



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

**9CFE-1347**

---

Organiza





## Respuestas fotoprotectoras en las especies esclerófilas *Vachelia cavem* (Molina) Seigler & Ebinger y *Peumus boldus* Mol. establecidas en un sitio con clima tipo mediterráneo

ESPINOZA MEZA. S (1), MAGNI DÍAZ C. (2), YAÑEZ ARCE M. (3), Y MARTINEZ HERRERA E. (2)

(1) Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca, Chile

(2) CESAF. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, Avenida Santa Rosa 11365, La Pintana, Chile.

(3) College of Forestry, Agriculture, and Natural Resources, University of Arkansas at Monticello, 110 University Ct, Monticello, AR 71656

### Resumen

En este estudio evaluamos la fluorescencia de la clorofila en plantas de *Vachelia cavem* y *Peumus boldus* de dos años entre diciembre de 2021 hasta abril de 2022 y obtuvimos algunos parámetros de la prueba OJIP. El índice de potencial fotosintético (PIABS), el índice de eficacia máxima fotoquímica (Fv/Fm) y la contribución relativa del flujo de electrones a los aceptores del PSI ( $\Delta VIP$ ) fueron 29, 15 y 51% más bajos en *P. boldus*. Además, esta especie exhibió una disminución del 89, 44 y 70% en PIABS, Fv/Fm y  $\Delta VIP$  en febrero de 2022 (mes que registró la temperatura más alta durante el experimento). *A. cavem* pudo mantener el equilibrio entre los electrones en el lado aceptor y donador del PSII durante el verano y mostró un PIABS más alto, lo que indica que el transporte de electrones más allá de QA (quinona aceptora primaria de electrones de PSII) funciona mejor en esta especie. *P. boldus* exhibió una regulación negativa de la fotoquímica del PSII como resultado de un exceso de radiación solar interceptada y una capacidad limitada para reducir fotoquímicamente la QA y transferir electrones al lado aceptor del PSI. Estos resultados indican que el establecimiento de *P. boldus* debe ser con el apoyo de protectores de planta que disminuyan la insolación directa en la planta.

### Palabras clave

OJIP-test, eficiencia fotoquímica, fotoinhibición, índice de rendimiento.

### 1. Introducción

En climas de tipo mediterráneo las especies esclerófilas están habitualmente expuestas a estrés lumínico que puede producir fotoinhibición y conducir a la destrucción fotooxidativa del aparato fotosintético (OSMOND 1994). Las adaptaciones de estas especies están relacionadas con una superficie foliar reducida (BALDOCHI y WU 2007), un control estomático sobre la transpiración (MEDIAVILLA y ESCUDERO 2003) y el ángulo de la hoja para disminuir la radiación solar directa (MOONEY et al. 1977). Entre las especies del bosque esclerófilo chileno se encuentran la especie pionera *Vachellia cavem* que se caracteriza por poseer un sistema radical profundo y hojas compuestas pequeñas como adaptación para



sobrevivir en sitios con escasez de agua (GILIBERTO y ESTAY 1978). Otra especie de importancia ecológica es *Peumus boldus* que exhibe enrollamiento foliar como mecanismo para disminuir la transpiración cuando se expone a un estrés hídrico prolongado (KADIOGLU y TERZI, 2007). Sin embargo, la información sobre el uso de la energía absorbida durante la fotosíntesis en estas especies en condiciones de restricción hídrica es aún escasa. En este contexto y dado el diferente comportamiento y hábito de crecimiento entre las especies esclerófilas chilenas frente a la sequía, hemos llevado a cabo un experimento de campo comparativo para investigar la eficiencia fotoquímica seguida por *V. caven* y *P. boldus* cuando se someten a un experimento de restricción de agua en el suelo.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo fue evaluar las respuestas fotoprotectoras en las especies esclerófilas *Vachelia caven* y *Peumus boldus* establecidas en un sitio con clima tipo mediterráneo bajo condiciones contrastantes de humedad de suelo.

## 3. Metodología

La semilla utilizada en la implementación del ensayo fue de origen local, colectada en un predio ubicado a 30 km desde el lugar del ensayo. Las plantas se produjeron en contenedores de 140 mL con sustrato a base de corteza compostada de *Pinus radiata* con fertilizante Basacote 9M® en dosis de 3 g L<sup>-1</sup> y se cultivaron en condiciones ambientales de temperatura y luz hasta durante 9 meses. Al momento del establecimiento, las plantas presentaban una altura de 13,5 y 18 cm para *V. caven* y *P. boldus*, respectivamente. El ensayo se estableció en julio del año 2019 en un sitio con clima de tipo Mediterráneo ubicado en Chile Central (35°34' S, 72°06' O, 254 msnm). Los valores de precipitación y temperatura media anual son de 600 mm y 13,4 °C y el suelo es de tipo arcilloso-arenoso. Los valores para capacidad de campo y punto de marchitez permanente son de 34,3 y 22,6%, respectivamente. El ensayo se estableció con un diseño en parcelas divididas con cinco bloques y 5 plantas como unidad experimental. En total se establecieron 100 plantas. Los efectos del nivel de riego (2 L planta<sup>-1</sup> semana<sup>-1</sup> desde noviembre de 2019 a marzo de 2020 (R+), versus sin riego (R-)) fueron el tratamiento de parcela grande, y las dos especies (*P. boldus* y *V. caven*) fueron el tratamiento de parcelas divididas. Después de dos años de establecidas en campo se midió la fluorescencia de la clorofila a mediante el uso de un fluorímetro modulado (OSp30+, Optisciences, EE. UU.) configurado para el protocolo de prueba OJIP. Las hojas de cada planta se adaptaron a la oscuridad en clips durante 30 minutos antes de las mediciones. La fluorescencia fue inducida mediante la excitación de un pulso de un segundo de luz roja (640 nm) y una intensidad de luz máxima de 3500 μmol (fotón) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Los datos obtenidos se utilizaron en la prueba OJIP (STRASSER et al. 2004) para calcular los parámetros de la fotoquímica del fotosistema II (PSII). Del conjunto de parámetros OJIP se analizaron la máxima eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm), la contribución relativa del flujo de electrones a los aceptores del PSI (ΔVIP) y el índice de potencial fotosintético (PIABS) (KALAJI et al. 2014). Las mediciones se realizaron en 5 fechas entre los años 2022 (4 de diciembre) y 2023 (8 de enero, 7 de febrero, 8 de marzo y 11 de abril). Los datos se analizaron mediante un análisis de



varianza con medidas repetidas considerando el efecto de los factores riego, especie y su interacción sobre los parámetros de fluorescencia. Antes de los análisis se validaron los supuestos de independencia de los residuos (Prueba de Durbin-Watson) normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Cuando estos análisis reflejaron la existencia de diferencias significativas se empleó la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ) para la diferenciación en subconjuntos homogéneos de medias. Los análisis se hicieron con software SPSS IBM Corp.

#### 4. Resultados

Los valores promedio para  $F_v/F_m$  a lo largo del período de evaluación fueron 0,63 y 0,70 para las plántulas en R- y R+, respectivamente ( $P < 0,05$ ). En tanto que en promedio, *V. caven* exhibió valores de 0,71 y *P. boldus* valores de 0,60. ( $P < 0,05$ ). Se observó efectos de interacción entre el tratamiento de riego y las especies en las distintas fechas de medición ( $P < 0,05$ ). En el mes más caluroso (febrero de 2022) las plantas de *P. boldus* de ambos tratamientos de riego (R+ y R-) exhibieron fotoinhibición ( $0,33 < F_v/F_m < 0,42$ ). Sin embargo, en el mismo mes, las plantas de *V. caven* en R+ tuvieron un valor de  $F_v/F_m$  de 0,72 en comparación con aquellas sometidas al tratamiento R- ( $F_v/F_m = 0,66$ ). En el caso de  $\Delta VIP$  y PIABS, se observó la misma tendencia, esto es, plantas de *P. boldus* presentaron los valores más bajos en ambos tratamientos de riego y en el mes más caluroso. De manera opuesta, plantas de *V. caven* presentaron valores más altos de  $\Delta VIP$  y PIABS que *P. boldus*, aunque en marzo de 2023 PIABS fue igual en ambas especies (Figura 1).

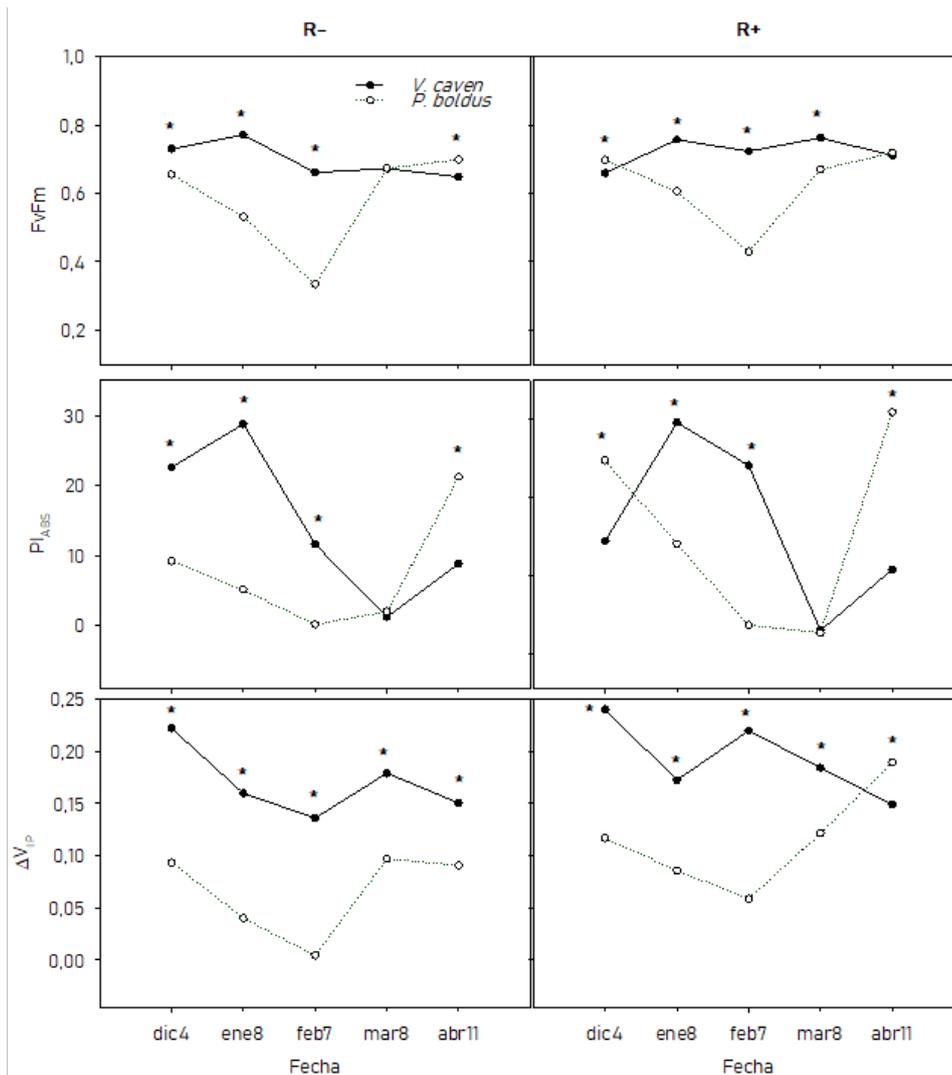


Figura 1. Respuestas fotoprotectoras de *V. caven* y *P. boldus* en ambos tratamientos de riego según la fecha de medición. Los asteriscos indican diferencias entre especies para cada fecha de medición ( $P < 0,05$ ).

## 5. Discusión

Las especies esclerófilas tienen adaptaciones para hacer frente a estreses ambientales como sequía, alta temperatura e intensidad lumínica, sin embargo, las respuestas en plántulas recién establecidas dependen de adaptaciones adicionales para cosechar y utilizar la luz y también de la disponibilidad de agua después del establecimiento y durante los meses de verano. En nuestro estudio el PI<sub>ABS</sub>; uno de los parámetros más importantes de la fluorescencia de la clorofila a que está relacionado con la vitalidad de la planta (MEHTA et al. 2010) junto con Fv/Fm, Fv/Fo y ΔVIP solo se vieron afectados negativamente en el tratamiento R- en *P. boldus*. Se ha informado que el transporte de electrones se inhibe severamente con bajos contenidos de agua (e.g., 36% de capacidad de retención de agua) y potenciales hídricos altos (SCARASCIA-MUGNOZZA et al. 1996), lo que podría estar asociado a una reducción en el rendimiento cuántico de la fotoquímica del PSII o porque una parte importante del flujo de electrones originado en el PSII puede ser



desviado de la carboxilación a la fotorrespiración (CORNIC y BRIANTAIS 1991). PIABS, Fv/Fm, Fv/Fo y  $\Delta$ VIP se redujeron en *P. boldus* durante el experimento, pero particularmente durante el mes de febrero, cuando Fv/Fm disminuyó a valores tan bajos como 0,38, lo que indica claramente fotoinhibición (ÖQUIST et al. 1992). Esta reducción transitoria, que se recuperó después del mes de febrero, indica la activación de un mecanismo fotoprotector adoptado en plantas estresadas por sequía (OUKKARROUM et al. 2009, GUIDI y CALATAYOUD, 2014). Por su parte, *A. caven* pudo mantener el equilibrio entre los electrones en el lado aceptor y donador del PSII durante el verano; excepto en marzo de 2023, y mostró en promedio un PIABS y  $\Delta$ VIP más altos, lo que indica una mayor capacidad para reducir electrones más allá de PSI. Nuestros resultados sugieren que la magnitud de los cambios en el rendimiento cuántico se atribuye a diferencias adaptativas entre ambas especies (WANG et al. 2012) y en menor medida a los tratamientos de riego. Esto puede explicarse porque los eventos de renovación de agua fueron cada 7 días en el período de mayor estrés estival y en donde la cantidad de agua era demasiado baja (2 L por semana) para el uso de la planta. Además, las altas temperaturas durante el verano (promedio de 30 °C) provocaron que el agua se evaporara en menos de una semana, lo que probablemente confundió los efectos del riego y necesita ser investigado más a fondo. Desde el punto de vista de la restauración, nuestros resultados sugieren que el éxito en el establecimiento de *P. boldus* depende de la protección a la insolación y la provisión de riegos de apoyo al establecimiento, mientras que en el caso de *V. caven*, esta especie podría sobrevivir en sitios con restricciones de agua, pero con protección a la insolación. Esto indica que; indistintamente de las adaptaciones de cada especie, para asegurar un establecimiento exitoso en ambientes con escasez de agua es imprescindible implementar a las plantas con un sistema de protección contra la insolación (tree shelters); el que también sirve para protección contra daño por animales, y riegos de apoyo al establecimiento. YÁÑEZ et al. (2024) y MARTÍNEZ et al. (2023) encontraron un buen desempeño fisiológico y establecimiento exitoso en las especies *V. caven*, *Q. saponaria*, *P. boldus*, *L. caustica*, *C. odorifera* y *E. pulverulenta* con el uso de protectores de planta. Por su parte, OVALLE et al. (2015) reportó una mayor supervivencia y crecimiento en *Q. saponaria* al aplicar 2 litros de agua por planta de manera semanal.

## 6. Conclusiones

Nuestros hallazgos mostraron que *V. caven* tiene mayor eficiencia fotoquímica que *P. boldus* para enfrentar la sequía y sugieren que la frecuencia y dosis de riego aplicada no es suficiente para aliviar el estrés estival en *P. boldus*.

## 7. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada parcialmente por el Fondo de Investigación de Bosque Nativo (Corporación Nacional Forestal de Chile) mediante el proyecto 'Contribución a la Rehabilitación del Bosque y Matorral Esclerófilo de la Región del Maule' (Código 015/2017). Agradecemos al personal del CESAF, Universidad de Chile, por su apoyo en las mediciones de campo.



## 8. Bibliografía

ARROYO, MTK.; ARMESTO, JJ.; SQUEO, F.; GUTIERREZ J. 1993. Global Change: The flora and vegetation of Chile. In: MOONEY H, FUENTES E, KRINBERG B (Eds.). Earth-Systems responses to Global Change: Contrasts between North and South America. Academic Press. 239-264. New York

BALDOCCHI, DD.; XU, L. 2007 What limits evaporation from Mediterranean oak woodlands – the supply of moisture in the soil, physiological control by plants or the demand by the atmosphere? *Adv Water Resour* 30 2113–2122

CORNIC, G.; BRIANTAIS, JM. 1991. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> reduction in a C3 leaf (*Phaseolus vulgaris* L) at different CO<sub>2</sub> concentrations and drought stress. *Planta* 183 178-184

GILIBERTO, J.; ESTAY, H. 1978. Seasonal water stress in some Chilean matorral shrubs. *Bot Gaz* 139(2) 236-240

GUIDI, L.; CALATAYUD, A. 2014. Non-invasive tools to estimate stress-induced changes in photosynthetic performance in plants inhabiting Mediterranean areas. *Environ Exp Bot* 103 42-52

HOFFMANN, A.; KUMMEROW, J. 1978. Root Studies in the Chilean Matorral. *Oecologia* 69 57–69

KALAJI, HM.; SCHANSKER, G.; LADLE, RJ.; GOLTSEV, V.; BOSA, K.; ALLAKHVERDIEV, SI.; ...; ZIVCAK, M. 2014. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. *Photosynth Res* 122 121-158

KADIOGLU, A.; TERZI, R. 2007. A dehydration avoidance mechanism: leaf rolling. *Bot Rev* 73(4) 290-302

MARTÍNEZ-HERRERA, E.; BRAVO, V.; GREZ, I.; VASWANI, S.; TORO, N.; YÁÑEZ, MA.; ESPINOZA, SE.; ABARCA, B.; FAÚNDEZ, A.; QUIROZ, I.; MAGNI, CR. 2023. The use of mulch and shading improves the survival of sclerophyllous species established in island plots in Central Chile. *Applied Sciences* 13(14) 8333

MEDIAVILLA, S.; ESCUDERO, A. 2003. Stomatal response to drought at a Mediterranean site: a comparative study of co-occurring woody species differing in leaf longevity. *Tree Physiol* 23 978–996

MEHTA, P.; JAJOO, A.; MATHUR, S.; BHARTI, S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiol Biochem* 48 16-20



MOONEY, HA.; EHLERINGER, J.; BJORKMAN, O. 1977. The energy balance of leaves of the evergreen desert shrub *Atriplex hymenelytra*. *Oecologia* 29 301-310

ÖQUIST, G.; CHOW, WS.; ANDERSON, JM. 1992. Photoinhibition of photosynthesis represents a mechanism for the long-term regulation of photosystem II. *Planta* 186 450-460

OUKARROUM, A.; SCHANSKER, G.; STRASSER, RJ. 2009. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. *Physiol Plant* 137 188-199

OVALLE, JF.; ARELLANO, EC.; GINOCCHIO R. 2015. Trade-offs between drought and survival and rooting strategy of two South American Mediterranean tree species: Implications for dryland forests restoration. *Forests* 6 3733-3747

STRASSER, RJ.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. 2004. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. – In: Papageorgiou G.C., Govindjee (ed.): Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration. Springer. 321-362. Dordrecht.

WANG, ZX.; CHEN, L.; AI, J. QIN, HY.; LIU, YX.; XU, PL., JIAO, ZQ.; ZHANG, QT. 2012. Photosynthesis and activity of photosystem II in response to drought stress in amur grape (*Vitis amurensis* rupr.). *Photosynthetica* 50 189–196

YÁÑEZ, MA.; ESPINOZA, SE.; MAGNI, CR.; MARTÍNEZ-HERRERA, E. 2024. Early growth and physiological acclimation to shade and water restriction of seven sclerophyllous species of the Mediterranean Forests of Central Chile. *Plants* 13(17) 2410