en las que la especie de mayor magnitud tiene la característica de perder las ramas de la porción baja del tronco con la edad, lo que aumenta la porosidad de la barrera restándole efecto protector. Esto ocurre en álamos del tipo deltoides y euroamericanos de copas extendidas (Figura 28) y en algunas especies de eucalipto de gran tamaño (*E. grandis*, *E. dunnii*, *E. viminalis*, *E. camaldulensis*).

Figura 28. Cortina madura de 1 hilera de *Populus deltoides* con porosidad excesiva en la porción baja del tronco en San Pedro, Buenos Aires.



En algunos casos, la especie principal ha de complementarse con otra especie de menor porte y/o con ramas basales persistentes o bien con una arbustiva. Fuente: Curso de introducción a la Dasonomía FCAyF – UNLP.

En esos casos puede combinarse la especie principal con otra arbórea de menor talla o bien con una de tipo arbustiva para aumentar la densidad de la barrera en su porción inferior, dando origen a cortinas mixtas. Algunos ejemplos de combinaciones son álamo y sauce (Figura 29), eucalipto y casuarina, eucalipto y aroma australiano (*Acacia melanoxylon*), eucalipto y ciprés entre otros.

Figura 29. Cortina mixta de álamo negro y sauce.



Fuente: Ing. Pablo Peri. EEA Santa Cruz INTA.

Cortinas de 3 y 4 hileras

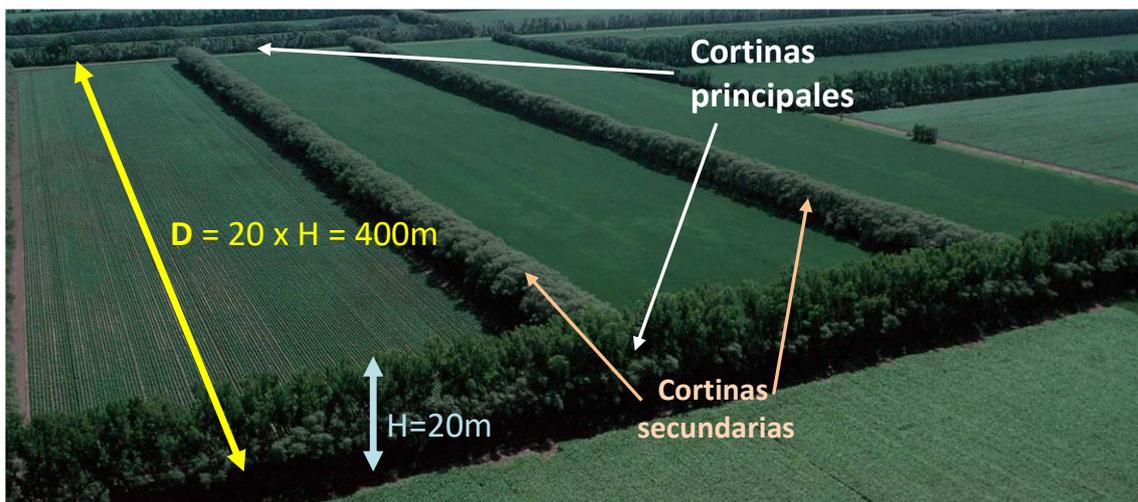
Las cortinas de 3 o 4 hileras, aunque poco frecuentes, se emplean cuando junto al objetivo de protección se persigue la obtención de madera como finalidad secundaria pero económicamente relevante, sin que ello reste superficie de magnitud a la actividad principal. Por ejemplo, en el sudeste bonaerense son usuales las cortinas de *Eucalyptus globulus* de 3 y de 4 hileras como diseño modal (CFI-UNLP, 2018), ya que la producción de madera para celulosa fue un objetivo de trascendencia económica a mediados de la década de 1990 y una industria exportadora de rollos y chips se sostuvo en la región basada fuertemente en el aprovechamiento de cortinas. En dicha región, la plantación de este tipo de cortinas se realiza en marco real o a tresbolillo, con distanciamientos semejantes a los de planteos celulósicos, de 2,8m x 2,8m o 3m x 3m.

Distancia entre cortinas. Sistemas de cortinas

Con el propósito de reducir la velocidad del viento y proteger una superficie amplia de terreno productivo, se plantan cortinas paralelas entre si y a intervalos regulares, configurando **sistemas de cortinas**. La distancia a la se repetirá la instalación de cortinas principales estará determinada por la porosidad de la cortina en acuerdo a la producción que se desea proteger y por la altura de los árboles al estado adulto, parámetros que en conjunto y como vimos anteriormente, definen la extensión del área protegida a sotavento del emplazamiento de una corti-

na. A modo de ejemplo, en una cortina semipermeable en la que se prevé que los árboles alcancen una altura de 20m, se estima que el área protegida será de aprox. 18 a 20 veces la altura (18 - 20H) y, en consecuencia, la distancia máxima entre dos cortinas principales sucesivas deberá ser de entre 360 y 400 metros (Figura 30).

Figura 30. Sistemas de cortinas



Esquema de distanciamiento entre cortinas principales. D: distancia entre cortinas; H: altura de la cortina. Fuente: elaboración propia sobre imagen de USDA Natural Resources Conservation Service

Zona de competencia. Distanciamiento con los cultivos

Las cortinas ejercen un efecto de reducción del rendimiento en los cultivos adyacentes, que es de diferente magnitud dependiendo del tipo de cultivo, las especies que forman la cortina y las condiciones climáticas (Stoeckeler, 1962; Zhu, 2008). Esta reducción ha sido vinculada principalmente a un mayor consumo de agua por parte de la cortina, pero también intervienen la intercepción de lluvia por parte de las copas de los árboles, el sombreado y posibles efectos alelopáticos de las especies forestales empleadas (Kort, 1988; Ong y Huxley, 1996). Esta **zona de competencia cortina-cultivo** puede extenderse de 0,5 hasta 1 a 1,5 veces la altura de los árboles de la cortina.

Aun cuando el incremento general de rendimiento del cultivo que se logra por el efecto protector de la cortina supera ampliamente las mermas de productividad experimentadas en la zona de competencia (Read, 1964; Helmers y Brandle, 2002; Wight y Straight, 2015), estas últimas pueden reducirse mediante prácticas de manejo. Algunas alternativas son el uso de especies forestales de anclaje profundo, el empleo de técnicas de plantación en profundidad cuando se emplean barbados de álamo en zonas de regadío, el aumento en los volúmenes de riego en proximidad de las cortinas para satisfacer el mayor consumo hídrico y la poda periódica (cada 2 o 3 años) de las raíces superficiales de los árboles (Brandle et al., 2004; Requena, 2006) mediante pasaje de subsolador o rastra pesada.

Plantación y cuidados culturales

Preparación del terreno

Las labores de preparación del terreno previas a la plantación varían según las características del terreno, el tipo y tamaño del material de propagación empleado y las maquinarias y aperos disponibles localmente. Las alternativas van desde el laboreo de la línea de plantación con rastra de discos, rastra de discos y cincel o subsolador, el hoyado con hoyadora montada en tractor o de motor a explosión y accionamiento manual, hasta el hoyado con pala y sin laboreo previo del suelo.

Como lineamiento general, para álamos y sauces el hoyado se realiza con hoyadora o con pala cuando el material de propagación es el barbado; cuando se emplean estacas la plantación puede efectuarse con barreta común o con barreta hidráulica. Cuando se usan plantines en tubo o contenedor, la plantación de las cortinas se realiza de forma manual con el auxilio de diferentes herramientas como la pala común, pala barreta, bastón plantador, tubo plantador o saracúa.

El lector encontrará una descripción más detallada de las alternativas de preparación del terreno, marcación y las técnicas de plantación en el capítulo 3 del libro cátedra “Plantaciones forestales en Argentina” (Galarco y Ramilo Ed, 2020).

Época de plantación

La época de plantación varía entre las regiones y con las especies utilizadas. En Salicáceas, la plantación se realiza preferentemente a fin del invierno, con variaciones en la fecha según la latitud, la evolución de las temperaturas, la magnitud de la obra de forestación y la época de brotación de los diversos clones. En *Casuarina spp.* la plantación es también en el invierno, pudiéndose extender a la primavera.

En el caso de los eucaliptos, género que se cultiva en nuestro país en regiones de climas templados y cálidos seleccionando adecuadamente las especies, la época de plantación es frecuentemente la primavera debido a que son en su mayoría sensibles a las heladas. No obstante, algunas especies tolerantes al frío como *E. viminalis*, *E. benthamii* y *E. dunnii* (esta última solo parcialmente tolerante) pueden plantarse con bajo riesgo al final del verano e inicio del otoño, una vez finalizado el período de fuertes calores estivales.

En pinos la época de plantación se extiende desde el otoño hasta la primavera cuando se emplean plantas en contenedor, sin embargo, algunas especies del género pueden ser susceptibles a temperaturas muy bajas, por lo cual se evita su plantación en los meses de heladas más severas. Por otro lado, en Patagonia la plantación de pinos durante el otoño e invierno puede verse afectada en la práctica por condiciones de suelo congelado o por la acumulación de nieve que dificulta las labores, en razón de lo cual la época más propicia es el final del verano o la primavera.

En la región húmeda del NOA, la época de plantación está definida por el régimen de lluvias que es de tipo estival con estación seca marcada en el invierno, lo que obliga a plantar entre diciembre y fines de febrero.

Para profundizar en el tema de épocas de plantación para las diversas especies en las diferentes regiones del país recomendamos al lector remitirse a los capítulos 4 al 9 del libro cátedra “Plantaciones forestales en Argentina” (Galarco y Ramilo Ed, 2020).

Cuidados culturales

En las cortinas más que en ningún otro sistema de plantación es de fundamental importancia lograr la más alta sobrevivencia y la pronta instalación de las plantas en el terreno. Ello involucra un esmerado **control de plagas**, especialmente de hormigas cortadoras y de liebres, las primeras a través recorridas, marcación a campo de hormigueros y su control antes y después de plantar; las segundas mediante el uso de productos de acción lebrífuga o colocando protecciones individuales a las plantas que garanticen su resguardo del ramoneo de estos roedores.

El **riego** periódico durante los primeros meses hasta lograr el establecimiento de una cortina es una práctica deseable y plenamente justificada, al igual que la realización de riegos en etapas posteriores ante condiciones de sequías extraordinarias que puedan comprometer la sobrevivencia de las plantas. Los sistemas utilizados abarcan el riego gravitacional característico en las zonas de regadío, la instalación de sistemas por goteo y, como alternativa más asequible en regiones de secano, el riego manual con el auxilio de acoplados cisterna de arrastre.

Vinculado al riego y cuando en material de propagación empleado es planta en contenedor o con cepellón, es una práctica de adopción creciente el uso de geles de poliacrilato (denominados hidrogeles) al momento de plantar con el objetivo de mejorar la retención de humedad en la zona de raíces.

La **reposición de fallas** es crucial en la instalación de cortinas cortavientos. Al explicar el funcionamiento de las cortinas al inicio del capítulo, advertimos el efecto que provoca la existencia de brechas o huecos en la cortina sobre el flujo del aire y como ello afecta la protección que esta brinda. Es por esa razón que han de realizarse los esfuerzos necesarios para lograr un prendimiento de plantas lo más próximo al 100% como sea posible. Ello incluye efectuar todas las reposiciones de plantas muertas, enfermas, anormales y débiles que sean necesarias durante los primeros años del establecimiento de la cortina.

Aunque la **fertilización de arranque** no es una práctica generalizada en la realización de cortinas, ha resultado beneficiosa en plantaciones en macizo en eucaliptos y álamos (Larocca et al., 2004; Aparicio et al., 2005; Achinelli et al., 2003) especialmente en aquellos sitios en donde el suministro de nutrientes es deficitario en relación a la demanda nutricional las especies en su fase inicial de cultivo. Tal práctica, junto con un adecuado **control de malezas** podría contribuir a un rápido establecimiento de las cortinas en el terreno mediante un crecimiento inicial más vigoroso. Referiremos al lector al capítulo 3 del libro cátedra “Plantaciones forestales en Argentina” donde se describen las alternativas para el control de malezas y para la fertilización de plantaciones.

Aprovechamiento industrial de cortinas

En algunas regiones de Argentina las cortinas rompevientos representan una alta proporción del recurso forestal aprovechable para las industrias locales, como por ejemplo los oasis

de riego en zonas áridas y semiáridas, o en amplias zonas de la región pampeana. Dependiendo de las especies utilizadas y de la aptitud tecnológica de sus maderas, las cortinas son aprovechadas de forma regular para proporcionar materia prima para debobinado, aserrío (para la obtención de diversos productos finales), carpintería rural, postes, energía y en algunos casos madera para triturado destinada a la fabricación de tableros o pasta celulósica.

Por los bajos volúmenes relativos en comparación con plantaciones en macizo y las particularidades del entorno en que están emplazadas, el aprovechamiento de las cortinas se realiza por medios simples y de forma semi-mecanizada, con apeo, corta y trozado mediante motosierra; la extracción de los rollos se efectúa de forma manual, empleando animales de tiro (caballos, bueyes) o con auxilio de carros o acoplados traccionados por tractores agrícolas. Posteriormente, el flete de la madera en rollo a aserraderos, impregnadoras, fábricas de tableros u otras industrias se realiza principalmente por camión.

Las cortinas y los mecanismos de fomento a las plantaciones forestales

El sistema de plantación en cortina se encuentra contemplado dentro de las medidas de fomento a la actividad forestal vigentes. En relación al tema de fomento forestal en Argentina en general, recomendamos al lector remitirse al capítulo 10 del libro cátedra “Plantaciones forestales en Argentina” elaborado por Stevani (2020).

Actualmente y de acuerdo a la última resolución de costos en el marco de la ley nacional 25.080 y sus prórrogas, vigente al momento de redactar el presente capítulo, la plantación de cortinas forestales está promocionada dentro de AENRs (aportes económicos no reintegrables). Se considerará el costo de la densidad mínima de plantación por zona y especie, excepto en el caso de las zonas bajo riego (que se tomará la densidad máxima); y a los efectos de calcular la superficie se tendrá en cuenta la cantidad de plantas de las densidades citadas como equivalentes a una hectárea (1 ha).

A nivel provincial existen distintos mecanismos de promoción que incluyen a las cortinas forestales. Como ejemplo se describe brevemente el caso de la provincia de Buenos Aires que, a través del Plan de Incentivos a la Actividad Forestal, entrega en forma gratuita material de propagación forestal para realizar forestaciones en predios rurales, incluyendo a las cortinas. Lo propio sucede con la exención del impuesto inmobiliario, que incluye dentro del beneficio a estos sistemas de plantación.

Estudios de caso en cortinas forestales en Argentina

Cortinas en los oasis de riego de Norpatagonia

La zona de riego del Comahue, en la Norpatagonia, comprende los oasis de riego de Alto Valle del río Negro y del río Neuquén. La introducción del álamo en sistemas de plantación en cortinas junto a las acequias de riego tiene su origen en la necesidad de atenuar las severas condiciones climáticas de sequedad y viento predominantes en esta región. En el período com-

prendido entre septiembre y diciembre se registra la mayor frecuencia de vientos con velocidades superiores a 20 km/h, con ráfagas que alcanzan los 80 km/h (Rodríguez et al., 2014) y constituye la principal adversidad para el desarrollo de producciones agrícolas en general y la fruticultura en particular, ya que provoca desecación y daños mecánicos que afectan el desarrollo del cultivo y la calidad de lo producido.

Entre los efectos positivos de las cortinas sobre los montes frutales de pepita y carozo, Merlo citado por Serventi (2011) y Tassara et al. (2008) señalan los siguientes:

- Atenúan el rameado y asoleado de la fruta.
- Ejercen un efecto protector durante las heladas primaverales, al modificar el microclima diurno y nocturno y, en consecuencia, disminuir su intensidad.
- Moderan las situaciones de estrés fisiológico de las plantas por acción del viento, propiciando condiciones de microclima favorables al desarrollo de los frutales y su sanidad.
- Regulan la temperatura dentro del monte frutal, atenuando la incidencia de dos plagas importantes en la fruticultura regional como *Grapholita molesta* “Carpocapsa” y *Tetranychus sp.* “Arañuela”, cuyo potencial biótico aumenta en ausencia de cortinas.

En relación a la acción mecánica del viento en la calidad de la fruta, Rodríguez et al. (2014) estudiaron el efecto protector de cortinas de álamo sobre el rameado de frutos de pera variedad Williams (*Pyrus communis* L. cv. Bartlett) hallando que con vientos fuertes una cortina forestal adecuada disminuye hasta un 20% la proporción de frutos dañados y otorga una protección significativa hasta aproximadamente 5H de distancia. Otras producciones que se benefician del efecto protector de las cortinas incluyen pasturas, cultivos anuales y animales de cría, como también infraestructura de invernáculos, galpones y viviendas.

El cultivo de álamos en los valles de los ríos Negro y Neuquén data de fines del siglo XIX. Los primeros álamos introducidos a la región por misioneros y colonos fueron los álamos negros *Populus nigra* cv. *italica* (álamo criollo) y *P. nigra* cv. *thayssiana* (álamo chileno) (García, 2002; Serventi, 2011). Ambos son de porte fastigiado, con ramas cortas y adpresas al fuste, muy adecuados para su utilización en cortinas a lo largo de acequias y canales de la red de riego, razón por la cual aún persisten en cultivo. Diversos clones fueron probados y cultivados a lo largo de los años, como el álamo Bolleana (*P. alba* cv. *pyramidalis* ‘Bolleana’) de mayor adaptación a suelos más pesados y salinos, diversos clones de *P. x euroamericana* introducidos desde Italia (I-214, I-455, I-488, I-205, I-262, I-154) de los cuales el I-214 y el I-455 son los más difundidos en la región (SSDFI-Minagro, 2017) y más recientemente selecciones de *Populus nigra* introducidas como cv ‘Jean Pourtet’ que es el clon de uso preponderante, cv. ‘Sehuil’, cv. ‘Narduze’ y cv. ‘Vert de Garonne’ y otras seleccionadas localmente como ‘Conti 12’ y cv. ‘Guardi’.

La técnica de plantación predominante es el hincado de estacas (García, 2011) de 25 a 30 cm cuando se plantan junto a las acequias; también se emplean barbados R1/T1. La distancia de plantación depende del clon, variando de 1,2 a 2 m entre plantas en cortinas de una sola hilera. Cuando se utilizan álamos de porte fastigiado (*P. nigra* cv *italica*, cv *thayssiana* o *P. alba* ‘Bolleana’) se plantan en doble hilera, con distanciamientos de 1,2 a 1,5 m entre plantas y 2,5 a 3 m entre hileras (Tassara et al., 2008).

Figura 31. Cortinas de álamo híbrido (*P. x euroamericana*)

Protegiendo producciones de Pera (izq.) y Vid (der.). Alto Valle del río Negro. Fuente: Ing. Esteban Thomas, EEA Alto Valle.

La madera del álamo de cortinas se destina tradicionalmente a la fabricación de envases y embalajes frutihortícolas, pero al ser la única madera localmente disponible en estas regiones, ha ocupado un rol creciente en la construcción y en carpintería para la confección de diferentes productos como bastidores para puertas placas, placares, muebles de baño y cocina, taparrollos, alfajías, molduras, anaqueles y machimbre para distintos usos interiores, entre otros. Según el último inventario forestal regional (SSDFI-MinAgro, 2017) las cortinas en los valles irrigados de la Patagonia totalizan 11.323 km, con un volumen promedio de $0,513 \pm 0,042 \text{ m}^3$ por metro lineal de cortina y una producción potencial de 262 trozas de álamo de 8 pies (2,44 m) de largo por cada 100 metros lineales de cortina. Según este estudio, ordenadas de forma decreciente, las regiones con mayores existencias de cortinas son: el Valle Superior del río Negro (3.402 km de cortinas), el Valle del río Neuquén (1.550km), Valle Medio del río Negro (1.536km), Valle Inferior del río Negro (1.077 km). Sobre este recurso de cortinas y el de plantaciones en macizo operan en el Valle del río Negro unos 65 aserraderos, en su mayoría micro y pequeñas empresas (Censo Nacional de Aserraderos, SSDFI-MinAgro, 2018).

Cortinas para protección de cultivos en Patagonia Sur

En la provincia de Santa Cruz el viento es un factor climático que es limitante para las producciones agrícolas y las posibilidades de realizarlas al aire libre quedan restringidas a los valles fluviales y a pequeñas chacras en los cascos de estancias. Desde principios del siglo XX se plantaron cortinas cortaviento con especies de Salicáceas, donde los clones *Populus nigra* cv *italica*, *Populus deltoides* y *Salix fragilis* fueron los más utilizados con el propósito de proteger los cultivos agrícolas, el ganado y las estancias de los fuertes vientos (Peri et al., 1998a; Peri, 1998b) generando un microclima favorable para estas producciones.

El cultivo más importante es el de cereza y se desarrolla en los valles de Los Antiguos, en el noroeste provincial. Evaluaciones realizadas por Monelos y Peri (1998) del efecto de la presencia de la cortina y su porosidad en la producción y calidad comercial de las cerezas mostraron los beneficios de estas forestaciones. La producción total de cerezas disminuyó al aumentar la distancia a la cortina, registrándose un máximo de producción (30 kg/planta) a una distancia de 1,5 a 2 veces la altura total de la cortina (HT). En comparación, en las cortinas densas (hilera simple, 0,5 m entre plantas, porosidad óptica de menor al 15%) se observó el máximo de producción a 2 veces HT (31,5 kg/planta) mientras que las semipermeables (hilera simple, 1,3m entre plantas, porosidad 15-45%) tuvieron una producción máxima algo menor (27,2 kg/planta) a una distancia de 1,7 veces la HT. Esta diferencia podría deberse por un lado a la menor polinización por las abejas en la zona alejada de la cortina ya que los vuelos disminuyen mucho con vientos de más de 25 km/h y por otro, a daños y caídas por viento producidas en flores y frutos (Thompson, 1996; Duncan, 1950 cit. por Monelos y Peri, 1998).

Figura 32. Cortinas de *Populus nigra* cv. *italica* (álamo criollo) protegiendo un monte de cerezos en Los Antiguos, Santa Cruz.



Fuente: Ing. Pablo Peri, EEA Santa Cruz INTA.

En términos de calidad, los mejores calibres de fruta coincidieron con las máximas producciones a distancias entre 1,5 y 2 veces la HT. La fruta marcada por acción del viento (rameado) y que desmerece su calidad, fue de 3 % a 0,4 veces HT mientras que al alejarse de la cortina 4 veces HT fue del 33%, resultados que reafirman la importancia que tiene en la producción cuantitativa de fruta el diseño de los cuadros productivos de cerezas y el emplazamiento de cortinas internas.

Situación similar representa el cultivo de frutilla en Gdor. Gregores, donde las cortinas rompevientos brindan un servicio de protección a esta producción que tradicionalmente se realizaba bajo cubierta. A partir de mediados de la década de 1990, con la incorporación de nuevas variedades y ajuste de técnicas, fue posible expandir el cultivo a otras zonas de la provincia y producir también al aire libre. Debido a su clima frío, en Santa Cruz la cosecha podría realizarse en pleno verano, produciéndose una parcial contra estación con el resto del país (Cittadini et al., 1997) y la producción se destinaría también a abastecer mercados extra provinciales. Estudios realizados por Peri y colaboradores (1998a; Peri y Bloomberg, 2002) hallaron una correlación entre la producción del cultivo y la protección brindada por la cortina densa joven (hilera simple, 0,3 m entre plantas, 3m HT), observándose una disminución de los kg/ha al alejarse de la misma. La mayor producción promedio por planta (14,8 gr/planta) y el mayor rendimiento total (3.512 kg/ha) se registró a una distancia de 1,3 veces la HT. Más del 80% del fruto de los menores calibres fue obtenido a distancias de más de 4 HT para la cortina semipermeable y a 3 HT en la densa. A una distancia de 8,8 veces HT la producción fue nula y se observaron los mayores índices de mortalidad de plantas.

La polinización juega un papel fundamental en la fructificación de las plantas de frutilla y normalmente se produce a través de insectos (abejas, himenópteros silvestres o moscas de la familia de los Sírifos) o por el viento, facilitado por el pequeño tamaño del polen (16 x 25 micrones) (Folquer, 1986). En consecuencia, las cosechas más abundantes y con frutas de mejor tamaño se obtienen cuando existe un adecuado número de insectos polinizantes en el cultivo (Sangiaco, 1980), y no se ve dificultada o impedida su actividad por acción de fuertes vientos.

En contraste, en producciones de ajo bajo riego y con fertilización realizadas también en Gdor. Gregores, el efecto protector de una cortina adulta densa (doble hilera a 1m entre plantas y 1m entre hileras, 22 m de altura, 15% de porosidad) afectó significativamente la producción hasta las 8,8 veces HT. Solo se registró una menor productividad en cercanías de la cortina (0,6 H), atribuible al sombreado y la competencia ejercida por la cortina, y el lavado de nutrientes por acción del riego en surcos (Peri et al., 1998b; Peri y Bloomberg, 2002). Este resultado muestra la rusticidad natural del ajo al crecer en ambientes ventosos, a lo que se suma que el producto a comercializar crece bajo tierra y no es afectado por daños mecánicos que pueda ocasionar el viento. No obstante, como es una producción que se da en rotación con otros cultivos que son sensibles, la presencia de cortinas es clave para mejorar la producción general y para proteger el suelo de la erosión.

En la producción de tulipanes para bulbos en Gdor. Gregores y bajo protección de una cortina inerte de malla sintética, Peri y colab. (2000) registraron similar comportamiento a lo acontecido con el cultivo de ajo.

Cortinas cortavientos y sanitarias en cítricos en el litoral

En la producción cítrica mundial el daño causado por el viento y denominado 'rameado' (ingl. *rind beamish*) ha sido reconocido como la principal causa de daño abiótico en la piel del fruto (Green, 1968; Davies y Albrigo, 1994 cit. por Gravina et al., 2011), ya que afecta negati-

vamente la calidad ocasionando descartes del 20 al 50% de la producción en las plantas de empaque de fruta para consumo en fresco (Zubrzycki, 2019; Canteros y Gauna, 1995).

Históricamente, en la producción cítrica en el Noreste Argentino (N de Buenos Aires, Entre Ríos y Corrientes) la difusión del uso de cortinas rompevientos como medida de protección para mitigar efectos desfavorables provocados por el viento ha tenido limitada difusión. Entre los efectos adversos del viento en los cítricos se destacan los daños a hojas, a las flores y los frutos y que resultan en una reducción de las tasas de crecimiento y producción de las plantas, a lo que se le suma una pérdida de calidad de la fruta que la excluye de potenciales mercados de exportación.

Desde mediados de la década de 2000 y a partir del 'Programa de Certificación de Fruta Fresca Cítrica de la Región del Noreste Argentino (NEA) para exportación a la Unión Europea' implementado por el Ministerio de Agricultura de la Nación (Res. 56/2008 SAGPyA), las cortinas forestales se adoptaron de forma generalizada como una práctica recomendada para el control fitosanitario de la cancrrosis asiática de los cítricos. Esta enfermedad, cuyo agente causal es la bacteria *Xanthomonas axonopodis* pv. *Citri*, provoca lesiones en hojas, brotes y frutos, afecta la calidad externa de estos últimos y en ataques severos provoca defoliación y caída de fruta (Zubrzycki, 2019), con la consecuente merma cuali-cuantitativa de rendimiento. Las temperaturas elevadas (mayores a 20°C) combinadas con lluvias y vientos fuertes (mayores a 29 km/h) representan un elevado riesgo en la dispersión de la enfermedad en los meses más calurosos. Las cortinas rompevientos son una herramienta importante para disminuir la dispersión de la enfermedad (Valsangiacomo y Gouin, 1980; Canteros, 1995; Gottwald y Timmer, 1995; Koizumi, 1996), junto con las prácticas de pulverizaciones con cobre y la aplicación de antibióticos.

Las cortinas utilizadas son de especies de hoja perenne para brindar protección durante todo el año; otras características deseables en las especies utilizadas para este fin son comunes a las cortinas en general: rápido crecimiento, buen anclaje, troncos y ramas flexibles para soportar fuertes vientos sin romperse, buen volumen de follaje y poco competitivas con los cítricos. Entre las especies más empleadas están la casuarina (*Casuarina cunninghamiana*), los pinos (*Pinus taeda* y *P. elliotii*) y los eucaliptos rosados y blancos (*E. grandis*, *E. saligna* e híbridos, *E. dunnii*). De las tres, casuarina es la especie de mejores características por el volumen de follaje, la persistencia de las ramas basales a lo largo de todo el tronco y porque no manifiesta fuerte competencia con los cítricos. Le siguen los pinos, con *Pinus taeda* como preferida por sus ramas abundantes y extendidas que generan mayor volumen de copa que en *P. elliotii*. Los eucaliptos tienen la ventaja de su rápido crecimiento brindando protección rápidamente, sin embargo, con la edad, ocurre un desrame natural de la parte inferior de las plantas que merma sus cualidades como cortina, además de ser especies que compiten fuertemente con los cultivos por la humedad edáfica.

Figura 33. Cortinas protegiendo cítricos.



(Izq.) Cortina interna de *Casuarina spp.* de doble hilera plantada a tresbolillo a 4 m entre hileras y 3 m entre plantas. (Der.) Cortina interna de *Pino elliotti* también de doble hilera, plantada a 2 m entre plantas y 4 m entre hileras. Fuente: Curso de introducción a la Dasonomía FCAYF – UNLP

En virtud a las citadas características, los eucaliptos se utilizan en las cortinas perimetrales de los predios, asociándolos con casuarinas o pinos en cortinas de 2 o 3 hileras; el eucalipto como especie de mayor altura se ubica del lado del cultivo y la/s otra especie (casuarina o pino) ocupa el lado externo enfrentando el viento. La plantación es a tresbolillo, con un distanciamiento de 4 – 5m entre filas y de 2 - 3m entre plantas dentro de la fila dependiendo de las especies seleccionadas (Zubrzycki, 2019). En el interior y separando los lotes, se instalan las cortinas internas para las que se utiliza casuarina o pino por su menor competencia con los cítricos, dispuestas en doble hilera y con un espaciamento de 2 – 3 m entre plantas. La división de las plantaciones en lotes cuyo tamaño no debería exceder las 4 has es un requisito para el control de la cancrrosis de los cítricos.

Referencias

- Achinelli F.; Baridón E.; Prada E.; Francisco M.; Aparicio A.; Marlats R. (2003). Fertilización de arranque en plantaciones de álamos (*Populus spp.*) de la pampa húmeda Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur N° 20 pp. 1-10.
- Amico I. (2002). Viverización y cultivo de álamos y sauces. EEA Esquel. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 48 pp.
- Aparicio J.L.; Larocca F., Dalla Tea F. (2005). Silvicultura de establecimiento de *Eucalyptus grandis*. IDIA XXI N° 8. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp. 66-69.

- Arias R.A.; Mader T.L.; Escobara P.C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Archivos de Medicina Veterinaria N°40. Pp. 7-22. Universidad Austral de Chile.
- Bates C.G (1945). Shelterbelt Influences: II. The Value of Shelterbelts in House-Heating. Journal of Forestry 43(3). pp. 176–196.
- Bentrup G.; Francis C.A. (2001). Ecobelts: Reconnecting agriculture and communities. En Interction between agroecosystems and rural communities. Cornelia Flora Ed. CRC Press. pp. 239 – 259.
- Bentrup G.; Hopwood J.; Lee Adamson N.; Vaughan M. (2019). Temperate Agroforestry Systems and Insect Pollinators: A Review. Forests 2019, 10, 981. 20 pp.
- Borodowski E.D. (2017). Situación actual del cultivo y uso de las Salicáceas en Argentina. Actas V Congreso Internacional de Salicáceas. Talca, Chile. 20 pp.
- Brandle J.R.; Hodges L.; Zhou X.H. (2004). Windbreaks in North American Agricultural Systems. Agroforestry Systems N° 61. pp. 65-78.
- Burgos J.J. (1963). Las heladas en la Argentina. Colección Científica INTA. 388 pp.
- Calderon A.D. (2006). Silvicultura y situación de los álamos en Cuyo. Disertación Jornadas de Salicáceas 2006. Buenos Aires. 9 pp.
- Canteros B.I.; Gauna P. (1995). Causas de descarte en plantas de empaque de citrus. Citrus 26:28. Min. Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay.
- Caretta A.; Ortega A.; Ortiz A. (2004). Probabilidades de daño por viento zonda en la floración de frutales, vid y olivos en Mendoza, Argentina. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXVI. N° 2. Año 2004. 49-58.
- Carreck N.L.; Williams I.H.; Little D.J. (1997). The movement of honey bee colonies for crop pollination and honey production by beekeepers in Great Britain. Bee World 78(2):67–77.
- Cecen S.; Gurel F.; Karaca A. (2008). Impact of honey bee and bumblebee pollination on alfalfa seed yield. Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science 58:77–81.
- Cittadini E., Espina H., Leyenda R., Meana J., Peri P., Romano G. (1997). Frutilla: Ensayo comparativo de variedades. Informe técnico. EEA Santa Cruz. 9 pp.
- Cleugh H.A.; Miller J.M.; Böhm M. (1998). Direct mechanical effects of wind on crops. Agroforestry Systems 41, 85–112.
- Davel M.M. y colab. (2020). Cortinas Forestales de Álamos y Sauces en el Valle Superior del Río Chubut. Manual N° 12. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. 86 pp.
- Davies F.S.; Albrigo L.G. (1994). Citrus. C.A.B. International. Florida. USA. 254p.
- De Fina A.L.; Ravelo A.C. (1985). Climatología y fenología agrícolas. Ed. EUDEBA. Buenos Aires. 351 pp.
- Duncan D.P. (1950). Tree Windbreaks for the Orchard. En Van Eimern J. Windbreaks and Shelterbelts. World Meteorological Organization, Génova, Italia.
- Ferber A.E. (1974). Windbreaks for conservation. Agriculture Bulletin No. 339. USDA Soil Conservation Service. 30 pp.

- Folquer F. (1986). La frutilla o fresa. Estudio de la planta y su producción comercial. Ed. Hemisferio Sur. 150 pp.
- García J.D. (2002). Forestación con Salicáceas en áreas bajo riego en Patagonia. Núcleo forestal Patagonia norte. Proyecto Forestal de Desarrollo en el marco del convenio SAGPyA – BIRF. 36 pp.
- García J.D. (2013). El rol de las cortinas cortavientos en Patagonia: la experiencia de los Valles Irrigados de Norpatagonia. Actas 2º Congreso Internacional Agroforestal Patagónico. Calafate, Santa Cruz. Argentina.
- García J.D.; Serventi N. (2006). Situación actual y perspectivas del cultivo de Salicáceas bajo riego en Patagonia. Actas Jornadas de Salicáceas 2006. Buenos Aires. 4 pp.
- Gardiner B.; Berryd P., Moulia B. (2016). Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. Plant Science N° 245. pp. 94 – 118.
- Goor A.; Barney C. W. (1976). Forest tree planting in arid zones. Second Edition. Roland Press Company. pp. 301-314.
- Gottwald T.R; Timmer L.W. (1995). The efficacy of windbreaks in reducing the spread of citrus canker caused by *Xanthomonas campestris* pv *citri*. Trop. Agric. (Trinidad). Vol. 72, N° 3 pp. 194-201
- Gravina A. y colab. (2011). El rameado en frutos cítricos. Estudio de sus causas y desarrollo de tecnologías de control. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. 24 pp.
- Green G.C. (1968). Windbreaks for citrus orchards. Farming in South Africa. Vol. 44, N° 6: 9-15. Citrus and Subtropical Fruit Research Institute. Sudáfrica.
- Gregory N.G. (1995). The role of shelterbelts in protecting livestock: A review. New Zealand Journal of Agricultural Research, 38:4. pp. 423-450.
- Guan D.; Zhang Y.; Zhu T. (2003). A wind-tunnel study of windbreak drag. Agricultural and forest meteorology 118:1-2. pp. 75–84.
- Heisler G.M.; Herrington L.P. (1976). Selection of trees for modifying metropolitan climate. En Better trees for metropolitan landscapes Symposium proceedings. USDA Forest Service Technical Report NE 22. pp. 31 – 37.
- Helmets G.A.; Brandle J.R. (2002). Optimum Windbreak Spacing In Great Plains Agriculture. Western Journal of Agricultural Economics. December 2002. 13 pp.
- Koizumi M. (1996). Dispersión of citrus canker bacteria in droplets and prevention with windbreaks. Proc. Int. Soc.Citriculture Vol.1:340-344.
- Kort J. (1988). Benefits of windbreaks to field and forage crops. Agric. Ecosyst. Environ. 22/23 pp. 165–190.
- Lampartova I.; Shneider J.; Vyskot I.; Rajnoch M.; Litschmann T. (2015). Impact of protective shelterbelts on microclimate characteristics. Ekológia Bratislava Vol 34. N° 2 pp, 101 – 110.
- Larocca F.; Dalla Tea F.; Aparicio J. (2004). Técnicas de implantación y manejo de *Eucalyptus grandis* para pequeños y medianos forestadores en Entre Ríos y Corriente. Actas XIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. 16 pp.

- Liu Y.; Harris D.J. (2008). Effects of shelterbelt trees on reducing heating-energy consumption of office buildings in Scotland. *Applied Energy* (2-3):115-127.
- Loeffler A.E.; Gordon A.M.; Gillespie T J. (1992). Optical porosity and windspeed reduction by coniferous windbreaks in southern Ontario. *Agroforestry Systems*, 17:2. pp. 119–133.
- Mader T.L.; Dahlquist J.M.; Gaughan J.B. (1997). Wind protection effects and airflow patterns in outside feedlots. *Journal of Animal Science* 75. pp. 26-36.
- Mader T.L.; Dahlquist J.M.; Hahn G.L.; Gaughan J.B. (1999). Shade and wind barrier effects on summer-time feedlot cattle performance. *Journal of Animal Science* 77: pp. 2065-2072.
- Mc Gregor S.E. (1976). Insect Pollination of cultivated crop plants. Agriculture Handbook No. 496. Agriculture Research Service. USDA. 411 pp.
- Mize C.; Brandle J.R.; Shoeneberger M.; Bentrup G. (2008). Ecological Development and Function of Shelterbelts in Temperate North America. National Agroforestry Center. USDA Forest Service – University of Nebraska. 28 pp.
- Monelos L., Peri P. (1998b). Efectos de las cortinas forestales en la producción de cerezas (*Prunus avium* var. Fern) en Los Antiguos, Santa Cruz. Actas 1º Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile. 11 pp.
- Morris C.; Klopfenstein T.J.; Brandle J.R.; Stock R.; Shain D.; Klemesrud M. (1996). Winter calf grazing and field windbreaks. Nebraska Beef Cattle Reports. Paper 484. University of Nebraska. 4 pp.
- NRCS (2006). Conservation Practices that Save: Windbreaks/Shelterbelts. USDA Technical leaflet. 2 pp.
- Oberschelp J.G.; Harrand L.; Mastrandrea C.; Salto C.; Florez M. (2020). Cortinas forestales: rompevientos y amortiguadoras de deriva de agroquímicos. EEA Concordia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Buenos Aires. 13 pp.
- Ong C.K.; Huxley P. (1996). Tree–crop interactions - A physiological approach. CABI., Wallingford, UK. 416 pp.
- Peri P. (1997). Efectos de parámetros estructurales de cortinas forestales en la reducción del viento en la provincia de Santa Cruz, Argentina. *Quebracho* 6: 16 – 26.
- Peri P. (2003). Cortinas forestales cortavientos. Boletín sobre Producción forestal. Carpeta de Información Técnica EEA Esquel. INTA. 4pp.
- Peri P.; Bloomberg M. (2002). Windbreaks in south Patagonia, Argentina: A review on growth models, windspeed reduction and effects on crops. *Agroforestry systems* N° 56. pp. 129-144.
- Peri P.; Cittadini E.; Espina H.; Romano G. (1998a). Incidencia del efecto protector de cortinas forestales en la producción de frutilla variedad Fern en Santa Cruz, Argentina. Actas 1º Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile. 11 pp.
- Peri P.; Cittadini E.; Romano G. (1998b). Efecto de cortinas cortavientos sobre la producción de ajo violeta en la provincia de Santa Cruz, Argentina. 1º Congreso Nacional de profesionales de Cambio Rural. INTA-SAGPyA. 6 pp.

- Peri P.; Cittadini E.; Romano G.; Fernandez Clark M.E. (2000). Efecto de cortinas cortaviento sobre la producción y calidad de bulbos de tulipanes en Patagonia Sur. 23° Congreso Argentino y X Congreso Latinoamericano de Horticultura. Mendoza. 5 pp.
- Quam V.; Johnson L.; Wight B.; Brandle J.R. (1994). Windbreaks for Livestock Operations. Papers in Natural Resources 123. University of Nebraska – Lincoln. University of Nebraska. 6 pp.
- Read R.A. (1964). Tree windbreaks for the great central plains. Agricultural Handbook N° 250. USDA Forest Service. 69 pp.
- Requena A. (2006). ¿Hasta donde llegan las raíces de los álamos usados en cortinas de protección? Fruticultura y Diversificación N° 48. EEA Alto Valle. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp. 6-7.
- Rodríguez, A.; Thomas, E.; Cancio, H.; Menni, F. (2014). Evaluación de tecnologías alternativas de manejo para disminuir los daños causados por el viento en frutos de pera cv. Williams, en el alto valle de río negro, argentina. Revista RIA Vol 4. N°2. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp. 208-212.
- SAGPyA (1999). Argentina. Oportunidades de inversión en bosques cultivados. Proyecto Forestal de Desarrollo. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. 209 pp.
- Salimbeni J.L. (1980). Cortinas rompevientos en el Valle Bonaerense del río Colorado. Serie Técnica N° 53. CORFO Río Colorado. Min. de Economía de la Provincia de Buenos Aires. 46 pp. y anexos.
- Sangiacomo M.A. (1980). La Frutilla. INTA Estación Experimental Regional Agropecuaria San Carlos de Bariloche. 62 pp.
- Serventi N. (2011). Las cortinas forestales en los valles irrigados de la Norpatagonia. Actas 3° Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Ciudad de Neuquén. 23 pp.
- Shoukat F.; Mujahid M. (2020). Effects of wind speed on foraging behavior of insect pollinators. Department of Entomology, MNS- University of Agriculture, Multan, Punjab, Pakistan. En Weekly Techonology Times (www.technologytimes.pk/2020/04/14/insect-pollinators-windspeed-foraging-behavior/ consultado 20/04/2020).
- Simpson C.G. (1906). The Beaufort Scale of Wind-Force. Report of the Director of the Meteorological Office. London Meteorological Office.
- Smith H. (2016). Wind chill. Providing windbreaks for cattle reduces stress in the herd. Hereford World Magazine - October 2016. American Hereford Association. pp. 68 – 70.
- SSDFI-Minagro (2017). Inventario de Cortinas y Macizos bajo riego en Patagonia. Subsecretaría de Desarrollo Forestoindustrial. Ministerio de Agroindustria de la Nación. 85 pp.
- SSDFI-Minagro (2018). Informe nacional del relevamiento censal de aserraderos 2015. Subsecretaría de Desarrollo Forestoindustrial. Ministerio de Agroindustria de la Nación. 94 pp.
- Stevani R.A. (2020). Promoción a la actividad forestal. En Plantaciones forestales en Argentina: Fundamentos técnicos y metodologías para la realización de forestaciones en diferentes regiones. Coord. Sebastial Galarco; Diego Ramilo. Colección libros cátedra EDULP. pp. 352-372. (<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/101543>).

- Stoeckeler J.H. (1962). Shelterbelt Influence on Great Plains Field Environment and Crops. USDA Forest Service, Production Research Project No. 62. 26 pp.
- Stredova H.; Podhrazska J.; Litschmann T.; Streda T.; Roznovsky J. (2012). Aerodynamic parameters of windbreak based on its optical porosity. *Contributions to Geophysics and Geodesy* Vol. 42/3. pp. 213–226.
- Sudmeyer R.A.; Scott P.R. (2002). Characterisation of a windbreak system on the south coast of western Australia. Microclimate and wind erosion. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42:6. pp. 703–715.
- Tassara M.; Thomas E.; Rodriguez A. (2008). Barreras rompevientos: su importancia en los valles de Norpatagonia y las variedades de álamos más utilizadas como cortina natural. *Fruticultura y Diversificación* N° 57. EEA Alto Valle. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp. 32-37.
- Thomas E. (2014). Barreras rompevientos con álamos y sauces. Comunicación técnica EEA Alto Valle. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 5 pp.
- Thompson M. (1996). *Cherries: Crop Physiology, Production and Uses*. Ch.8: Flowering, Pollination and Fruit Set. CAB International. pp. 223-241.
- Tolone G. (1986). Cartilla de divulgación sobre cortinas forestales rompevientos para productores del valle de Santa María, Provincia de Catamarca. Consejo Federal de Inversiones. 15 pp.
- Valsangiácomo F.J.; Gouin L.H. (1980). Control integrado de la cancrrosis tipo A de los Cítrus. Importancia de las cortinas rompevientos. II Congreso Nacional de Citricultura. Concordia, Entre Ríos. Tomo 2. pp. 58-61.
- Van Eimern J.; Karshon R.; Razumova L.A.; Robertson G.W. (1964). Windbreaks and Shelterbelts. World Meteorological Organization. Technical Note N° 59.
- Vigiak O.; Sterk G.; Warren A.; Lawrence J.; Hagen L.J. (2003). Spatial modeling of wind speed around windbreaks. *CATENA* N° 52. pp. 273-288.
- Wan M.; Pan C.; Wang M.; Jin Y. (2005). Application of the digitized measurement on windbreak porosity of farmland shelter–forests. *Arid Land Geography* N° 28 Vol. 1, pp. 120–123.
- Wight B.; Straight R. (2015). Windbreaks. En *Training Manual for Applied Agroforestry Practices 2015 Edition*. Center for Agroforestry, University of Missouri. USA. pp. 92-113.
- Zhu J.J. (2008). Wind Shelterbelts. En Sven Erik Jørgensen and Brian D. Fath, *Ecosystems*. Vol.5 of *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier. Oxford. pp. 3803-3812.
- Zubrzycki H.M. (2019). Cortinas rompeviento para el manejo de la cancrrosis de los cítricos. Serie Técnica N° 76. EEA Bella Vista. INTA. 31 pp.