

Impacto de las cortinas forestales en la protección de viñedos frente al viento Zonda

Impact of Forest Windbreaks on Vineyard Protection Against the Zonda Wind

Presentación: 8-9/10/2024

Doctorando:

Rodolfo DEMATTE

Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional – Argentina
rdematte@gmail.com

Director/a:

Ernesto GANDOLFO RASO

Resumen

El presente estudio evaluó el efecto de protección de las cortinas forestales debido a las diferentes geometrías como medida protectora del fenómeno zonda en los cultivos de vid en la provincia de Mendoza, Argentina. Se evaluaron vientos a velocidades de entre 18 y 25 m/s (Zonda tipo 1 y tipo 2) sobre diferentes configuraciones de cortinas forestales utilizadas para proteger cultivos de vid. La investigación se centró en determinar el efecto protector de estas barreras, considerando diversas configuraciones y niveles de porosidad óptica. Se llevaron a cabo simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) para evaluar su efectividad. Las simulaciones incorporaron diferentes grados de porosidad óptica y variadas geometrías de las cortinas. Los resultados indicaron una reducción significativa en el impacto de los vientos Zonda debido a las cortinas forestales. La eficacia de las configuraciones estuvo directamente relacionada con el nivel de porosidad óptica (OP) de las barreras. Al comparar estos hallazgos con la literatura existente, se subrayó la importancia de la OP y la disposición de las cortinas forestales en la mitigación de los efectos del viento Zonda. Estos resultados refuerzan estudios previos que destacan el papel esencial de las estructuras de cortavientos en la protección de los cultivos agrícolas frente a condiciones climáticas adversas. En conclusión, se recomienda la implementación de cortinas forestales con una porosidad entre 35% y 50% para ofrecer una protección efectiva contra el viento Zonda en los viñedos de Mendoza. Se sugieren investigaciones futuras para optimizar aún más las configuraciones de cortavientos y mejorar la resistencia de los cultivos ante eventos climáticos extremos.

Palabras clave: Viento Zonda, cortinas rompevientos, *vitis vinifera*, CFD, efecto shelter, OpenFOAM, Mendoza, Argentina

Abstract

This study evaluated the behavior of the Zonda wind in the province of Mendoza, Argentina, with emphasis on its impact at speeds between 18 and 25 m/s (Zonda type 1 and type 2) on different forest windbreaks used to protect vineyards. The research focused on determining the protective effect of these barriers, considering various configurations and levels of optical porosity. Multiple configurations of forest windbreaks were designed, and computational fluid dynamics (CFD) simulations were conducted to assess their effectiveness. The simulations incorporated different levels of optical porosity and various geometries of the windbreaks. The results indicated a significant reduction in the impact of the Zonda winds due to the forest windbreaks. The effectiveness of the configurations was directly related to the level of optical porosity (OP) of the barriers. Comparing these findings with existing literature, the importance of OP and the arrangement of forest windbreaks in mitigating the effects of the Zonda wind was emphasized. These results reinforce previous

studies that highlight the essential role of windbreak structures in protecting agricultural crops from adverse weather conditions. In conclusion, the implementation of forest windbreaks with a porosity between 35% and 50% is recommended to provide effective protection against the Zonda wind in the vineyards of Mendoza. Future research is suggested to further optimize windbreak configurations and enhance the resilience of crops to extreme weather events.

Keywords: Zonda wind, windbreak curtains, vitis vinifera, shelter effect, CFD, OpenFOAM, Mendoza, Argentina.

Introducción

En Argentina, 20 provincias producen uvas para vinificación, muchas de las cuales se han incorporado al sistema productivo en la última década. Mendoza, que representa el 76.14% de la superficie total plantada con viñedos en el país, ha incrementado su superficie productiva en 2.801 hectáreas en los últimos tres años. En términos de producción, la provincia genera el 64.23% del total nacional (INV, 2023).

Mendoza concentra además el 75% de la producción de uvas para vinificación en el país. La provincia cuenta con 14.934 viñedos en 2023, aunque ha experimentado una ligera disminución en comparación con el año anterior, manteniendo una superficie productiva de 145.393 hectáreas, lo que representa una reducción del 1.36%. Del total producido, el 99.1% se destina a la elaboración de vino y sólo el 0.9% para consumo en fresco y para la producción de pasas (INV, 2023).

En cuanto a aspectos agro-productivos, el sistema de conducción predominante es el de espaldera, utilizado en el 58.4% de los viñedos. Este sistema ha mostrado una tendencia de crecimiento del 4.9% en la última década, mientras que el sistema de parrales ha experimentado una disminución del 18% (INV, 2023).

Económicamente, la viticultura y la industria del vino desempeñan un papel significativo en la economía mendocina y argentina, generando empleo, impulsando el enoturismo y contribuyendo a las exportaciones del país. Los vinos argentinos se exportan a numerosos mercados internacionales, incluidos Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Brasil y varios países de Europa y Asia (INV, 2023). La producción de vino es una parte integral de la identidad cultural y económica del país (Lacoste, 2019). Sin embargo, la viabilidad de los viñedos enfrenta constantes desafíos, especialmente en términos de protección contra condiciones climáticas adversas, particularmente el fenómeno del viento Zonda (Goldberg, 2010).

Respecto al clima, Mendoza se caracteriza por el viento Zonda que es un viento cálido, fuerte y extremadamente seco que se forma por compresión adiabática al descender por las laderas orientales de los Andes hacia el centro oeste de Argentina (Otero, 2022).

Los criterios adoptados por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), junto con estudios de Norte y otros investigadores, son utilizados para clasificar los eventos de viento zonda según las ráfagas (SMN, 2023). Los vientos zonda se categorizan en cuatro clases: Z1, Z2, Z3 y Z4, cada una identificada por colores específicos en el sistema SAT. Los eventos Z1 se representan en amarillo (con ráfagas de hasta 65 km/h), Z2 en naranja (ráfagas entre 65 y 90 km/h), y Z3 y Z4 en rojo (ráfagas superiores a 90 km/h) (Norte, 2015; SMN, 2023). Se presenta con mayor frecuencia durante el invierno y la primavera; y sus velocidades en casos extremos pueden llegar a 120 km/h. La adversidad meteorológica suele producirse con mayor frecuencia entre agosto - noviembre, período en el que la vid, el olivo y otros frutales florecen (Caretta et al., 2004).

Se cuantificaron los eventos de viento zonda entre los años 2003 a 2023, se presentan datos (Figura 1) en los que se destaca que "en 2023 ya corrió más viento Zonda que en los últimos cuatro años" (Lagaglia, 2023).

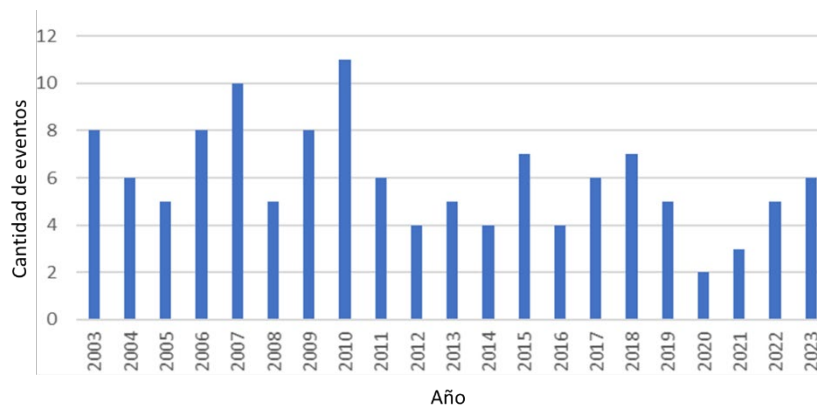


Figura 1: frecuencia de eventos zonda por año. Fuente: Lagaglia (2023). Datos proporcionados por Otero (2023).

En función de lo mencionado anteriormente, los fuertes vientos generan en las plantaciones efectos adversos, como roturas, pérdidas de producción y económicas, además de provocar erosión eólica en los suelos agrícolas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el comportamiento del viento Zonda tipo 1 (18 m/s) y tipo 2 (25 m/s) al impactar diversas disposiciones de cortinas forestales que actúan como barrera en cultivos de vid. Asimismo, se busca determinar el efecto protector de estas barreras forestales con distintas configuraciones y niveles de porosidad óptica.

Desarrollo

Se utilizó el paquete de software OpenFOAM (versión 8), módulo SIMPLE (Método Semi-Implicito para Ecuaciones Acopladas de Presión) basado en la teoría de Spalding y Patankar (1972), dado que ha sido ampliamente utilizado en la investigación para resolver diferentes tipos de problemas de fluidos mediante simulaciones numéricas. En las simulaciones se implementó el modelo de turbulencia k-epsilon. Este modelo fue seleccionado debido a su capacidad para capturar la turbulencia en flujos de aire, lo cual es fundamental para entender el efecto de los rompevientos en el fenómeno de protección.

El dominio computacional tiene dimensiones de 40 m (ancho), 200 m (longitud) y 40 m (altura), para todos los casos simulados.

Se modelaron cortinas forestales con plantas de 6 metros de altura en la primera fila y 6.6 metros de altura desde la segunda fila (H), con una configuración SJ (Wang et al., 1997). La separación entre cada fila de plantas es de 1.2 m. Los setos de arbustos de 0.85 m de altura (Figura 2).









El cultivo de *Vitis vinifera* está organizado en espalderas bajas de 1.2 m de altura, con un marco de plantación de 1.20 m separado entre filas de 3 m. La distancia entre el cultivo y la cortina forestal es de 2H (13.2 m).

La geometría de la cortina cortavientos fue diseñada según las especificaciones estándar utilizadas en aplicaciones prácticas. La cortina forestal tiene una configuración SJ propuesta por Wang et al., 1997. La variedad utilizada es *Populus nigra*, ampliamente empleada como cortina forestal en Mendoza (Ramilo, 2022).

Diseño de los experimentos

Se utilizaron diferentes configuraciones para analizar cómo la forma de la barrera forestal afecta los efectos de protección (Figura 2). Las pruebas realizadas fueron:

- Testigo: Sin cortavientos.
- Prueba 1: Viento zonda 18 m/s. Barrera forestal de doble fila intercalada (3 árboles primero, 4 después).
- Prueba 2: Viento zonda 18 m/s. Barrera forestal triple (seto y tres filas intercaladas: 4 árboles, 3 árboles, 4 árboles).
- Prueba 3: Viento zonda 25 m/s. Barrera forestal de doble fila intercalada (3 árboles primero, 4 después).
- Prueba 4: Viento zonda 25 m/s. Barrera forestal triple (seto y tres filas intercaladas: 4 árboles, 3 árboles, 4 árboles).

		Cortina forestal configuración HH
		Cortina forestal configuración AA
		Cortina forestal configuración SA
		Cortina forestal configuración SJ



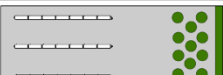
Ensayo		Configuración de la cortina forestal
1	Sin cortina forestal	
2	Cortina doble intercalada primera fila 3 segunda fila 4 plantas	
3	Cortina con triple fila intercalada con seto	

Figura 2: configuración de las cortinas forestales rompevientos. Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la Porosidad Óptica

La porosidad óptica (OP) sirve como un descriptor natural de las cortinas forestales (Wang et al., 1998). Para el cálculo de la OP se utilizó la Ecuación 1 propuesta por Heisler et al. (1988).

$$OP = \frac{\text{área porosa total}}{(\text{área total de plantas}) + (\text{área porosa total})} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Resultados

En base al diseño de las geometrías de las cortinas forestales se calculó el grado de porosidad óptica de las diferentes pruebas, se utilizó la ecuación 1. En tabla 1 se muestran los resultados.

Prueba	Descripción	Porosidad Óptica
Testigo	Sin cortavientos	100.00%
Prueba 1	Barrera forestal de doble fila intercalada (3 árboles primero, 4 después).	36.71%
Prueba 2	Barrera forestal triple (seto y tres filas intercaladas: 4 árboles, 3 árboles, 4 árboles).	28.26%
Prueba 3	Barrera forestal de doble fila intercalada (3 árboles primero, 4 después).	36.71%
Prueba 4	Barrera forestal triple (seto y tres filas intercaladas: 4 árboles, 3 árboles, 4 árboles).	28.26%

Tabla 1: Determinación de porosidad óptica para cada una de las pruebas realizadas. Fuente: elaboración propia (2024).

Las pruebas se clasificaron según su efectividad en la reducción del impacto del viento, medido en metros y en H (altura de la estructura de protección). Para vientos de 18 m/s, tanto la prueba 1 (Figura 3) como la prueba 2 (Figura 4) son eficientes en la protección del cultivo, dando un efector protector de las cortinas forestales de 100 m aproximadamente (15 H).

En la prueba 3 (Figura 5) muestra una efectividad de protección de 82 metros (12 H). En la prueba 4 tiene una efectividad de 72 metros que equivale a 11H. (Figura 6). Estos resultados son comparados respecto al ensayo testigo (Figura 5), sin cortinas protectoras, muestra una efectividad mínima, destacando la importancia de las cortinas forestales y de la porosidad óptica en las configuraciones de los cortavientos.

Esto se relaciona con la efectividad de los cortavientos (como se discute en los estudios mencionados) en la reducción de la velocidad del viento y la protección de los cultivos. Esta reducción en el flujo de aire es crucial para proteger los cultivos contra los impactos directos del viento, especialmente en condiciones climáticas adversas como los vientos Zonda de categoría 1 y 2.

El estudio demostró que los cortavientos forestales son efectivos para mitigar los efectos del viento Zonda, un fenómeno climático severo en Mendoza con velocidades que pueden alcanzar entre 18 y 25 m/s, y en algunos casos superiores a estas. Las diferentes configuraciones de cortinas, evaluadas por su porosidad y disposición con respecto al viento predominante, muestran que estas estructuras son capaces de reducir

significativamente la velocidad y modificar la dirección del viento en el área protegida, conocido como efecto de refugio (Figura 7).

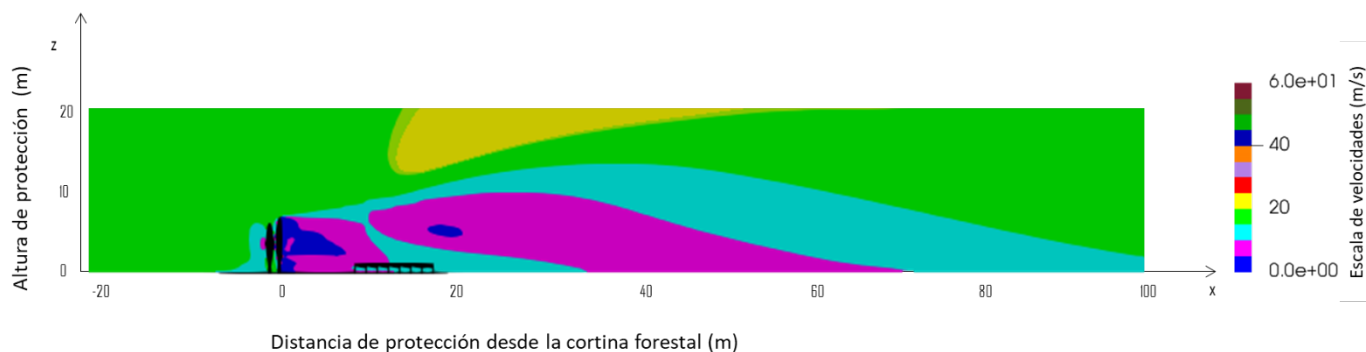


Figura 3: efecto protector de la barrera forestal de doble fila intercalada (3 árboles primero, 4 después). Porosidad de 36.71%. Para vientos Zonda de 18 m/s. Fuente: Elaboración propia.

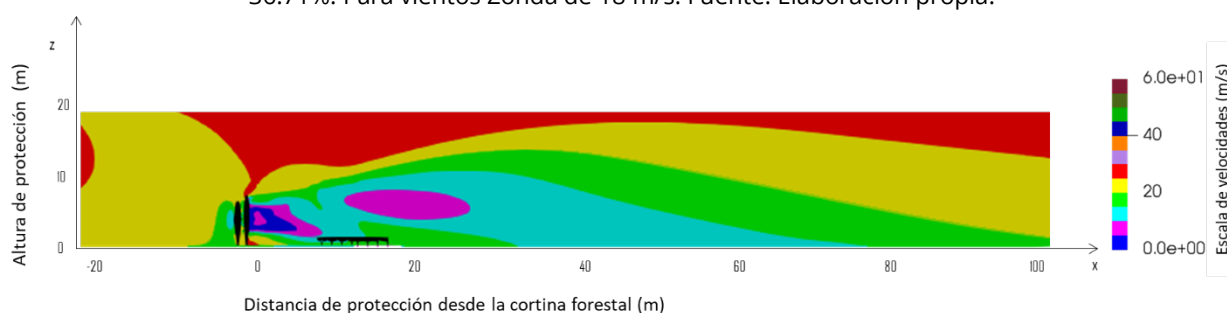


Figura 4: Efecto protector de la barrera forestal triple (seto y tres filas intercaladas: 4 árboles, 3 árboles, 4 árboles). Porosidad de 28.26%. Para vientos Zonda de 18 m/s. Fuente: Elaboración propia.

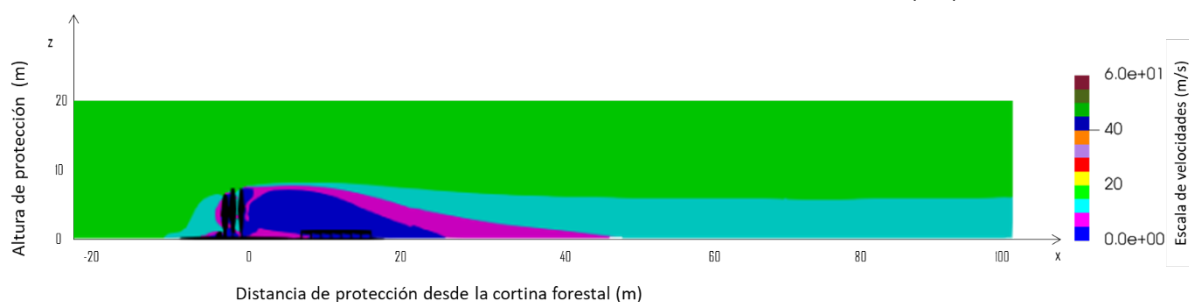


Figura 5: efecto protector de la barrera forestal de doble fila intercalada (3 árboles primero, 4 después). Porosidad de 36.71%. Para vientos Zonda de 25 m/s. Fuente: Elaboración propia.

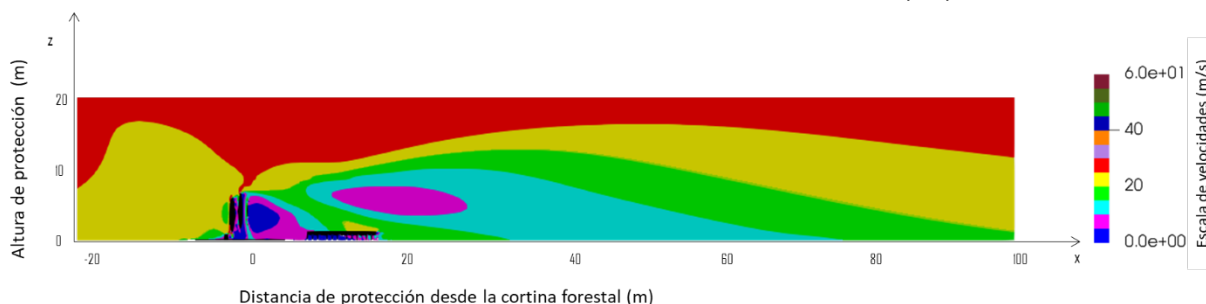


Figura 6: efecto protector de la barrera forestal triple (seto y tres filas intercaladas: 4 árboles, 3 árboles, 4 árboles). Porosidad de 28.26%. Para vientos Zonda de 25 m/s. Fuente: Elaboración propia.

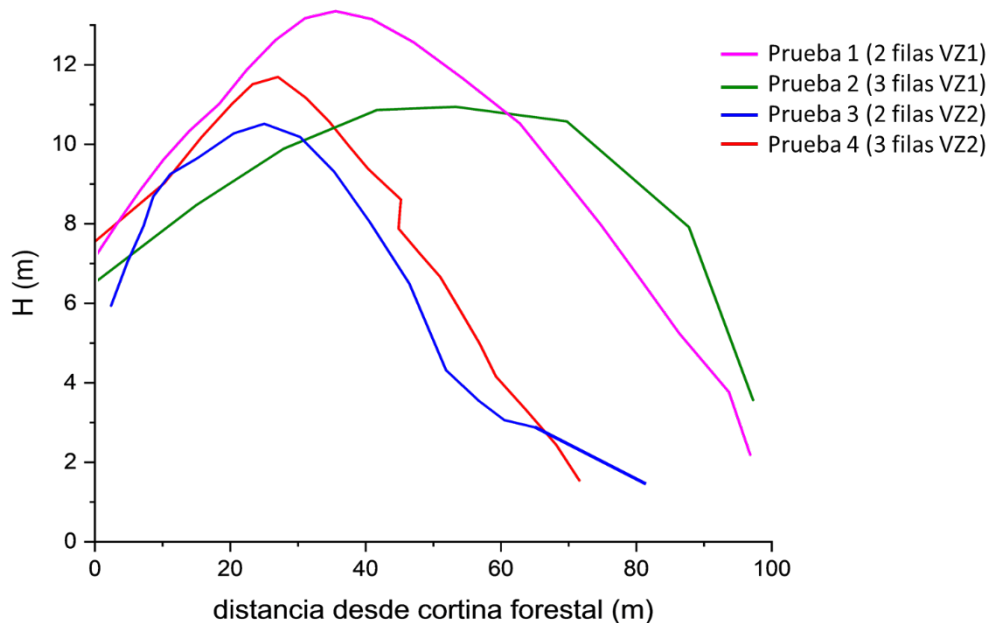


Figura 7: comparaciones de los efectos protectores de las cortinas forestales analizadas. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados coinciden con diversas investigaciones en las que afirman que las cortinas muy densas podrían no ser tan efectivas (Wang et al.1997 y Goldberg, 2010), ya desvían el flujo del viento hacia arriba y reducen el área protegida detrás de ellas. Se evaluó el efecto shelter de diversas configuraciones de cortinas rompevientos, cada una con diferentes niveles de porosidad, se concluye que las cortinas forestales representan una medida efectiva de protección contra el viento Zonda, conocido por sus velocidades extremas más frecuentes que alcanzan desde 18 a 25 m/s, siendo el evento más común en la región de Mendoza. La estructura de la cortina, al estar orientada perpendicular al viento predominante, induce un efecto de reducción de velocidad y desviación del flujo, creando un área de resguardo que protege los cultivos ubicados entre 11 y 15H detrás de la cortina, dependiendo de su configuración y porosidad óptima.

La interacción del viento con la cortina forestal permite una filtración parcial a través de los intersticios entre las plantas, lo cual disminuye su velocidad. Simultáneamente, parte del viento es desviada alrededor de la superficie frontal de la cortina. Estos cambios en la velocidad y dirección del viento se deben a la resistencia ofrecida por las plantas de la cortina forestal. El área protegida, conocida como "efecto de resguardo", experimenta una reducción significativa en la velocidad del viento, creando un entorno donde los cultivos están menos expuestos al impacto directo del viento.

Los resultados demostraron de manera clara que las cortinas forestales son efectivas para mitigar el viento Zonda, reduciendo su impacto en todas las configuraciones analizadas. Cuando el viento incide sobre la cortina forestal, parte de este se filtra a través de los espacios entre las plantas, perdiendo velocidad, mientras que otra parte es desviada por la superficie frontal de la cortina. Estos cambios en la velocidad y dirección del viento son consecuencia directa de la resistencia proporcionada por las plantas de las cortinas forestales.

Estas observaciones concuerdan con estudios previos que advierten sobre los efectos contraproducentes de las cortinas demasiado densas en ciertos contextos.

Referencias

- Caretta, A., Ortega, A., & Ortiz Maldonado, A. (2004). Probabilidades de daño por viento Zonda en la floración de frutales, vid y olivos [Probability of damage to vines, fruit and olive trees blossom by Zonda wind]. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 36(2), 49-58.
- Golberg, A. D. (2010). El viento y la vida de las plantas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 42(1), 221-243. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3558/t42-1-r01-golberg.pdf

- Heisler, G. M., & DeWalle, D. R. (1988). Effects of windbreak structure on wind flow. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 22-23, 41-69. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90007-2](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90007-2)
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2023, November). *Informe anual cosecha y elaboración 2023. Laboratorio Estadístico*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/anuario_cosecha_y_elaboracion_2023.pdf
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2024, febrero). *Informe anual de superficie 2023 (Base de datos congelada al 31/12/23)*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/informe_anual_de_superficie_2023.pdf
- Lacoste, P. (2019). *La vid y el vino en el Cono Sur de América: Argentina y Chile (1545–2019). Aspectos políticos, económicos, sociales, culturales y enológicos*. Editorial y Talleres Gráficos Cooperativa de Trabajo Ltda.
- Lagaglia, F. (2023, September 22th). El dato que muestra que en 2023 ya corrió más viento Zonda que en los últimos cuatro años. *MDZ Online*. <https://www.mdzol.com/temas/zonda-1835.html>.
- Norte, F. A. (2015). Understanding and forecasting Zonda wind (Andean foehn) in Argentina: A review. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(3), 131-141. <https://doi.org/10.4236/acs.2015.53012>
- Otero, F., & Araneo, D. C. (2022). Características de los eventos zonda severos de larga duración y su relación con la circulación de gran escala. En XIV Congreso Argentino de Meteorología, 11 de julio de 2022, Centro Argentino de Meteorólogos (Eds.), *Actas del XIV Congreso Argentino de Meteorología*. Centro Argentino de Meteorólogos.
- Ramilo, D. I. (2022). Cortinas forestales. En S. E. Sharry, R. A. Stevani, & S. P. Galarco (Eds.), *Sistemas agroforestales en Argentina* (pp. 87-132). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/131898>
- Servicio Meteorológico Nacional. (2023). *Sistema de Alerta Temprana: Módulo Umbrales para los Alertas*. <https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/Umbrales.pdf>
- Wang, H., & Takle, E. S. (1997). Model-simulated influences of shelterbelt shape on wind-sheltering efficiency. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 36(6), 695-704. <https://doi.org/10.1175/1520-0450-36.6.695>