

Aristotelia chilensis: berry nativo del bosque Andinopatagónico y su respuesta fotosintética bajo condiciones lumínicas contrastantes

C. S. Roldán¹, S. A. Varela¹, G. Caballé¹,F. J. Berli², V. El Mujtar¹, P. Marchelli¹

Palabras clave: ambiente lumínico, Berry nativo, fotosíntesis

Introducción

El maqui (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stunz) es una especie nativa de los bosques Andino Patagónicos de Argentina y Chile (Fredes et al., 2012; Vogel et al., 2014), que produce bayas comestibles con los niveles más altos de capacidad antioxidante entre los berries conocidos (Céspedes et al., 2008). Esta característica la hace muy buscada por los mercados internacionales, con un creciente interés en la domesticación.

En Argentina, las poblaciones nativas de maqui pueden crecer tanto en bosque abierto de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), como en bosque cerrado de coihue (*Nothofagus dombeyi*) (Stecconi et al., 2017) que constituyen dos ambientes lumínicos contrastantes: luminoso y sombrío, respectivamente. La luz es un factor limitante para el crecimiento de las plantas (Larcher, 2001). La construcción de curvas de respuesta a la luz proporciona información sobre las propiedades fotosintéticas de las plantas, lo cual está directamente relacionado con la producción y la capacidad de adaptación de las mismas (Taiz y Zeiger, 2010).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta fotosintética de plantas de maqui obtenidas a partir de estacas provenientes de ambientes lumínicos contrastantes, y bajo condiciones de cultivo intensivo, mediante modelos matemáticos que relacionan intensidad de luz vs. tasa de fotosíntesis en las plantas.

Materiales y métodos

Se evaluó la respuesta fotosintética sobre plantas de maqui obtenidas por propagación vegetativa a partir de estacas provenientes de los dos tipos de bosque nativo. Las plantas se encontraban bajo cultivo intensivo de 3 años, en un ensayo de clones instalado en la EEA INTA Bariloche, bajo dos niveles de radiación solar: radiación solar plena (RS+) y malla media sombra con transmisividad del 20% (RS-), simulando el ambiente lumínico de los dos tipos de bosque nativo. Se utilizó un equipo portátil medidor de intercambio de gases, IRGA LI-6400 (LI-COR® Inc., EEUU) para

construir curvas de Fotosíntesis Neta (PN) frente a la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), con niveles de PAR de: 1700, 1500, 1200, 750, 100, 50, 0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Las mediciones se realizaron sobre clones pertenecientes a plantas provenientes de bosque de coihue o de bosque de ciprés (TB = Tipo de Bosque), y cultivadas bajo ambos niveles de radiación solar, una vez por mes de noviembre a marzo. Se midieron 3 hojas por planta, siendo hojas de la parte media del brote de la temporada, con la lámina completamente extendida y sin signos de daño ni enfermedades.

Se analizaron los conjuntos de datos mediante un modelo matemático (Webb, 1976) que se ajusta a una hipérbola no rectangular, el cual fue el de mejor bondad de ajuste, con un R² mayor al de los otros modelos comparados. Se utilizó regresión no lineal en el software Prism4 (GraphPad, San Diego, CA, USA). La precisión de los parámetros ajustados se examinó a través de las relaciones entre los errores estándar de estimación (SEE) y los valores mejor ajustados (Zar, 1999).

Se analizaron los factores BP: "Bosque de procedencia de las estacas" (Coihue o Ciprés), y RS: "Radiación so-

P_N = Tasa de fotosíntesis neta ($\mu\text{mol de CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)

P_{max} = Tasa máxima de fotosíntesis total ($\mu\text{mol de CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)

$\Phi_{(10)}$ = Rendimiento cuántico en $I = 0$ ($\mu\text{mol de CO}_2 / \mu\text{mol de fotones}$)

I = Densidad de flujo fotónico fotosintético ($\mu\text{mol de fotones} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)

R_D = Tasa de respiración en oscuridad ($\mu\text{mol de CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)

Resultados y discusión

Para plantas provenientes de bosque de ciprés, Pmax es mayor en plantas cultivadas bajo RS+ respecto a las cultivadas bajo RS-. Lo mismo sucede para estacas provenientes de bosque de coihue, para cada uno de los meses de medición (Tabla 1). Esta diferencia en los valores de Pmax podría estar relacionada a características estructurales y anatómicas de las hojas (Damascos, 1998). Las plantas típicamente de sol poseen hojas con mayores niveles de proteínas fotosintéticas como la enzima RUBISCO (Larcher, 2001), además de menor cantidad de complejo antena y clorofila total (por unidad de peso), lo cual les permite llegar a tasas fotosinté-

1 Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Bariloche (IFAB, INTA -CONICET). Contacto: eeabariloche@inta.gov.ar.

2 Instituto de Biología Agrícola de Mendoza (IBAM, CONICET- UNCuyo). Contacto: ibam@mendoza-conicet.gov.ar.

ticas a saturación lumínica mayores.

Tanto para noviembre como para enero, para el nivel RS+, P_{max} difiere para las plantas provenientes de distintos tipos de bosque, siendo mayor en plantas provenientes de bosque de coihue respecto a aquellas provenientes de bosque de ciprés (Tabla 1). Sin embargo, se esperaba un resultado contrario, con mayores valores de P_{max} para plantas provenientes de bosque de ciprés, respecto a aquellos que provienen de bosque de coihue, tal como se observó en los siguientes meses de medición bajo tratamiento RS+ (Tabla 1). Las plantas que provienen de ambientes sombreados contienen mayor cantidad de complejos antena y clorofilas (por unidad de peso), para poder captar la poca radiación solar incidente y aumentar la eficiencia fotosintética (Niinemets, 1998). Como consecuencia, estas plantas tienen menor irradiancia de saturación, es decir, saturan todos sus complejos antena con menores intensidades de radiación lumínica, por lo cual se esperaba que, bajo RS+, siguieran mostrando valores de P_{max} menores que los clones provenientes de ambientes soleados. Sin embargo, los clones de maqui provenientes de bosque de coihue, podrían estar manteniendo esa capacidad fotosintética en sus hojas, sin sufrir fotoinhibición debida a la alta radiación lumínica del tratamiento RS+. La fotoinhibición es un mecanismo de protección que pre-

viene el daño oxidativo del aparato fotosintético (Taiz y Zeiger, 2010), y se produce cuando las clorofilas de los fotosistemas absorben más energía lumínica de la necesaria para la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2010). Sin embargo, la radiación solar puede estimular la síntesis de compuestos bioactivos en hojas como una respuesta de defensa, entre ellos los polifenoles, tal como reportó González-Villagra et al., (2018), para el maqui.

El tratamiento RS- no produjo diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en la P_{max} en clones obtenidos de distintos BP (Tabla 1), para enero, febrero y marzo, pero sí en noviembre, donde la P_{max} es mayor en clones provenientes de bosque de coihue. Estos resultados indican un efecto de la radiación solar sólo a niveles altos. Según Lusk (2002), el maqui es una especie heliófila, demandante de luz solar, describiéndose escaso crecimiento en ambientes sombríos, para el vecino país de Chile. Sin embargo, en Argentina se lo encuentra formando bosquetes tanto en ambientes con plena incidencia de la radiación solar, como en ambientes donde la misma es escasa (Roldán et al., 2021).

La respiración solo difiere significativamente en noviembre y enero para el tratamiento RS-, en donde los clones que provienen de bosque de ciprés poseen mayores valores que aquellos provenientes de bosque de coihue (Tabla 1); esto, sumado a los menores niveles de

Tabla 1. Parámetros del modelo de Webb para fotosíntesis neta vs PAR, para cada combinación de factores y cada mes de medición. BP: Bosque de Procedencia; RS: Radiación solar; P_{max}: Fotosíntesis Máxima; Φ: Rendimiento Cuántico; RD: Respiración

	BP	Coihue	Ciprés	Coihue	Ciprés
	RS	RS-	RS-	RS+	RS+
Noviembre 2021	R ²	0,9211	0,9676	0,8537	0,9002
	P _{max}	11,41 ± 1,4 bc	9,594 ± 0,8 d	18,13 ± 1,4 a	13,09 ± 1,1 b
	Φ	0,04269 ± 0,02 a	0,05632 ± 0,01 a	0,0592 ± 0,04 a	0,05885 ± 0,03 a
	R _D	0,965 ± 0,1 c	1,805 ± 0,7 b	2,455 ± 0,1 a	2,178 ± 0,7 a
Enero 2022	R ²	0,8502	0,8112	0,8793	0,8961
	P _{max}	12,08 ± 1,7 c	10,42 ± 1,6 c	16,45 ± 1,2 a	13,02 ± 1,6 b
	Φ	0,03562 ± 0,01 b	0,08398 ± 0,05 a	0,03795 ± 0,02 b	0,03808 ± 0,01 b
	R _D	0,3239 ± 0,09 b	1,084 ± 0,05 a	1,416 ± 0,5 a	1,208 ± 0,4 a
Febrero 2022	R ²	0,7863	0,8525	0,953	0,9981
	P _{max}	7,352 ± 1,5 c	5,873 ± 1,1 c	17,74 ± 1,5 b	22,54 ± 0,6 a
	Φ	0,06484 ± 0,01 a	0,0553 ± 0,01 a	0,04978 ± 0,01 a	0,05397 ± 0,01 a
	R _D	0,6591 ± 0,07 b	0,24 ± 0,01 b	0,8643 ± 0,1 a	1,181 ± 0,4 a
Marzo 2022	R ²	0,4855	0,8651	0,8873	0,9321
	P _{max}	4,69 ± 1,1 c	6,791 ± 0,8 c	10,87 ± 1,2 b	13,21 ± 0,8 a
	Φ	0,05258 ± 0,01 a	0,0611 ± 0,01 a	0,03693 ± 0,01 b	0,03079 ± 0,01 b
	R _D	0,08171 ± 0,01 b	0,0827 ± 0,01 b	0,2846 ± 0,01 a	0,2491 ± 0,01 a

P_{max}, significa que estos clones creciendo en ambientes sombríos son menos eficientes que aquellos provenientes de bosque de coihue, que ya están aclimatados a bajos niveles de radiación lumínica.

Al avanzar la temporada, los valores tanto de P_{max} como de RD no se diferencian significativamente entre ambos grupos de clones creciendo en RS-, por lo que también se demuestra una aclimatación de los clones típicamente de sol, a condiciones de baja radiación lumínica, con mayor eficiencia fotosintética. Por otro lado, en general todos los valores de P_{max} disminuyen al avanzar la temporada, en concordancia con el proceso fenológico. La radiación lumínica afecta características relacionadas al proceso fotosintético de las plantas de maqui, lo cual se verá reflejado en los niveles de crecimiento y, en última instancia, de productividad, como fue descrito por Moya et al. (2019). La aclimatación de ambos grupos de clones fue gradual a lo largo de la temporada; incluso al inicio de la misma las plantas poseían algunas características típicas de su ambiente de origen, luego de 3 años de cultivo bajo condiciones establecidas de RS.

Conclusión

El maqui es una especie que tiene la capacidad de aclimatarse a distintos ambientes lumínicos, independientemente de las características del sitio de procedencia de las estacas. Los clones provenientes de ambientes sombreados pudieron equiparar e incluso superar los valores de capacidad fotosintética de los clones provenientes de ambientes soleados, creciendo a pleno sol, indicando un ajuste morfofisiológico que tendrá, en última instancia, consecuencias positivas en cuanto a la asimilación de carbono. Siendo que los clones provenientes de bosque de coihue han demostrado producción de frutos con mayores valores de actividad antioxidante que aquellos provenientes de bosque de ciprés, quedará evaluar en un futuro, la producción de bayas de estos clones creciendo a pleno sol, y determinar la relación con la actividad fotosintética.

Bibliografía

Céspedes, C.L., El-Hafidi, M., Pavón, N., Alarcón, J. (2008). Antioxidant and cardioprotective activities of phenolic extracts from fruits of Chilean blackberry *Aristotelia chilensis* (Elaeocarpaceae), Maqui. *Food Chem.* 107, 820–829.

Damascos, M.A. (1998). Morfología de las plantas de los claros y áreas sombreadas del bosque de *Austrocedrus chilensis*, Argentina. *Ecología Austral*: 8:13-22

Fredes, C., Montenegro, G., Zoffoli, J.P., Gómez, M., Robert, P. (2012). Polyphenol content and antioxidant activity of maqui (*Aristotelia chilensis* Molina Stuntz) during fruit development and maturation in Central Chile. *Chil. J. Agric. Res.* 72, 582–589.

González-Villagra J., Rodrigues-Salvador A., Nunes-Nesi A., Cohen J.D., Reyes-Díaz M.M. (2018). Age-related mechanism and its relationship with secondary metabolism and abscisic acid in *Aristotelia chilensis* plants subjected to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 124, 136–145.

Larcher, W. (2001) *Physiological Plant Ecology*. 4th Edition, Verlag, Berlin Heidelberg.

Lusk, C.H. (2002) Leaf area accumulation helps juvenile evergreen trees tolerate shade in a temperate rain-forest. *Oecologia* 132:188–196.

Moya, M., González, B., Doll, U., Yuri, J.A., Vogel, H. (2019). Different covers affect growth and development of three maqui clones (*Aristotelia chilensis* [Molina] Stuntz). *J. Berry Res.* 9 (3), 449–458.

Niinemets, U., Kull, O., Tenhunen, J.D. (1998). An analysis of light effects on foliar morphology, physiology, and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. *Tree Physiol.*;18(10):681-696.

Roldán C.S., Fontana A., Viale M., Caballé G., Berli F. (2021). *Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) morphological and phenolic traits associated with forest type and latitudinal gradient in natural populations of Patagonia Argentina *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 25, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100341>

Steconi, M., Quevedo, L., Magnin, A., Torres, C., Ledik, K., Svriz, M., Grosfeld, J. (2017). Desarrollo de especies leñosas nativas y exóticas en cipresales patagónicas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52, 507–522.

Taiz, L. y Zeiger, E. (2010) *Plant Physiology*. 5th Edition, Sinauer Associates Inc., Sunderland, 782 p.

Vogel, H., Peñailillo, P., Doll, U., Contreras, G., Catenacci, G., González, B. (2014). Maqui (*Aristotelia chilensis*): morpho-phenological characterization to design high- yielding cultivation techniques. *J. Appl. Res. Med. Arom. Plants* 1, 123–133.

Webb, W.L., Newton, M., Starr, D. (1974) Carbon dioxide exchange of *Alnus rubra*: a mathematical model. - *Oecologia*, 17: 281-291.

Zar, J.H. (1999). *Biostatistical Analysis*. 4th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River.