

EFFECTOS DE PARÁMETROS ESTRUCTURALES DE CORTINAS FORESTALES EN LA REDUCCIÓN DEL VIENTO EN LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA

Effects of structural parameters of forest windbreaks in wind speed reduction in the province of Santa Cruz, Argentina

Pablo Peri¹

Recibido en septiembre de 1996; aceptado en septiembre de 1997

RESUMEN

En Santa Cruz (Patagonia sur) se han implantado cortinas forestales cortaviento con especies de salicáceas para proteger de los fuertes vientos a los cultivos agrícolas, al ganado y a las estancias. El objetivo de este trabajo fue evaluar la reducción de la velocidad del viento en función del tipo de cortina y de la distancia a sotavento, en Santa Cruz, Argentina. Se seleccionaron cortinas cortaviento que representaron un amplio rango de porosidades, determinadas por diferentes distanciamientos y composiciones. La determinación de la porosidad fue estimada en forma óptica. Las velocidades del viento fueron medidas simultáneamente a 1,50 m de altura, a diferentes distancias desde la cortina, expresadas como múltiplos de la altura total de los árboles, y en un sitio abierto como testigo. Los resultados indican que la reducción relativa de la velocidad del viento está en función de la porosidad y la distancia desde la cortina. Comparando tres rangos de porosidad, se deduce que la mayor protección se encuentra en las cortinas densas. La porosidad y la altura que alcanzaron las cortinas cortaviento determinan la extensión del área de protección. En los rangos de medición de la velocidad del viento testigo (20 a 80 km/h), la reducción relativa de la velocidad del viento se mantuvo estable.

Palabras clave: Cortinas cortaviento, Patagonia.

ABSTRACT

Windbreaks composed of trees of the Salicaceae family have been established in the province of Santa Cruz (Southern Patagonia), Argentine, to protect agricultural crops, livestock and rural houses. The purpose of this study was to evaluate wind speed reduction in terms of windbreak type and leeward distance. Windbreaks were selected to obtain various porosities, determined by spacing and composition. The porosities were estimated with optical methods. Wind speeds were measured simultaneously 1.50 m above soil surface at various distances from the windbreak, expressed as multiples of windbreak height, using an open site as control. Porosity and distance from windbreak have major effects on relative windspeed reduction. When comparing three porosities, it is noted that dense windbreaks bring about the greatest protection. Porosity and windbreak height determine the extension of the shelter. Relative wind speed reduction was stable within the ranks of open wind speed.

Key words: Windbreaks, Patagonia.

¹ Estación Experimental Agrícola Santa Cruz, Convenio Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Consejo Agrario Provincial, CC 332, 9400 Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

El viento es un factor climático que puede, en muchos casos, llegar a ser limitante para determinadas producciones. Las cortinas cortaviento están conformadas por varios tipos de estructuras que reducen la velocidad del viento. En varios países, las cortinas cortaviento han sido instaladas principalmente para expandir o incrementar la producción agrícola (van Eimern et al., 1964; Cao, 1985; Zhao et al., 1995). En Santa Cruz se plantaron desde principio de siglo cortinas cortaviento con especies de salicáceas, donde los clones *Populus nigra* cv itálica, *Populus deltoides* ssp. *angulata* cv carolinensis y la especie *Salix fragilis* fueron los más utilizados con el propósito de proteger los cultivos agrícolas, el ganado y las estancias de los fuertes vientos. Las cortinas, además de su efecto protector, pueden aprovecharse como productoras de madera.

La reducción del viento en las áreas protegidas es usualmente expresada en forma relativa; es decir, que se relaciona las diferentes velocidades registradas en el área protegida con la velocidad a campo abierto. La reducción relativa de la velocidad del viento y la velocidad relativa del viento son variables que han sido utilizadas en varios trabajos sobre la reducción del viento en áreas protegidas (van Eimern et al., 1964; Raine y Stevenson, 1977; Cao, 1985).

Los principales factores que inciden en la reducción relativa de la velocidad del viento son la porosidad de la cortina y la distancia desde la cortina, generalmente expresada como múltiplos de la altura total de los árboles que conforman la cortina cortaviento (Plate, 1971; Seginer y Sagi, 1972; Hagen et al., 1981; Borrelli et al., 1989).

El efecto de la porosidad sobre la reducción relativa de la velocidad del viento está relacionado con la distancia. Generalmente, la reducción relativa de la velocidad del viento se ha asumido independiente de la velocidad del viento a campo abierto, en la mayoría de la literatura. Basándose en la regresión lineal entre la velocidad mínima relativa del viento y la velocidad del viento a campo abierto, porosidad y otros factores, Loeffler (1990) concluyó que el efecto de la velocidad del viento sin protección no fue significativo. Sin embargo, otros trabajos indican algunos efectos de la velocidad del viento a campo abierto sobre la reducción relativa de la velocidad del viento. Van Eimern et al. (1964) informaron que, en muchos casos, la magnitud de la reducción del viento en áreas protegidas decrece con los incrementos de la velocidad del viento a campo abierto, pero dichos cambios en la reducción relativa de la velocidad del viento eran generalmente menores al 5 %. Ellos concluyeron que, al incrementarse la velocidad del viento al descampado, cambia la porosidad de la cortina y, consecuentemente, cambia la reducción de la velocidad del viento.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la relación entre la velocidad del viento a campo abierto y la reducción de la velocidad del viento, para diferentes tipos de cortinas y distancias a sotavento en Santa Cruz.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Cortinas cortaviento

Se seleccionaron cortinas cortaviento que representaran un amplio rango de porosidades, determinadas por diferentes distanciamientos (entre hileras y entre plantas) y composiciones (especies). El muestreo de las cortinas cortaviento fue realizado en diferentes sitios de la Provincia de Santa Cruz: valle del Río Chico, Río Gallegos, Río Coyle, Río Bote y chacras de las localidades de El Calafate (50° 20' Lat. S; 72° 18' Lat. O; 200 m s.n.m.), Perito Moreno (46° 31' Lat. S; 71° 01' Lat. O; 429 m s.n.m.), Los Antiguos (46° 33' Lat. S; 71° 37' Lat. O; 210 m s.n.m.) y Gregores (48° 47' Lat. S; 70° 10' Lat. O; 358 m s.n.m.). Para estandarizar los resultados se midieron cortinas con la misma orientación y similar longitud. La orientación de las cortinas escogidas fue Norte-Sur, perpendicular a los vientos predominantes del Oeste, y la longitud de 100 m. La determinación de la porosidad se efectuó en el campo en forma visual y fue corroborada por medio de fotografías tomadas a una distancia de cinco veces la altura de la cortina (Ht) \pm 1m. Consistió en una clasificación de cortinas cortaviento basada en la porosidad óptica (relación entre la superficie correspondiente a espacios libres y la superficie total frontal).

Tabla 1. Cortinas evaluadas en diferentes sitios de la provincia de Santa Cruz

Tipo de cortina	Clasificación	Porosidad
Densa	D1, D2, D3, D4	menor de 15 %
Semipermeable	S1, S2, S3	de 15 a 45 %
Permeable o porosa	P1, P2, P3	mayor de 45 %

- D1: Cortina doble. Distanciamiento entre hileras de 1 m y 0,8 m entre plantas. Primera hilera de *Salix fragilis* Ht = 6 m y la segunda de *Populus nigra* cv itálica Ht = 17 m.
- D2: Cortina triple. Distanciamiento entre hileras de 1,2 m y 0,6 m entre plantas. Primera hilera de *Salix humboldtiana* Ht = 5,5 m y las dos restantes de *Populus nigra* cv itálica Ht = 19 m.
- D3: Cortina doble de *Salix fragilis* Ht = 7 m Distanciamiento de 1,5 m entre hileras y 1 m entre plantas.
- D4: Cortina doble. Distanciamiento entre hileras de 1,5 m y 1 m entre plantas. Primera hilera de *Salix fragilis* Ht = 6,5 m y la segunda de *Populus nigra* cv itálica Ht = 20 m, plantadas a tresbolillo.
- S1: Cortina doble de *Populus nigra* cv itálica Ht = 21 m. Distanciamiento 2 m entre hileras y 1,6 m entre plantas.
- S2: Cortina doble. Primera hilera de *Salix humboldtiana* Ht = 8 m, distanciadas a 3 m y la segunda hilera de *Populus nigra* cv itálica Ht = 16 m, distanciadas a 1,5 m. Distanciamiento 2,2 m entre hileras

S3: Cortina simple de *Populus nigra* cv itálica Ht= 18 m, distanciada a 1,2 m.

P1: Cortina simple de *Populus deltoides* ssp. *angulata* cv *carolinensis* Ht = 17,5 m, distanciadas a 2 m entre plantas.

P2: Cortina simple de *Populus nigra* cv itálica Ht = 19,5 m, distanciadas a 2,5 m entre plantas.

P3: Cortina simple de *Salix fragilis* Ht = 9 m, distanciada a 3 m entre plantas.

2.2 Medición del viento

Las velocidades del viento fueron medidas simultáneamente con anemómetros (marca Sims, modelo R-77C) a 1,50 m de altura, y colocados a distancias de 0.5, 1, 2, 4, 5, 7, 10, 15 y 18 Ht, y en un sitio sin protección como testigo (u_0). Las mediciones fueron efectuadas cuando el viento era perpendicular a la cortina, con una desviación de $\pm 10^\circ$. La desviación del viento cambia la porosidad efectiva de la cortina cortaviento y disminuye el efecto de la reducción del viento en el área protegida (Heisler y DeWalle, 1988). Dentro de un sector de 45° respecto al eje perpendicular, el efecto de la dirección del viento sobre la reducción del viento es considerada insignificante (Konstantinov y Struzer, 1969). Esta consideración es fundamental para diseñar la orientación de las cortinas principales o primarias.

El comportamiento de los diferentes tipos de cortinas fue evaluado en un rango de u_0 entre 20 y 80 km/h.

Se aplicó la fórmula de cálculo de reducción relativa de la velocidad del viento en la zona protegida $R_1 = (u_0 - u_s) / u_0$, con el fin de obtener los valores promedios de reducción y las fórmulas de velocidad del viento relativa $R = u_s / u_0$ para los tres tipos de porosidad. En las fórmulas anteriores, u_s es la velocidad del viento dentro del área de protección de la cortina. R_1 y R están relacionadas complementariamente ($R_1 = 1 - R$) y ambas variables han sido utilizadas en varios trabajos sobre la reducción del viento en áreas protegidas (van Eimern et al., 1964; Raine y Stevenson, 1977; Cao, 1985).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2, se presentan los valores promedio de reducción R_1 y en la figura 1 los resultados de velocidad relativa del viento R , para los tres tipos de porosidad.

Los resultados indican que la reducción relativa de la velocidad del viento y la longitud de la zona que protegen estuvieron en función de la porosidad y la distancia desde la cortina cortaviento. Comparando los tres rangos de porosidad, se deduce que la mayor intensidad de protección se encuentra en las cortinas tipo densas (reducción del 85 %) a una distancia de 1 Ht. La máxima protección en cortinas semipermeables se ubicó a 4 Ht con una reducción del 75 %. Para cortinas permeables no hubo una marcada diferencia de los valores de R_1 a distintas distancias. Sin embargo, la máxima reducción se ubicó a 2 Ht (reducción del 45 %).

Tabla 2. Porcentaje de la reducción relativa promedio de la velocidad del viento (R_1) para los diferentes tipos de cortinas

Tipo de cortina	Distancia (Ht)	R_1 (%)
Densa	0,5	60
	1	85
	2	70
	4	60
	5	55
	7	50
	10	30
Semipermeable	0,5	40
	1	50
	2	55
	4	75
	5	70
	7	60
	10	40
Permeable	0,5	35
	1	40
	2	45
	4	42
	5	40
	7	38
	10	35
	15	35
18	30	

Para una cortina densa, R_1 es mayor a una distancia inmediatamente detrás de la cortina y menor a medida que la distancia aumenta (Plate, 1971). Cuando la porosidad se incrementa, la ubicación del máximo R_1 se encuentra más alejada de la cortina (Cao, 1985).

Observaciones realizadas en Suiza (FAO, 1962) han demostrado que una cortina muy densa, colocada perpendicularmente a la dirección del viento dominante, reduce su velocidad en un 60 % al momento de penetrar en la masa boscosa, alcanzando luego un 15 % de la velocidad inicial a una distancia de una vez la altura de la cortina. Sin embargo, una vez transpuesto este mínimo, la velocidad aumenta rápidamente, recobrando el viento su velocidad inicial a una distancia de 24 veces la altura de la cortina. La permeabilidad de las barreras de resguardo al paso del aire constituye el principal factor que influye en la velocidad del viento al otro lado de ellas (van Eimern et al., 1964).

Las barreras de dos hileras presentaron un comportamiento diferencial de protección al viento, determinado principalmente por su porosidad. El grado de reducción del viento con barreras de espesores diferentes depende principalmente de su permeabilidad (van Eimern et al., 1964). Konstantinov (1950) y Popov (1960) dieron evidencia de que el efecto protector de las cortinas cortaviento de diferentes anchos, pero de similar permeabilidad, es el mismo.

La porosidad y la altura que alcanzan las cortinas cortaviento determinaron la extensión del área de protección. Para determinar la longitud de la zona protegida en la Provincia de Santa Cruz, se ha considerado que el efecto cortaviento desaparece cuando alcanza el 70 % del viento testigo a una altura de 1,5 m desde el suelo, ya que a estos niveles la mayoría de los cultivos decrecen considerablemente su producción. En el valle del Ebro, España, se determinó que el efecto de los cortaviento cesaba cuando, a una altura de la mitad de la altura del cortaviento, se llega a tener el 80 % del viento testigo (Guyot y Elejabeitia, 1970). Esta diferencia de criterios se debe principalmente a las condiciones de intensidad y frecuencia de los vientos predominantes, que son de mayor envergadura en los valles de Santa Cruz.

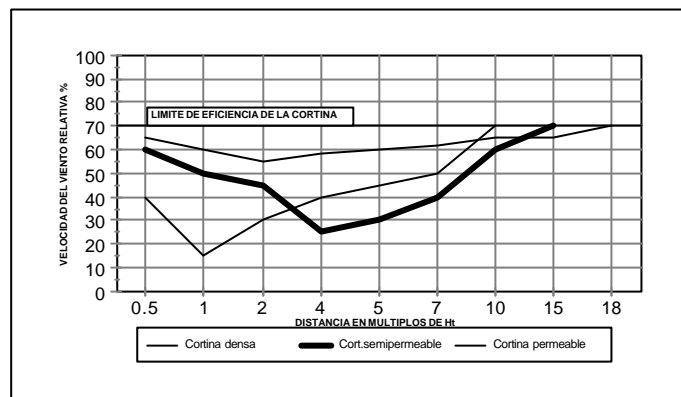


Figura 1. Valores medios de velocidad relativa del viento % para diferentes porosidades de cortinas cortaviento, referidos a distancias desde la cortina expresadas como múltiplos de la altura total de los árboles. El valor 100 corresponde a la velocidad horizontal del viento medido en la zona testigo (al descampado).

Las cortinas densas presentaron la menor longitud de área protegida, a una distancia de 10 Ht; las semipermeables mostraron una longitud de protección de hasta 15 Ht y las permeables, 18 Ht. Cuando una corriente de aire encuentra un cortaviento impermeable, se desvía hacia arriba; la masa de aire correspondiente se comprime contra las capas superiores, aumentando su velocidad y produciendo consecuentemente una zona de remolino que determina una extensión de protección relativamente pequeña (Guyot y Elejabeitia, 1970). Cortinas cortaviento con alta porosidad (permeables) tendieron a ofrecer una gran distancia de protección, pero generalmente una baja reducción relativa de la velocidad del viento (Carbon, 1957). La acción protectora de las cortinas cortaviento semipermeables alcanza hasta una distancia equivalente a 20 veces su altura; en cambio en las impermeables la longitud de la zona protegida es sólo de unas 11 veces (Guyot y Elejabeitia, 1970).

En el rango de u_0 (20 a 80 km/h) en que se efectuaron las mediciones, los cambios relativos de R_1 por unidad de cambios de u_0 , se mostraron estables con un valor máximo de 4 % a 5 y 10 Ht para las cortinas densas (tabla 3). Por lo tanto, en los rangos medidos, R_1 se considera independiente de los valores que asuma u_0 . La relación entre la reducción relativa de la velocidad del viento en las áreas protegidas (R_1) y la velocidad del viento a campo abierto (testigo, u_0) depende de la magnitud de u_0 : cuando u_0 es menor de 5 m/seg (18

km/h), R_1 es muy variable, pero generalmente disminuía al aumentar u_0 ; cuando u_0 es superior a 5 m/seg, R_1 permanece estable (Zhang et al., 1995).

Tabla 3. Cambios relativos de R_1 por unidad de cambios de u_0 (velocidad del viento a campo abierto) para diferentes porosidades y distancias desde las cortinas cortaviento

Tipo de cortina	Distancia (Ht)	Cambios de R_1 por unidad de cambios de u_0 (%)
Densa	0,5	3,21
	5	4,00
	10	4,00
Semipermeable	0,5	2,55
	5	2,51
	10	3,53
Permeable	0,5	1,50
	5	2,70
	10	3,82

Los resultados obtenidos de R_1 para diferentes porosidades aportan una valiosa información para la elección del tipo de cortina según el cultivo o grupos de cultivos con características similares. El empleo de cortavientos tipo densos, que efectúan una reducción del viento mucho mayor, podría utilizarse para proteger plantaciones de frutales con el fin de asegurar una eficiente polinización y evitar daños mecánicos en frutos y flores, pero los mismos deben situarse más próximos entre sí. Los cortavientos semipermeables serían aptos para la instalación de pasturas (alfalfa), ya que se obtiene una mayor longitud del área protegida y se produce un aumento de producción del 60 %, en comparación con la situación sin protección (Peri y Utrilla, 1997).

La determinación de la longitud del área de protección para diferentes porosidades respecto de los vientos predominantes, aporta información para establecer la distancia de plantación entre las cortinas cortaviento primarias o principales (perpendiculares a los vientos predominantes). Esto conduce a efectuar planificaciones prediales con diseños de barreras protectoras contra el viento efectivas y económicas.

4. CONCLUSIONES

La reducción relativa de la velocidad del viento es dependiente fundamentalmente de la porosidad de la cortina y la distancia desde la cortina. La extensión del área de protección depende principalmente de la porosidad y la altura que alcanzan las cortinas cortaviento. En los rangos de medición de la velocidad del viento testigo (u_0) (20 a 80 km/h), la reducción relativa de la velocidad del viento (R_1) se mantuvo estable.

Los resultados obtenidos de R_1 para diferentes porosidades permitirán elegir con mayor criterio el tipo de cortina cortaviento referido a un cultivo específico o grupo de cultivos de características similares y determinar las distancias de plantación de las cortinas primarias.

REFERENCIAS

- Borrelli, J., J. M. Gregory y W. Abtew. 1989. Wind barriers: a reevaluation of height, spacing, and porosity. *Trans. ASAE* 32: 2023-2027.
- Cao, X., 1985. Field windbreaks. China Forestry Publishing House, Beijing, 645 p.
- Carbon, J. M.. 1957: Shelterbelts and microclimate. *For. Comm. Bull. N° 29*, Edinburg, 135 p.
- FAO. 1962. La influencia de los montes. Roma. 335 p.
- Guyot, G. y P. Elejabeitia. 1970. Los cortavientos en agricultura. Cuaderno N° 4. Centro de Investigación y Desarrollo Agrario del Ebro, Zaragoza, España. 64 p.
- Hagen, L., E. Skidmore, P. Miller y J. Kipp. 1981. Simulation of effect of wind barriers on airflow. *Trans. ASAE* 24: 1002- 1008.
- Heisler, G.M. y D.R. DeWalle. 1988. Effects of windbreak structure on wind flow. *AgricEcosyst. Environ.* 22/23: 41-69.
- Konstantinov, A.R.. 1950. The influence of forest-belts on the wind and on the turbulent exchange in the air layer near the ground. *Voprosy gidrometeorologiceskoj effektivnosti polezascitnogo lesorazvedeniya*, Gidrometeoizdat. Leningrad.
- Konstantinov, A.R. y L.R. Struzer. 1969. Shelterbelts and Crop Yields. US Office of Technical Services, Washington, DC, TT 68-50370. Translated by Israel Program for Sci. Translations Ltd.
- Loeffler, A.E.. 1990. Using optical porosity to evaluate the shelter effectiveness of windbreaks in Southern Ontario. Master's Thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá.
- Peri, P. y V. Utrilla. 1997. Efecto de cortinas cortaviento sobre la producción de alfalfa (cv Dawson) en la Provincia de Santa Cruz, Argentina. Informe técnico EEA INTA Santa Cruz (Convenio INTA-UNPA-CAP). 7 p.
- Plate, E.J..1971. The aerodynamics of shelter belts. *Agric. Meteorol.* 8: 203-222.
- Popov, K.I.. 1960. On the width and design of forestbelts. *Tezisy dokladov na naueno-tehniceskoj konferencii po teorii zascitnogo lesorazvedeniya* Stalingrade, VNIALMI, Stalingrad.
- Raine, J. y D. Stevenson. 1977. Wind Protection by model fences in a simulated atmospheric boundary layer. *J. Int. Aero.* 2: 159-180.
- Seginer, Y. y R. Sagi. 1972. Drag on a windbreak in two-dimensional flow. *Agric. Meteorol.* 9: 323-33.
- van Eimern, J., R. Karschon, L. Razumova y G. Robertson. 1964. Windbreaks and shelterbelts. *WMO Tech. Note N° 59*, 188 p.
- Zhao, Z., L. Xiao, T. Zhao y H. Zhang. 1995. Windbreaks for agriculture. China Forestry Publishing House, Beijing, 400 p.
- Zhang, H., J. R. Brandle, G. E. Meyer y L. Hodges. 1995. The relationship between open wind speed and wind speed reduction in shelter. *Agroforestry System* 32: 297-311.

