

## Crecimiento diferencial de clones de maqui seleccionados en Argentina, según su cultivo bajo distintas condiciones de radiación solar y riego

Differential growth of selected maqui clones in Argentina, according to their cultivation under different conditions of solar radiation and irrigation

Cecilia Soledad Roldán <sup>a\*</sup>, Verónica El Mujtar <sup>b</sup>, Gonzalo Caballé <sup>c</sup>,  
Ariel Mazzoni <sup>b</sup>, Federico Berli <sup>c</sup>, Paula Marchelli <sup>b</sup>

\*Autor de correspondencia: <sup>a</sup> Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Bariloche, INTA – CONICET, Bariloche, Argentina, tel.: 54 02944422731, roldan.cecilia@inta.gob.ar

<sup>b</sup> INTA, Estación Experimental Agropecuaria Bariloche, Bariloche, Argentina.

<sup>c</sup> Universidad Nacional de Cuyo, CONICET, Instituto de Biología Agrícola de Mendoza, Mendoza, Argentina.

### ABSTRACT

Maqui (*Aristotelia chilensis*) has become an important health food as one of the berries with the highest known levels of antioxidant capacity, and its international demand has therefore increased. There is currently no cultivation of this species in Argentina, so all that is marketed comes from wild harvesting, with an inherent risk of resource degradation. Therefore, a process of domestication of this species has been initiated. Fifteen female and three male individuals (pollinators) were selected from previously identified natural populations of maqui from two forest types, coihue- or cypress-dominated. Those individuals were propagated vegetatively and the plants grown were installed in a cultivation plot under controlled conditions of solar radiation and water supply. Total height and diameter of main axes were measured in female clones during three consecutive seasons. Growth was modulated by the contrasting levels of solar radiation assayed, but not by the different levels of water supply. Clones growing under direct sunlight grew taller than those under shade net. Growth in height was higher in the second season, while in the third season the clones grew less in height but more in the sectional area of stems. No flowering or fruiting was observed in any clone or season. Maqui demonstrated the ability to acclimatise to culture conditions. This work constitutes the first study of selected maqui clones in the Andean-Patagonian forests of Argentina, with the aim of developing a productive alternative for farmers in the region.

*Keywords:* solar radiation, water deficit, domestication.

### RESUMEN

El maqui (*Aristotelia chilensis*) ha cobrado gran importancia por ser uno de los berries con mayores niveles de capacidad antioxidante hasta ahora conocido y cuya demanda internacional se ha incrementado. Actualmente no existe cultivo de esta especie en Argentina; lo comercializado proviene de recolección silvestre, con riesgo de degradación del recurso. Por tanto, se inició un proceso de domesticación de esta especie. De poblaciones naturales de maqui previamente identificadas, se seleccionaron 15 individuos femeninos y 3 masculinos (polinizantes), provenientes de dos tipos de bosque: dominados por coihue o por ciprés. Estos individuos se propagaron vegetativamente y los plantines logrados se instalaron en una parcela de cultivo bajo condiciones controladas de radiación solar y provisión hídrica. Se midió altura total y diámetro de los ejes principales en clones femeninos, durante tres temporadas seguidas. El crecimiento fue afectado por los niveles de radiación solar, y no por los niveles de provisión hídrica. Los clones bajo radiación solar directa crecieron más en altura que aquellos bajo malla mediasombra. El crecimiento en altura de los clones fue mayor en la segunda temporada, mientras que, en la tercera, el crecimiento en altura fue menor, pero mayor el crecimiento en área seccional de tallos. No se observó floración ni fructificación en ningún clon ni temporada. El maqui demostró capacidad para aclimatarse a condiciones de cultivo. Este trabajo constituye el primer estudio de clones de maqui seleccionados en los bosques andino-patagónicos de Argentina, en vistas a desarrollar una alternativa productiva para el poblador rural de la región.

*Palabras clave:* radiación solar, déficit hídrico, domesticación.

### INTRODUCCIÓN

El maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stunz) es un arbusto o arbolito nativo de los bosques andinopatagó-

nicos de Argentina y Chile, cuyos frutos comestibles son considerados un producto forestal no maderero (Misle *et al.* 2011, Vogel *et al.* 2016). Crece bajo dosel, asociado a bosque de coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.) o

de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Serm. & Bizzarri), que constituyen dos ambientes contrastantes: húmedo con baja transmisividad del dosel arbóreo, y xérico con alta incidencia de la luz solar, respectivamente. Toda la planta posee múltiples propiedades medicinales, aprovechadas desde tiempos ancestrales por los pueblos originarios patagónicos (Chamorro *et al.* 2019, Ladio y Lozada 2009). Sin embargo, es el fruto el principal producto de interés, debido a su alto contenido en compuestos polifenólicos (Céspedes *et al.* 2010, Fredes y Robert 2014, Fredes *et al.* 2014), sobre todo antocianos, con gran capacidad antioxidante. Esto eleva la demanda por parte de mercados internacionales para el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos (Schreckinger *et al.* 2010).

El maqui es considerado una especie plástica (Misle *et al.* 2011), capaz de producir diferentes fenotipos en respuesta a las condiciones ambientales. Ajusta su morfología y fisiología para enfrentarse a la diversidad de su ambiente natural (Repetto-Giavelli *et al.* 2007), siendo descrito tanto como un arbusto ramificado o un árbol (Brauch 2016, Salgado *et al.* 2020). En las poblaciones naturales de Argentina, el maqui muestra dos fenotipos contrastantes dependiendo del tipo de ambiente en el cual se encuentra: en bosque de coihue crece de forma arbórea, mientras que en bosque de ciprés de la cordillera crece en forma arbustiva (Roldán *et al.* 2021).

En Chile, en estudios realizados sobre poblaciones naturales de maqui provenientes de ambientes con condiciones ambientales contrastantes, se han reportado diferencias en la producción de flores y frutos (Vogel *et al.* 2014), con mayores cargas frutales en bosque costero (68 %) respecto a plantas en bosque en la cordillera (54 %); ambos ambientes con condiciones contrastantes. En Argentina, los únicos antecedentes existentes sobre la capacidad productiva de las plantas de maqui en su ambiente natural constituyen estimaciones, reportando mayor número de bayas por racimo en plantas de maqui asociadas al bosque de coihue respecto a las asociadas al bosque de ciprés (Roldán *et al.* 2021).

En Chile, los trabajos de investigación sobre esta especie para su domesticación llevan alrededor de 20 años, logrando el registro de tres variedades comerciales: Luna Nueva, Perla Negra y Morena (Vogel *et al.* 2016). En Argentina, el estudio de esta especie es muy reciente y aún no existen cultivos establecidos. Por lo tanto, todo el volumen de fruta comercializado proviene de la recolección de plantas silvestres en el bosque natural, generando un impacto negativo sobre el recurso en particular, y sobre el ecosistema boscoso en general, aunque no existen estadísticas ni datos oficiales sobre la cantidad cosechada y comercializada. Para evitar este deterioro en el ecosistema natural y optimizar la producción comercial de fruta, se ha comenzado un programa de domesticación de la especie, en el marco del cual se ha iniciado la caracterización morfológica, fisiológica, bioquímica y genética de distintas poblaciones naturales (Roldán *et al.* 2021). Los primeros

resultados mostraron que las bayas de maqui de poblaciones argentinas tienen una alta capacidad antioxidante, con un valor promedio de ORAC de  $33.475 \pm 1.129 \mu\text{M TE} / 100 \text{ gr PS}$ , encontrándose individuos que llegan a valores de  $60.483 \mu\text{M TE} / 100 \text{ gr PS}$  (Roldán *et al.* 2021). Según Quispe-Fuentes *et al.* (2018), las bayas de maqui en Chile arrojaron un valor ORAC de  $78.900 \mu\text{M TE} / 100 \text{ gr PS}$ , lo cual es mayor que el encontrado en Argentina, para análisis realizados a partir de bayas enteras liofilizadas en ambas publicaciones. Sin embargo, mientras en el trabajo de Quispe-Fuentes *et al.* (2018) se utilizaron bayas provenientes de una sola locación, en Argentina se analizaron bayas de una extensa distribución geográfica en la que se muestrearon 25 poblaciones naturales. Por otro lado, se encontraron diferencias cuanti y cualitativas en el contenido de polifenoles entre poblaciones de maqui ubicadas en distintos tipos de ambiente en Argentina (Roldán *et al.* 2021). Esta variabilidad en los valores de capacidad antioxidante evidencia la potencialidad del cultivo del maqui de Argentina. Esta información fue utilizada para la selección de clones para el presente trabajo.

El maqui produce frutos en ramas de 1 y 2 años, con las yemas reproductivas a lo largo de la rama, mientras que las yemas apicales son generalmente vegetativas (Damascos y Prado 2001, Doll *et al.* 2016); con el paso de los años el lugar de producción de frutos en la rama se vuelve más distal. Las prácticas actuales de cosecha utilizadas en la recolección silvestre, en donde se corta toda la rama fructífera, van disminuyendo el rendimiento total de la planta en las sucesivas temporadas, al llevarse, con el corte, las yemas inducidas que producirán los frutos al año siguiente (Vogel *et al.* 2014).

Por otro lado, el maqui muestra una gran variabilidad fenotípica y comportamientos diferenciales entre clones (Vogel *et al.* 2014), que requieren diferentes prácticas de manejo (poda y sistemas de conducción) para optimizar la producción en cada una. Comúnmente existe una correlación negativa entre crecimiento vegetativo y productivo para árboles frutales, o sea que un mayor vigor de la planta va en detrimento de su productividad (Forshey y Elfving 1989, Casierra-Posada *et al.* 2007). Por lo tanto, un primer paso es identificar formas de crecimiento. Las grandes variaciones morfológicas de una especie son reflejo de la manera en la que utiliza los recursos disponibles, como, por ejemplo, la radiación solar y el agua (Lauri 2019). Además, dichas variaciones pueden estar relacionadas con aspectos productivos, tales como la asignación relativa de biomasa, la precocidad y la regularidad en la producción de flores y frutos, entre otros (Lauri 2019).

El objetivo de este trabajo es evaluar el crecimiento temprano de clones seleccionados, cultivados bajo condiciones definidas de provisión hídrica y radiación solar. Se hipotetiza que los clones cultivados bajo condiciones contrastantes con las que tenían en el bosque nativo, expresen características estructurales propias del nuevo ambiente de crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Material vegetal:** Se seleccionaron 15 genotipos femeninos provenientes de dos ambientes contrastantes: ocho de ellos en bosques de ciprés y los siete restantes en bosques de coihue, entre poblaciones naturales identificadas en las provincias argentinas de Neuquén, Río Negro y Chubut. Los clones se seleccionaron a partir de características bioquímicas de frutos, dado que no se encontraron diferencias genéticas con marcadores moleculares entre ni dentro de las poblaciones naturales (datos propios no publicados). Para dar posibilidad a la fructificación, se incluyeron en el ensayo tres clones masculinos seleccionados, uno por cada provincia de modo de asegurar la sincronización en la floración con los genotipos femeninos (estas plantas masculinas no fueron medidas ni evaluadas). La cosecha de estacas se realizó entre junio y agosto, antes del inicio de la actividad vegetativa. Se recolectaron estacas de la porción apical de las ramas, de 40 cm de largo y 5 - 10 mm de diámetro. Las estacas se transportaron en bolsas plásticas tipo Ziploc®, en heladera refrigerada, hasta su procesamiento en vivero.

**Multiplificación:** Se produjeron plantas por enraizamiento de estacas. En vivero, las estacas se recortaron a unos 20 - 25 cm de largo y se le quitaron las hojas para evitar desecación por transpiración excesiva. Se embebieron en solución de hormona AIB (ácido indolbutírico) 1.000 ppm y se colocó una estaca por celda en bandejas multiplicing, con sustrato de enraizamiento. El sustrato estaba formado por turba y ceniza volcánica en una proporción 1 en 2. Las bandejas se colocaron sobre mesada tipo cama

caliente a 15 °C, con riego por aspersión automatizado y en invernáculo sin calefacción, hasta formación del cepellón de raíces. Una vez logrado el tamaño esperado, los plantines se colocaron a la intemperie por 3 meses, bajo riego con aspersión, para su rustificación.

**Ensayo:** Se instaló en una parcela al aire libre de 15 m por 35 m en la Estación Experimental Agropecuaria Bariloche del INTA (41° 7' 22" S, 71° 14' 59" O - altitud: 793 m s.n.m.), con condiciones controladas de disponibilidad hídrica y radiación solar. Sobre el terreno se construyeron 12 camellones distanciados 1 m entre sí, y se los cubrió con mulching plástico para evitar el crecimiento excesivo de malezas. En el cuadro 1 se muestran los datos climáticos de las tres temporadas de estudio.

**Tratamientos:** Se determinaron dos factores ambientales con dos niveles cada uno. Para el factor "Radiación Solar" (RS), se construyeron cinco carpas piramidales de 7 m por 6 m de base por 4 m de alto, con postes de madera y malla mediasombra suspendida sobre una estructura de alambres. La malla poseía una transmisividad del 20 %, para representar el ambiente lumínico del bosque de coihue (tratamiento: - RS). Se dejaron, a su vez, cinco parcelas sin cubrir (tratamiento: + RS). Los bordes de las mallas mediasombra se fueron levantando en altura progresivamente a lo largo de las tres temporadas para evitar interferencia en el crecimiento de las plantas. Para el factor "Provisión Hídrica" (PH), se utilizó goteo automatizado, con una línea de riego por camellón y un gotero por cada planta. Se establecieron dos niveles: riego a capacidad de campo, con dos riegos diarios de 30 minutos cada uno (tratamiento: + PH), y restricción hídrica, con dos riegos semanales de 30

**Cuadro 1.** Datos climáticos tomados para las tres temporadas de mediciones. PP: Precipitación acumulada mensual (mm); T°med: Temperatura media mensual (°C); T°máx: Temperatura máxima absoluta mensual (°C); T°mín: Temperatura mínima absoluta mensual (°C); DH: Cantidad de días por mes con temperaturas menores a 0 °C. Fuente: Sistema Meteorológico Nacional (SMN).

Climatic data for the three measurement seasons. PP: Monthly accumulated precipitation (mm); T°med: Monthly mean temperature (°C); T°max: Monthly absolute maximum temperature (°C); T°min: Monthly absolute minimum temperature (°C); DH: Number of days per month with temperatures below 0 °C. Source: National Meteorological System (SMN).

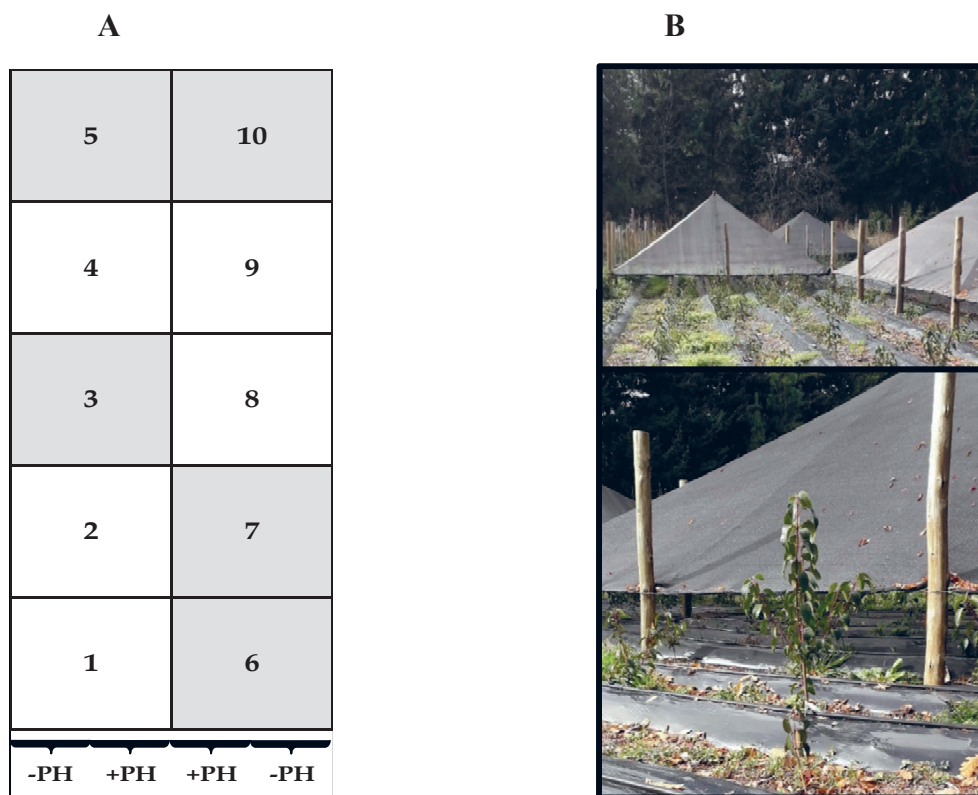
	Temporada 1					Temporada 2					Temporada 3				
	2019-2020					2020-2021					2021-2022				
	PP	T°med	T° máx	T° mín	DH	PP	T° med	T° máx	T° mín	DH	PP	T° med	T° máx	T° mín	DH
Sep	21,6	5,2	23	-9	15	58,5	5,2	20,9	-6,2	15	30,8	6	22,4	-5,9	14
Oct	312	7,3	24,4	-7	10	280,1	8,6	27,1	-3,6	8	164	8,9	26,4	-7,5	10
Nv	299,7	11,4	26,4	-1	1	299,9	12,5	29,3	-1,8	3	186	12,3	26	-3,8	2
Dic	47,5	13,9	29,6	-1,1	1	34,4	13,5	30	0,1	0	30,5	16,3	34,4	-1,1	1
En	58,5	16,3	33,1	-0,8	1	30,8	15,5	33,2	-2,2	2	137	15,8	30,8	-2	1
Feb	280,1	14,6	32	0,8	0	163,7	17,3	34,4	-0,9	1	388	15,4	30,5	0,1	0
Ma	299,9	13,8	32,4	-2,6	1	186	14	31,5	0,9	0	415	10,9	26,7	-3,3	3
Ab	34,4	8,9	24,5	-5	10	30,5	10,2	24	-2,2	6	46,9	7,3	21,4	-5,9	10

minutos cada uno (tratamiento: - PH). El caudal de los goteros fue de 4 L h<sup>-1</sup>. El contenido de humedad del suelo se controló semana a semana con un sensor TDR (TEROS-12 40933-s, Meter Group, EE.UU.), verificando la constancia del nivel de humedad a lo largo del tiempo. El tratamiento + PH implicó un 30 – 35 % de humedad de suelo, mientras que el tratamiento - PH, un 12 – 15 %, valores que se mantuvieron prácticamente constantes a lo largo de todo el tiempo de mediciones. En la figura 1 A se puede observar un esquema del ensayo y disposición de las estructuras que determinan los tratamientos. En la figura 1B se puede observar una imagen del ensayo recién instalado.

Además de los dos factores ambientales, se consideraron dos factores “genéticos”: 1) el origen de los plantines según el tipo de bosque en el que crecían las plantas madres de donde se obtuvieron las estacas, que tuvo dos niveles: bosque de coihue y bosque de ciprés, y 2) el genotipo seleccionado, que dio lugar a 15 niveles, que son los 15 clones seleccionados. El primero de estos factores alude a un posible efecto de adaptación a las condiciones del tipo de bosque del que provienen, y es en ese sentido que se lo considera también un factor genético.

Los plantines terminados se trasplantaron sobre los camellones, a una distancia entre plantas de 0,5 m. En cada combinación de tratamientos ambientales (cuatro combinaciones) se colocó un individuo por cada clon, haciendo un total de 300 plantas femeninas y 60 masculinas. Al momento de la plantación, los plantines tenían 21,3 cm de alto en promedio. La densidad final de plantación fue de 0,68 plantas m<sup>-2</sup>. En cada combinación de los factores PH y RS, la distribución de los genotipos femeninos fue aleatoria. Los clones masculinos se colocaron en el comienzo de cada fila en cada combinación PH \* RS.

Variables medidas: solamente se tomaron sobre los clones femeninos. Se midió altura total de la planta, se contó el número de tallos principales de cada individuo (Nt) y se midió el diámetro de cada tallo principal a la altura del cuello de la planta; con este último dato se calculó la sumatoria del área seccional de todos los tallos de cada planta (AST), asumiendo una sección circular de los tallos. Las mediciones se realizaron al inicio (septiembre) y al final (marzo) del periodo de crecimiento vegetativo, durante tres temporadas seguidas: 2019 - 2020, 2020 - 2021 y 2021 - 2022. Los resultados se expresaron como la diferencia entre los valores



**Figura 1.** Diseño del ensayo de clones. A: Esquema de las parcelas, donde se detallan los niveles de los factores. Las líneas de riego tienen el nivel - PH o + PH. Las parcelas en blanco indican el nivel + RS (sin cubierta) y las parcelas en gris indican el nivel - RS (cubierta con malla). B: Ensayo recién instalado, donde pueden observarse las estructuras de sombreado y el detalle de una planta recién implantada.

Clone trial design. A: Diagram of the plots, and detail of the factor levels. Irrigation levels are indicated by - PH or + PH. Plots in white indicate the + RS level (no canopy) and plots in grey indicate the - RS level (canopy with netting). B: Recently installed trial, with the shading structures and the detail of a newly planted sapling.



al final y al inicio de cada temporada para cada variable. Al final de la tercera temporada de crecimiento, se registró el porcentaje de supervivencia de las plantas femeninas.

Diseño estadístico y análisis: El diseño del ensayo fue de tipo factorial con cuatro combinaciones de factores ambientales (+ PH / + RS, - PH / + RS, + PH / - RS y - PH / - RS) en cinco bloques completos aleatorizados. Los datos se analizaron para cada temporada por separado. La supervivencia de las plantas, al ser una variable categórica, se analizó según pruebas no paramétricas: test de chi-cuadrado

$$Variable_{ijklm} = \mu + PH_i + RS_j + PH_i * RS_j + Bosque_k + Genotipo_j(Bosque_k) + Bloque_m + \epsilon_{ijklm}$$

donde  $\mu$  es la media general del ensayo,  $PH_i$  es el efecto (fijo) de la provisión hídrica,  $RS_j$  es el efecto (fijo) de la radiación solar,  $PH_i \times RS_j$  es la interacción de los dos factores anteriores,  $Bosque_k$  es el efecto (fijo) del tipo de bosque,  $Genotipo_j(Bosque_k)$  es el efecto (fijo) del clon anidado en el bosque,  $Bloque_m$  es el efecto (aleatorio) del bloque y  $\epsilon_{ijklm}$  es el error aleatorio, con distribución normal, media 0 y varianza  $\sigma^2$ . Las diferencias entre tratamientos se evaluaron según Análisis de Varianza (ANOVA), con una significancia del 0,05.

## RESULTADOS

Del total de 300 individuos femeninos plantados en el ensayo, hacia el final de la tercera temporada sobrevivieron 233 (77,66 %). La supervivencia de las plantas estuvo asociada a los tratamientos RS y PH ( $X^2 = 26,603$ ;  $P = 7,129 \times 10^{-6}$ , Test de independencia de Pearson), con lo cual hay evidencia suficiente para afirmar que la supervivencia de las plantas varía según las condiciones de cultivo. Las diferencias significativas fueron aquellas correspondientes a las combinaciones + PH / - RS y - PH / + RS, con el mayor y el menor porcentaje de supervivencia, respectivamente (cuadro 2). No hubo efecto del genotipo en la supervivencia de las plantas ( $P = 0,997$ ).

**Cuadro 2.** Supervivencia de las plantas de clones femeninos de maqui al finalizar la temporada 2021-2022, según combinaciones de los factores. PH: Provisión Hídrica; RS: Radiación Solar. Letras minúsculas distintas indican valores significativamente diferentes para cada tratamiento según test de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Plant survival of female maqui clones at the end of the 2021-2022 season, depending on different combinations of factors. PH: Water Supply; RS: Solar Radiation. Different lowercase letters indicate significantly different values for each treatment according to Tukey's test ( $P < 0.05$ ).

Provisión Hídrica	Radiación Solar	Supervivencia (%)
- PH	+ RS	61,3 a
- PH	- RS	77,3 ab
+ PH	+ RS	80,0 ab
+ PH	- RS	92,0 b

de Pearson y las diferencias se analizaron según Test de Tukey, con una significancia del 0,05. Para las variables cuantitativas, se corroboraron los supuestos de normalidad mediante test de Shapiro, y de homogeneidad de varianzas mediante Test de Levene. Luego se analizaron a través de modelos lineales mixtos. En el modelo propuesto, los factores fijos fueron: radiación solar, provisión hídrica, bosque de procedencia y genotipo anidado dentro del bosque de procedencia, y el factor aleatorio fue el bloque. El modelo simbólico correspondiente fue:

En la primera temporada las plantas crecieron en promedio  $12,9 \pm 0,9$  cm en altura y  $2,94 \pm 0,1$  mm en diámetro del eje principal. En la segunda temporada, el crecimiento promedio fue de  $52,49 \pm 1,9$  cm en altura total y  $4,75$  mm<sup>2</sup> de área seccional total de troncos (AST), mientras que en la tercera temporada fue de  $41,11 \pm 1,9$  cm y  $10,1 \pm 1,7$  mm<sup>2</sup>, respectivamente.

No se verificó interacción entre los factores ambientales (PH \* RS) en ninguna de las tres temporadas para las variables altura y AST (cuadro 3). En la primera temporada el factor PH no fue significativo ni para el crecimiento en altura ni en diámetro, pero sí resultó significativa la radiación solar para ambas variables (cuadro 3). El tipo de bosque del cual provenían los clones influyó en el crecimiento en altura de las plantas, siendo significativamente mayor para las plantas provenientes de bosque de ciprés respecto de las provenientes de bosque de coihue (cuadro 3).

El factor RS resultó significativo para las variables altura y AST, tanto para la segunda como para la tercera temporada (cuadro 3). A su vez, el bosque de procedencia de los clones es un factor que influyó significativamente en el crecimiento en altura de las plantas, siendo mayor para plantas que provenían de bosque de coihue para ambas temporadas, 2 y 3 (cuadro 3).

En cuanto al número de tallos por planta, el 77 % de las plantas tuvieron 1 tallo por individuo al finalizar la primera temporada, mientras que el 16 % de las plantas tuvieron 2 tallos por individuo. El resto logró 3 tallos por planta, mientras que solamente 1 individuo mostró 4 ejes al finalizar la primera temporada de mediciones. Sin embargo, no hubo diferencias en la cantidad de ejes por planta respecto a los factores RS, PH, BP ni PH \* RS (cuadro 3). En la segunda temporada aumentó el porcentaje de plantas con dos o más ejes (49 %) pero siguió sin haber diferencias significativas entre niveles de PH (la interacción PH \* RS tampoco fue significativa), aunque sí entre los dos niveles de RS (cuadro 3). Para el nivel + RS, las plantas de maqui tuvieron un mayor número de tallos (1,69) respecto del nivel - RS (1,21) (cuadro 3). Este resultado se repite en la tercera temporada (cuadro 3), con un número de tallos por planta significativamente mayor en plantas bajo tratamiento + RS (5,39), respecto de aquellas bajo tratamiento - RS (2,28).

Al discriminar el análisis según los genotipos, se observa que este factor es significativo para el crecimiento en altura en la primera y la segunda temporada, para el AST en la segunda temporada y para el Nt solo en la tercera temporada (cuadro 4).

Todos los clones crecieron más en altura en la segunda temporada respecto de la tercera, excepto el P16-8, el cual mostró mayor crecimiento en la tercera temporada ( $46,2 \pm 9,7$  cm), respecto de la segunda ( $25,2 \pm 7,8$  cm). En la segunda temporada, todos los clones tuvieron mayor crecimiento en altura en condiciones de + RS, excepto P16-8, P2-7 y P22-17

(figura 2). En la tercera temporada, los clones que tuvieron mayor crecimiento en altura bajo condiciones de - RS respecto de + RS fueron P13-1, P22-17, P22-4 y P22-A (figura 2).

En la segunda temporada, el clon que más creció en altura fue el P3-A, con  $79,8 \pm 9,7$  cm y en condición + RS, mientras que en la tercera su crecimiento no fue significativo, sino que el clon que más crecimiento tuvo en altura fue P18-18, con  $71,1 \pm 9,7$  cm, bajo condición + RS, diferenciándose significativamente del resto de los clones. En la tercera temporada, el clon que menos crecimiento en altura ( $11,2 \pm 8,9$  cm) tuvo fue P23-4, bajo condición - RS.

**Cuadro 3.** Media general (y error estándar) del crecimiento en altura, en área seccional total (AST) y número de tallos (Nt), de clones de maqui femeninos, según los factores radiación solar (RS), provisión hídrica (PH) y bosque de procedencia (BP) para las tres primeras temporadas del ensayo. Se consignan los valores de probabilidad de significancia de los tratamientos según los tests ANOVA.

Overall mean (and standard error) of height growth, total sectional area (AST) and number of stems (Nt) of female maqui clones, depending on factors of solar radiation (RS), water supply (PH) and forest of provenance (BP) for the first three seasons of the trial. Significance probability values of the treatments according to ANOVA tests are reported.

	Temporada 1			Temporada 2			Temporada 3		
	Altura (cm)	AST (cm <sup>2</sup> )	Nt	Altura (cm)	AST (cm <sup>2</sup> )	Nt	Altura (cm)	AST (cm <sup>2</sup> )	Nt
<i>RS * PH</i>									
ANOVA	$P = 0,411$	$P = 0,673$	$P = 0,914$	$P = 0,699$	$P = 0,126$	$P = 0,367$	$P = 0,223$	$P = 0,471$	$P = 0,122$
<i>RS</i>									
+ RS	$20,6 \pm 1,8$	$0,53 \pm 0,04$	1,08	$60,9 \pm 4,8$	$7,04 \pm 0,8$	1,66	$45,2 \pm 5,2$	$15,87 \pm 3,1$	5,39
- RS	$9,3 \pm 1,9$	$0,12 \pm 0,04$	1,22	$44,4 \pm 4,7$	$2,81 \pm 0,8$	1,16	$34,3 \pm 5,1$	$4,15 \pm 2,9$	2,28
ANOVA	$P < 0,001^{**}$	$P < 0,001^{**}$	$P = 0,279$	$P < 0,001^{**}$	$P < 0,001^{**}$	$P = 0,001^{**}$	$P < 0,001^{**}$	$P < 0,001^{**}$	$P < 0,0001^{***}$
<i>PH</i>									
+ PH	$15,2 \pm 1,8$	$0,30 \pm 0,04$	1,48	$55,6 \pm 4,7$	$4,21 \pm 0,8$	1,48	$38,3 \pm 5,3$	$10,61 \pm 2,9$	3,56
- PH	$13,7 \pm 0,8$	$0,34 \pm 0,04$	1,16	$49,6 \pm 4,8$	$5,61 \pm 0,7$	1,36	$41,5 \pm 7,1$	$9,41 \pm 3,1$	3,45
ANOVA	$P = 0,384$	$P = 0,667$	$P = 0,900$	$P = 0,114$	$P = 0,010^*$	$P = 0,259$	$P = 0,305$	$P = 0,692$	$P = 0,305$
<i>BP</i>									
Coihue	$11,8 \pm 2,2$	$0,32 \pm 0,04$	1,23	$59,5 \pm 4,8$	$5,29 \pm 0,8$	1,47	$43,8 \pm 7,11$	$12,18 \pm 3,1$	3,94
Ciprés	$17,1 \pm 2,1$	$0,33 \pm 0,03$	1,07	$45,5 \pm 4,7$	$4,59 \pm 7$	1,31	$35,7 \pm 7,2$	$7,84 \pm 2,9$	3,12
ANOVA	$P = 0,027^*$	$P = 0,915$	$P = 0,211$	$P < 0,001^{**}$	$P = 0,215$	$P = 0,233$	$P = 0,03^*$	$P = 0,118$	$P = 0,007^{**}$

**Cuadro 4.** Valores de probabilidad de significancia del factor Genotipo, para las variables crecimiento en altura, en área seccional total (AST) y número de tallos (Nt), para las tres temporadas, según test ANOVA.

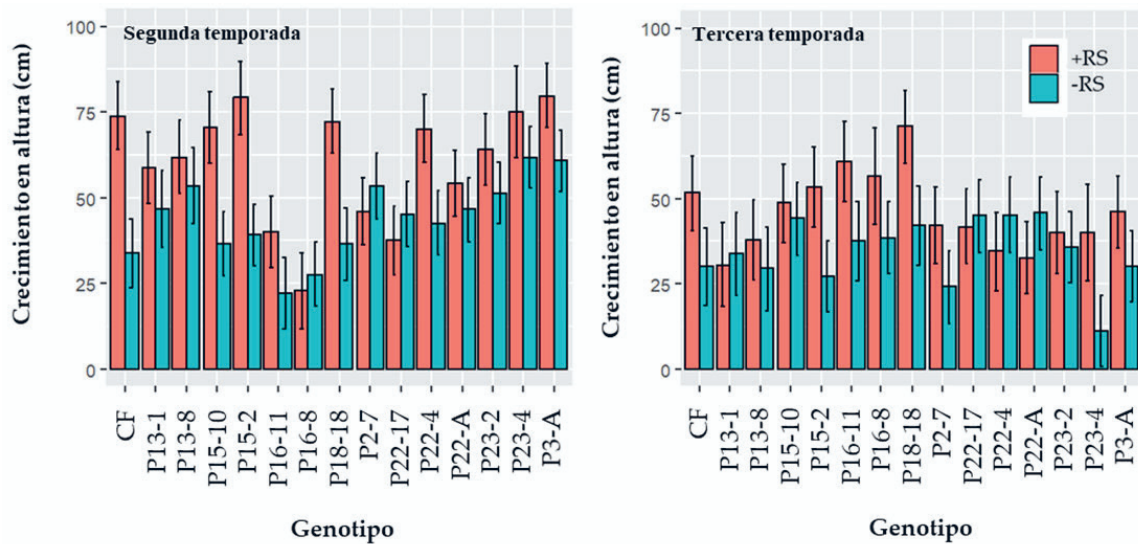
Significance probability values of the factor "Genotype", for the variables height growth, total sectional area (AST) and number of stems (Nt) for the three seasons, according to ANOVA test.

	Temporada 1			Temporada 2			Temporada 3		
	Altura (cm)	AST (cm <sup>2</sup> )	Nt	Altura (cm)	AST (cm <sup>2</sup> )	Nt	Altura (cm)	AST (cm <sup>2</sup> )	Nt
<i>Genotipo</i>									
ANOVA	$P < 0,0001^{***}$	$P = 0,056$	$P = 0,990$	$P = 0,020^{**}$	$P = 0,001^{**}$	$P = 0,520$	$P = 0,176$	$P = 0,080$	$P < 0,0001^{***}$

Todos los clones bajo condición + RS tuvieron mayor crecimiento en AST, y esto se agudiza en la tercera temporada (figura 3). Algunos clones (*i.e.* P13-1, P13-8 y P15-10), no mostraron crecimiento en AST bajo - RS, en la tercera temporada. El Clon P3-A se distinguió del resto en la tercera temporada bajo condición + RS, por tener el mayor aumento en AST ( $42,11 \pm 6,7 \text{ cm}^2$ ). Incluso bajo condición - RS, fue el clon que más aumento tuvo en AST, siendo de  $27,54 \pm 6,6 \text{ cm}^2$  (figura 3).

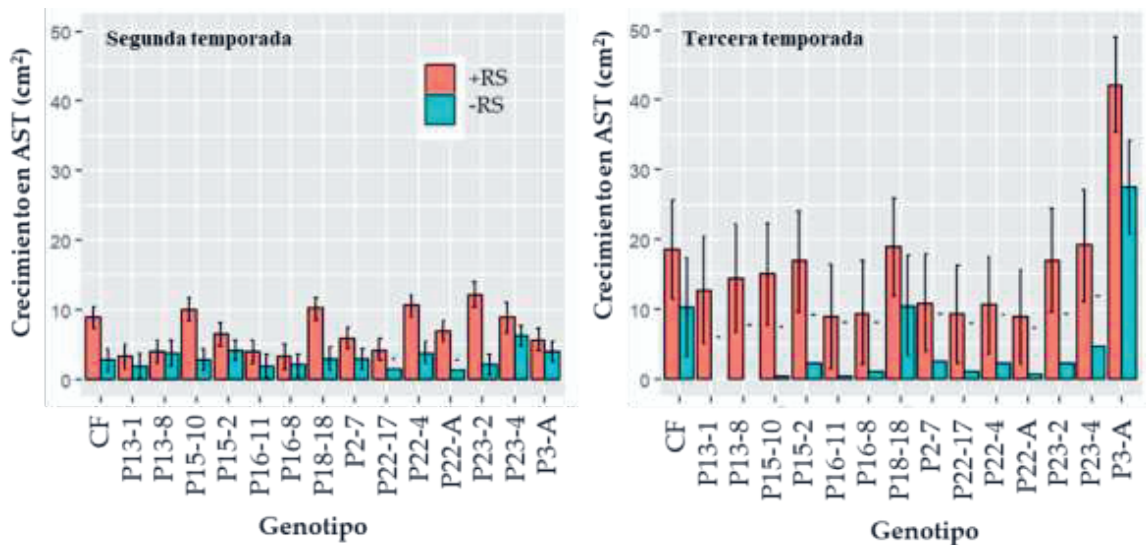
Si bien en la segunda temporada no hubo diferencias significativas entre genotipos para el número de tallos, al-

gunos clones mostraron ramificación basal, como el P23-4 que tuvo valores promedio de Nt de 2,6 y 2,1 para las condiciones + RS y - RS, respectivamente. En la tercera temporada, en cambio, se observó mayor cantidad de tallos por planta para todos los genotipos. Los genotipos CF, P23-4 y P15-10 fueron los que alcanzaron los mayores valores promedio de Nt (8,1; 8,0; 7,3; respectivamente), bajo condiciones de + RS. Sin embargo, el individuo con más cantidad de tallos principales pertenecía al clon P16-8, en el cual se observaron 27 tallos, también bajo condiciones de + RS. En el otro extremo, el genotipo P16-11 no produjo



**Figura 2.** Crecimiento en altura (cm) para los clones femeninos según los dos niveles del factor “radiación solar”.

Height growth (cm) for female clones according to the two levels of “solar radiation”.



**Figura 3.** Crecimiento en área seccional total (cm<sup>2</sup>) para los clones femeninos según los dos niveles del factor “radiación solar”.

Growth in total sectional area (cm<sup>2</sup>) for female clones according to the two levels of «solar radiation».

ramificaciones basales en casi ningún individuo en las distintas condiciones de RS, arrojando valores promedio de Nt de 1,10 en - RS y 1,91 en + RS. Ninguna planta, independientemente de los tratamientos, produjo flores ni frutos.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo analizamos el crecimiento en las tres primeras temporadas de implantación de una serie de clones femeninos selectos de maqui obtenidos por propagación vegetativa. Solamente se consideraron los clones femeninos porque son los que van a ser objeto de selección, al menos en estas primeras etapas del proceso de domesticación.

Si bien la disponibilidad de agua no fue un factor influyente en el crecimiento de las plantas ni en altura ni en diámetro, en ninguna de las tres temporadas, sí influyó en su supervivencia. El grupo de plantas que sobrevivió en menor proporción fue aquel sometido a condiciones de alta radiación solar en combinación con escasez hídrica, las cuales simulan el ambiente de bosque de ciprés y generaron condiciones de estrés abiótico que provocaron la muerte de plantas independientemente de su genotipo. Las plantas tienen diversas estrategias para afrontar el déficit hídrico (Valladares *et al.* 2004), que pueden implicar cambios físicos o químicos para prevenir o soportar el estrés. Estas respuestas dependen del grado del factor ambiental en cuestión, y son reversibles hasta cierto punto límite de resistencia, pasado el cual la planta podría sufrir un daño permanente y tener la supervivencia comprometida (Valladares *et al.* 2004). Estos mecanismos de tolerancia o resistencia dependen de las especies y variedades. Sin embargo, en maqui no se ha encontrado variación entre clones en características relacionadas a la resistencia al déficit hídrico, como son la vulnerabilidad a la cavitación y la sensibilidad estomática (Yáñez *et al.* 2021).

La radiación solar es el factor que más influye en el crecimiento, tanto en altura y en área seccional total de tallos, como en número de tallos por planta. Se observaron notables diferencias morfológicas entre las plantas de maqui en ambos niveles de RS en cuanto a los tallos principales, tal como sucede en el bosque natural (Roldán *et al.* 2021). Un mayor nivel de RS simula las características del bosque de ciprés, en donde las plantas de maqui tienen crecimiento de tipo arbustivo, con múltiples tallos principales. En Chile, como no está registrado que el maqui crezca a la sombra, se ha descrito en general como un arbusto con numerosos tallos (Misle *et al.* 2011), aunque hay autores que lo describen como un árbol de hasta 10 m de altura (Zevallos y Matthei 1992). Por el contrario, el tratamiento - RS simuló la baja incidencia de la radiación solar que existe en el bosque de coihue, en donde las plantas crecen con una estructura de tipo arbóreo. Esta respuesta se evidenció en las temporadas 2 y 3. El maqui tiene capacidad para expresar distintos fenotipos en función del ambiente en el que crece, lo cual se ha comprobado con

otras características estructurales, como, por ejemplo, el área foliar específica (AFE). Un AFE mayor en las plantas en bosque de coihue, indica que la planta construye una mayor área foliar con una cantidad dada de biomasa foliar y estas características son típicas de especies adaptadas a ambientes sombríos para maximizar la captación de energía lumínica (Damascos y Prado 2001).

En su ambiente natural, el maqui puede encontrarse tanto en lugares húmedos como en sitios con escasez hídrica (Repetto-Giavelli *et al.* 2007, Vogel *et al.* 2005). Posiblemente el contenido hídrico del suelo, logrado con el tratamiento - PH (12 % - 15 %), no implicaría en general un estrés severo para la planta, sino que las plantas de maqui podrían estar haciendo algún ajuste fisiológico o morfológico, como reportó González-Villagra *et al.* (2018), para plantas de maqui sometidas a estrés hídrico, en donde se evidenció un aumento en la actividad metabólica de síntesis de compuestos antocianos en hojas. Los antocianos, al igual que otros compuestos del metabolismo secundario, poseen la capacidad de eliminar las ROS (del inglés; Reactive Oxygen Species, Especies Reactivas del Oxígeno) producidas por el estrés abiótico (Griesser *et al.* 2015). Si bien González-Villagra *et al.* (2018) sometieron a las plantas de maqui a condiciones de no irrigación, en nuestro ensayo ese efecto no fue buscado, pero sí experimentar un bajo nivel de irrigación, ya que el fin último es la selección de genotipos capaces de crecer y producir en condiciones de escasez de agua. Esto es importante teniendo en cuenta que el cultivo de maqui se planifica para la zona de ecotono estepa-bosque, donde existe escasez del recurso hídrico (Viale *et al.* 2019), más aún en la temporada de crecimiento activo de la especie. No existen estudios referidos a profundidad de raíces en plantas de maqui, ya sea en ambiente natural o en vivero, pero es sabido que las plantas vegetando en ambientes con escasez hídrica aumentan el crecimiento radicular con fines de exploración del suelo en búsqueda del recurso (Potters *et al.* 2007).

Los crecimientos diferenciales entre temporadas eran esperables. En la primera temporada, el bajo crecimiento en altura y diámetro fue debido a que las plantas estaban recién implantadas y necesitaban establecerse en el campo de cultivo y terminar de formar adecuadamente la masa radical. En la primera temporada la amplia mayoría de los clones no tuvieron ramificación basal ni crecimiento de tallos secundarios; el eje principal de crecimiento se correspondió con la estaca a partir de la cual se crearon las plantas por propagación, siendo pocos los individuos capaces de generar un segundo tallo por ramificación basal. A partir de la segunda temporada, comenzó a observarse mayor ramificación basal de las plantas, con crecimiento de brotes secundarios que pasaban a constituir nuevos ejes. El menor crecimiento en altura que tuvieron las plantas en la tercera temporada respecto a la segunda, fue compensado con un mayor crecimiento en el diámetro de los ejes, y a la vez de una mayor cantidad de ejes principales por planta. Esto podría estar relacionado incluso con las condi-



ciones climáticas, siendo que en la tercera temporada hubo mayor cantidad de días con heladas y temperatura absoluta mínima más baja durante el periodo en el que la especie comienza la brotación de su primera cohorte de hojas de la temporada (septiembre -octubre) (Damascos y Prado 2001). Si bien no hay registro de que el maqui sea sensible a las bajas temperaturas, en una parcela de cultivo, donde se modifica el microclima como en cualquier otro agroecosistema, las condiciones pueden ser más extremas que en el ecosistema natural de bosque, en donde las mismas pueden estar más moderadas. De hecho, se observaron brotes helados en las plantas de maqui analizadas en el presente trabajo. Por lo tanto, el daño por heladas fue un factor que podría haber causado la pérdida de dominancia apical, induciendo a las plantas de maqui a producir brotes nuevos. Esto concuerda con Kitzberger y Veblen (1999), quienes definieron al maqui como una especie rebrotante, y confirmado por Stecconi *et al.* (2017), que reportaron baja dominancia apical y gran capacidad de rebrote. A su vez, se ha observado pérdida y subsecuente rebrote de ejes, por lo cual hay un recambio permanente en algunos individuos. Esto explica la menor cantidad de ejes que poseen algunos clones entre una temporada y la siguiente.

En Chile se ha reportado a esta especie como intolerante a la sombra (Muñoz y González 2013), mientras que en Argentina observamos que crece en diversidad de ambientes, incluido el sotobosque sombrío de coihue (Roldán *et al.* 2021). Esto se condice con lo observado en el presente estudio, en donde las plantas de maqui fueron capaces de sobrevivir, crecer y ramificarse en condiciones de baja radiación solar, aunque este crecimiento haya sido menor que el que tuvieron en altos niveles de radiación solar.

Llama la atención que ningún clon haya producido flores ni frutos en ninguna de las tres temporadas evaluadas. A pesar de que no hay antecedentes sobre comienzo del período reproductivo, Valdebenito *et al.* (2013) indican producción frutal inicial en macales de 5 años de edad, aunque los mismos fueron originados naturalmente luego de un disturbio. En nuestro trabajo, sin embargo, esperábamos que las plantas entraran en producción en la tercera temporada, siendo que fueron originadas a partir de tejido adulto (estacas). Además, la radiación solar es un factor clave para la inducción floral (Taiz y Zeiger 2006, Yañez *et al.* 2009), por lo que esperábamos un adelanto en la entrada en producción en las plantas bajo radiación solar plena. En otros berries domesticados, como *Berberis* spp. (calafate) y *Rubus* spp. (frambueso), una mayor intensidad de luz solar sobre las canopías induce mayor floración y fructificación (Arena *et al.* 2013, López 2012). En plantas de maqui creciendo bajo malla mediasombra, Moya *et al.* (2019) reportaron nula o mínima floración y fructificación respecto a aquellas creciendo sin cubierta. Sin embargo, las plantas de maqui en bosque nativo en Argentina son capaces de producir frutos incluso bajo el dosel del bosque sombrío de coihue (Roldán *et al.* 2021). Por lo tanto, podríamos considerar que las plantas de ma-

qui analizadas en el presente trabajo, no han llegado aún a la etapa del desarrollo en la cual comienzan a ser productivas. Por otro lado, no se ha implementado ninguna práctica de fertilización, poda, ni conducción sobre los clones de maqui instalados en el ensayo. Las especies vegetales asignan recursos de manera diferencial a distintos órganos (McConnaughay y Coleman 1999); en este caso, las plantas de maqui al estar en época de activo crecimiento, el 100 % de los fotoasimilados irían destinados a los órganos vegetativos.

Este trabajo constituye una primera aproximación a los efectos de distintas condiciones de cultivo sobre el crecimiento de plantas de maqui obtenidas a partir de propagación vegetativa.

El crecimiento de las plantas de maqui está más influenciado por la incidencia de la radiación solar que por la disponibilidad del recurso hídrico. Es necesaria una adecuada provisión hídrica en las etapas tempranas de la implantación para asegurar la supervivencia de las plantas. Sin embargo, en etapas posteriores, el cultivo podrá llevarse a cabo con un menor nivel de riego, sin que se vea afectado el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto es clave en sitios donde la escasez hídrica es un problema a la hora de producir. A su vez, se observó sensibilidad a heladas en el período de crecimiento vegetativo de los clones de maqui, factor que deberá tenerse en cuenta a la hora de diseñar y llevar a cabo el cultivo de manera intensiva.

Más allá de los efectos de los tratamientos, existe una gran variación en el crecimiento de los diferentes clones. En particular, los clones P16-8, P22-4 y P3-A son buenos candidatos para una segunda selección, ya que demostraron buen crecimiento en altura y diámetro bajo todas las condiciones y en todas las temporadas, demostrando capacidad de aclimatación. Por otro lado, también pueden considerarse para una segunda selección los clones CF, P23-4 y P15-10, que demostraron gran capacidad de ramificación, lo que puede ser relevante para sostener mayor cantidad de frutos dependiendo del sistema de conducción del cultivo.

No se pudo determinar la entrada en producción de los clones femeninos. Quedará pendiente evaluar la producción de frutos de estos clones, el efecto de las combinaciones de los tratamientos, y determinar relaciones crecimiento/productividad, para seleccionar aquellos clones cuyo balance sea favorable.

En cuanto a lo metodológico, la variable Área Seccional Total de los ejes resultó un parámetro adecuado para comparar diámetros entre plantas que tienen alta capacidad de ramificación, más aún en casos en los que el eje principal inicial desaparece y es reemplazado por ejes originados en reiteraciones.

Plantas de maqui obtenidas por propagación vegetativa a partir de estacas provenientes de bosque, demostraron tener la capacidad para aclimatarse a las condiciones de cultivo propuestas, que son propias de la zona de ecotono cordillera-bosque, en la Patagonia argentina.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Aldo Zúñiga por la colaboración en las campañas de recolección y en las tareas de campo, y a Emiliano Ridiero y Sebastián Mascioli por su colaboración en el trabajo de vivero de propagación. El estudio se financió con los proyectos PICT-2017-2801, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica; PE I114 INTA; y PE I140 INTA.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

CSR: Toma y análisis de datos, redacción, corrección; VEM, GC, PM: revisión y corrección; GC, FB: dirección y asistencia académica; AM, GC: trabajo de campo y toma de datos

## REFERENCIAS

- Arena ME, A Zuleta, L Dyner, DConstenla, M Ceci, NR Curvetto. 2013. *Berberis buxifolia* fruit growth and ripening: evolution in carbohydrate and organic acid contents. *Scientia Horticulturae* 158: 52-58.
- Brauch JE, M Buchweitz, RM Schweiggert, R Carle. 2016. Detailed analyses of fresh and dried maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) berries and juice. *Food Chemistry* 190: 308-316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.097>
- Casierra-Posada F, JI Rodríguez Puerto, J Cárdenas-Hernández. 2007. La relación hoja: fruto afecta la producción, el crecimiento y la calidad del fruto en duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. 'Rubidoux'). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 60: 3657-3669.
- Céspedes CL, M Valdez-Morales, JL Ávila, M El-Hafidi, J Alarcón, O Paredes-López. 2010. Phytochemical profile and the antioxidant activity of Chilean wild black-berry fruits, *Aristotelia chilensis* (Mol) Stuntz (Elaeocarpaceae). *Food Chemistry* 119(3): 886-895.
- Chamorro MF, G Reiner, C Theoduloz, A Ladio, G Schmeda-Hirschmann, S Gómez-Alonso, F Jiménez-Aspee. 2019. Polyphenol composition and (bio) activity of Berberis species and wild strawberry from the Argentinean Patagonia. *Molecules* 24(18): 3331. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24183331>
- Damascos MA, CHBA Prado. 2001. Leaf phenology and its associated traits in the wintergreen species *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz (Elaeocarpaceae). *Revista Chilena de Historia Natural* 74: S. 805-815.
- Doll U, D Mosqueira, J Mosqueira, B González, H Vogel. 2016. Pruning maqui (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) to optimize fruit production. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 6: 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.12.001>
- Forshey CG, DC Elfving. 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. *Horticultural Reviews* 11: 229-287.
- Fredes C, P Robert. 2014. The powerful colour of the maqui (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) fruit. *Journal of Berry Research* 4(4): 175-182.
- Fredes C, GG Yousef, P Robert, MH Grace, MA Lila, M Gómez, G Montenegro. 2014. Anthocyanin profiling of wild maqui berries (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) from different geographical regions in Chile. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(13): 2639-2648. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6602>.
- González-Villagra J, A Rodrigues-Salvador, A Nunes-Nesi, JD Cohen, MM Reyes-Díaz. 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.
- Griesser M, G Weingart, K Schoedl-Hummel, N Neumann N, M Becker, K Varmuza, F Liebner, R Schumacher, A Forneck. 2015. Severe drought stress is affecting selected primary metabolites, polyphenols, and volatile metabolites in grapevine leaves (*Vitis vinifera* cv. Pinot noir). *Plant Physiology and Biochemistry* 88: 17-26.
- Kitzberger T, T Veblen. 1999. Fire-induced changes in northern Patagonian landscapes. *Landscape Ecology* 14: 1-15.
- Ladio A, M Lozada. 2009. Human ecology, ethnobotany and traditional practices in rural populations inhabiting the Monte region: Resilience and Ecological Knowledge. *Journal of Arid Environments* 73: 222-227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.02.006>
- Lauri PE. 2019. Apple tree architecture and cultivation - a tree in a system. *Acta Horticulturae* 1261: 173-184. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1261.27>
- López M. 2012. Curso-Taller Nutrición Frambueso. Proyecto Nudo Frambuesa. Loncoche, Chile. Corfo. 41 pág.
- McCounaughay KDM, JS Coleman. 1999. Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality? A test along three resource gradients. *Ecology* 80: 2581-2593.
- Misle E, E Garrido, H Contardo, W González. 2011. Maqui [*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz]-the Amazing Chilean Tree: A Review. *Journal of Agricultural Science & Technology* 1(4b): 473-482.
- Moya M, B González, U Doll, JA Yuri, H Vogel. 2019. Different covers affect growth and development of three maqui clones (*Aristotelia chilensis* [Molina] Stuntz). *Journal of Berry Research* 9: 449-458.
- Muñoz A, ME González. 2013. *Aristotelia chilensis* (Mol) Stuntz, Maqui, Koelon, Clon, Maquei, Queldron. En: Donoso C ed. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: Autoecología 2º ed. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones. p 166-172.
- Potters G, TP Pasternak, Y Guisez, KJ Palme, MAK Jansen. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends in Plant Science* 12(3): 99-105.
- Quispe-Fuentes I, A Vega-Gálvez, M Aranda. 2018. Evaluation of phenolic profiles and antioxidant capacity of maqui (*Aristotelia chilensis*) berries and their relationships to drying methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98: 4168-4176.
- Repetto-Giavelli FR, LA Cavieres, JA Simonetti. 2007. Respuestas foliares de *Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz (Elaeocarpaceae) a la fragmentación del bosque maulino. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 469-479.
- Roldán CS, A Fontana, M Viale, G Caballé, F Berli. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100341>

- Salgado M, CD Torres, A Magnin, M Gereá, JE Grosfeld, JG Puntieri, M Stecconi. 2020. The dynamics of primary growth in woody species from rain and transitional forests of Argentinean North Patagonia. *Bosque* 41(2): 183-192. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000200183>
- Schreckinger ME, J Lotton, MA Lila, E González de Mejía. 2010. Berries from South America: A comprehensive review on chemistry, health potential, and commercialization. *Journal of Medicinal Food* 13:233-246. DOI: <https://doi.org/10.1089/jmf.2009.0233>
- Stecconi M, L Quevedo, A Magnin, C Torres, K Lediuk, M Svriz, J Grosfeld. 2017. Desarrollo de especies leñosas nativas y exóticas en cipresales patagónicos. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 52: 507-522.
- Taiz L, E Zeiger. 2006. Fisiología vegetal. Vol. II. Publicacions de la Universitat Jaume I. 753 pág.
- Valdebenito RG, M Aguilera Fernández. 2013. Información tecnológica de productos forestales no madereros del bosque nativo en Chile. Antecedentes silvícolas *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. INFOR-CONAF F. Fecha de acceso: 31/08/2022. Disponible en: Consultado 12 jul. 2022. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/32022/32022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valladares F, A Vilagrosa, J Peñuelas, O Ogaya, JJ Camarero, L Corcuera, S Sisó, E Gil-Pelegrín. 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía, Capítulo 6. En: Valladares Fed. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Madrid, España. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A. pp 163-190. Fecha de acceso: 25/08/2022. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/267260569\\_Estres\\_hidrico\\_ecofisiologia\\_y\\_escalas\\_de\\_la\\_sequia](https://www.researchgate.net/publication/267260569_Estres_hidrico_ecofisiologia_y_escalas_de_la_sequia)
- Viale M, E Bianchi, L Cara, LE Ruiz, R Villalba, P Pitte, M Masiokas, J Rivera, L Zalazar. 2019. Contrasting climates at both sides of the Andes in Argentina and Chile. *Frontiers in Environmental Science* 7(69): 1-15.
- Vogel H, I Razmilic, J San Martín, U Doll, B González. 2005. Plantas Medicinales Chilenas: Experiencias de domesticación y cultivo de boldo, matico, bailahuén, canelo, peumo y maqui. Talca, Chile. Editorial Universitaria de Talca. 192 p.
- Vogel H, P Peñailillo, U Doll, G Contreras, G Catenacci, B González. 2014. Maqui (*Aristotelia chilensis*): Morpho-phenological characterization to design high-yielding cultivation techniques. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 1:123-133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2014.09.001>
- Vogel H, B González, G Catenacci, U Doll. 2016. Domestication and sustainable production of wildcrafted plants with special reference to the Chilean Maqui berry (*Aristotelia chilensis*). *Julius-Kühn-Archiv* 0(453): 50-52. DOI: <https://doi.org/10.5073/jka.2016.453.016>
- Yáñez MA, JI Urzua, SE Espinoza, VL Peña. 2021. Limited phenotypic variation in vulnerability to cavitation and stomatal sensitivity to vapor pressure deficit among clones of *Aristotelia chilensis* from different climatic origins. *Plants* 10(9): 1777. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10091777>
- Zevallos P, O Matthei. 1992. Caracterización dendrológica de las especies leñosas del Fundo Escuadrón Concepción, Chile. *Ciencia e Investigación Forestal* 6(2): 195-25.

Recibido: 12.07.22

Aceptado: 26.02.23

