

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) de tres años de edad

MSc. Liliana T. Contardi

CIEFAP - UNPSJB

lcontardi@ciefap.org.ar

<https://orcid.org/0009-0004-8653-9572>

Candela C. Rodriguez

UNPSJB

candee.cr@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-0634-1485>

Dra. M. Florencia Urretavizcaya

mfurretavizcaya@ciefap.org.ar

<https://orcid.org/0009-0001-3848-8713>

CONICET - CIEFAP - UNPSJB

RESUMEN

*Evaluamos el efecto de la profundidad de trasplante en plantines de calafate (*Berberis microphylla*) sobre modificaciones morfológicas aéreas y radicales. En el vivero del CIEFAP (Esquel-Chubut) trasplantamos plantines de tres años, que presentaban dos profundidades de trasplante anterior (nivel de cuello-NC y cuello cubierto-CC), resultando en tres tratamientos NC-NC; NC-CC y CC-CC. Empleando un diseño completamente aleatorizado con quince repeticiones, evaluamos caracteres morfológicos de la parte aérea y floración dos años; y el sistema radical de nueve plantines al segundo año. Los calafates inicialmente NC mostraron tendencia a aumentar el desarrollo aéreo, con mayor volumen del arbusto, longitud del vástago principal, porcentaje de floración y frutos, sin diferencias significativas. Los calafates que tuvieron siempre el cuello cubierto presentaron elevado desarrollo radicular (peso seco y nivel de ramificación), con raíces adventicias y rizomas. Estos resultados ofrecen información valiosa para la domesticación de la especie, el manejo y restauración de sus poblaciones.*

Palabras claves: Patagonia, arbusto nativo, bayas, morfología aérea y radical, raíces adventicias, rizomas

*Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) de tres años de edad.*

ABSTRACT

*We evaluated the effect of transplant depth on calafate seedlings (*Berberis microphylla*) on aerial and root morphological modifications. In the CIEFAP nursery (Esquel-Chubut) we transplanted three-year-old seedlings, which had two previous transplant depths (collar level - NC and covered collar - CC), resulting in three treatments NC-NC; NC-CC and CC-CC. Using a completely randomized design with fifteen repetitions, we evaluated morphological characters of the aerial part and flowering two years; and the root system of nine seedlings in the second year. The initially NC calafates showed a tendency to increase aerial development, with greater shrub volume, length of the main stem, percentage of flowering and fruits, without significant differences. The calafates that always had their collar covered showed high root development (dry weight and level of branching), with adventitious roots and rhizomes. These results offer valuable information for the domestication of the species, the management and restoration of its populations.*

Keywords: Patagonia, native shrub, berries, aerial and root morphology, adventitious roots, rhizomes.

Introducción

El calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) es un arbusto espinoso de la familia de las Berberidáceas endémico de la Patagonia argentina y chilena donde está presente en diferentes comunidades vegetales (Arena, 2016; Bustamante et al., 2020). En Argentina se distribuye desde la provincia de Neuquén en el norte, hasta la de Tierra del Fuego en el sur. Respecto de la altitud, se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 2500 de altura, ocupando áreas abiertas, valles, cañadones y márgenes de ríos, lagos y lagunas (Arena et al., 2018, Zuloaga et al., 2024). Es una especie perenne que puede alcanzar de 2 a 3 m de altura en la forma adulta. Presenta una forma globosa y densa con numerosos brotes vigorosos que se emiten desde la parte basal del tallo, así como desde los rizomas (Domínguez et al., 2017). Sus ramas son largas y delgadas; presenta flores amarillas, muy aromáticas y solitarias; y sus frutos son bayas carnosas, globosas de color azul oscuro, comestibles, con un sabor dulce acidulado (Radice y Arena, 2018; Urretavizcaya et al., 2022).

El calafate junto con otras especies de los géneros *Berberis* spp., *Ribes* spp., *Rubus* spp., *Gaultheria* spp., *Luma* spp. y otras de domesticación incipiente como *Aristotelia maqui* y *Ugni molinae*,

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

integran un pool de frutos nativos con propiedades químicas y nutricionales muy destacables (Fuentes et al., 2019; Romero Román et al., 2019). Actualmente su aprovechamiento se realiza a través de la recolección en ambientes silvestres (Chamorro y Ladio, 2021), pero ante una demanda creciente por parte de consumidores especializados, esta especie se puede transformar en un cultivo alternativo para la región, como está ocurriendo con frutales de similares características en otras latitudes (Torrego et al., 2018; Carrillo Sánchez et al., 2021). Uno de los aspectos a considerar para promover el establecimiento de huertos de frutales no convencionales es el estudio de su propagación en vivero y comportamiento durante los primeros años de cultivo (Naon et al., 2022; Salinas Sanhueza et al., 2023; Contardi y Urretavizcaya, 2022).

En la etapa de viverización de plantas, el trasplante de un envase a otro es una práctica que se utiliza ampliamente para mantener las condiciones que favorecen el crecimiento y el rendimiento. Cuando el mismo se realiza, se tienen en cuenta varios factores como el tipo de sustrato a emplear; el volumen y tipo de envase adecuado para esa etapa de cultivo; la poda de raíces y la profundidad en que se establecerán las plantas. Generalmente cuando se realiza el trasplante o el establecimiento en terreno para la mayor parte de las especies vegetales se recomienda cubrir las raíces con sustrato hasta el nivel del cuello de la planta (Luoranen y Viiri, 2016). Otros estudios, sin embargo, han demostrado que algunas especies pueden ser trasplantadas a un nivel más profundo con efectos positivos en el crecimiento y el establecimiento. En especies hortícolas como morrones (*Capsicum annuum* L) y tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.), se ha comprobado que realizar un trasplante profundo a nivel de la primera hoja verdadera en comparación con uno menos profundo a nivel de los cotiledones o del cepellón, mejora el establecimiento temprano de las plantas (Vavrina et al., 1994, 1996; Almasoum, 2000). En arbustos productores de frutos del género *Ribes* y *Vaccinium*, se aconseja plantarlas entre 2 y 3 cm por debajo del nivel que tenía en el vivero, para promover la emisión de retoños y la conformación de ejemplares densos (Zydlik et al., 2019; Miller et al., 2021).

Respecto a la temática de reproducción en vivero y posterior establecimiento en terreno del calafate, son escasos los trabajos realizados. Si bien se han publicado artículos sobre fertilización en cultivo y multiplicación a través de estacas de tallo (Arena et al., 2018. Naon et al., 2022; Contardi et al., 2024), los estudios sobre los distintos factores que condicionan el desarrollo en la etapa juvenil durante

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

su cultivo y la formación de rizomas son acotados. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la profundidad de trasplante sobre el crecimiento vegetativo, el desarrollo del sistema radical y la respuesta reproductiva durante dos ciclos de crecimiento en plantas de calafate.

Metodología

Sitio de Estudio

La experiencia se condujo en las instalaciones del vivero experimental del Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP), Esquel, Chubut, Argentina (42°55'50,3''S, 71°55'51,3''O). En la localidad, y según las Estadísticas climatológicas Normales del SMN- periodo 1991-2020 (Servicio Meteorológico Nacional, 2024), la temperatura media del mes más cálido (enero) es 15,4 °C, la del mes más frío (julio) es 1,7 °C, y la media anual es de 8,6 °C; sin periodo libre de heladas

La experiencia se realizó bajo condiciones semicontroladas, los plantines permanecieron al aire libre, el riego se realizó con frecuencia diaria durante la temporada de crecimiento (septiembre – abril) por sistema de aspersion, y las malezas fueron controladas manualmente.

Material vegetal

Se emplearon 45 plantines de calafate de tres años de edad producidos de semillas de procedencia Esquel, Chubut. En el primer ciclo de crecimiento las plántulas se desarrollaron en cama de siembra, y durante los dos ciclos posteriores crecieron en envases de un litro, con siete cm de boca y 20 cm de profundidad. El manejo nutricional y fitosanitario durante el cultivo correspondió al convencional del vivero. Una parte del lote de plantas (30) presentaba un *trasplante normal*, con el nivel del sustrato a nivel del cuello de la planta (NC); y otra parte del lote (15) presentaba un *trasplante profundo* con el nivel del sustrato dos cm por arriba del cuello (CC). Al inicio de esta experiencia dicho material vegetal, se trasplanto a envases de cinco litros, con 18 cm de boca y 25 cm de profundidad, de acuerdo a tres tratamientos según nivel de profundidad del cuello de la planta (Figura 1):

NC-NC: Primer y segundo trasplante a nivel de cuello

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

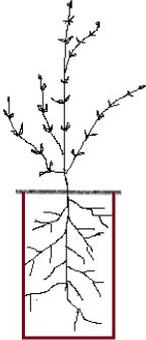
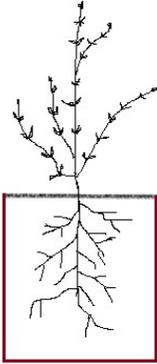
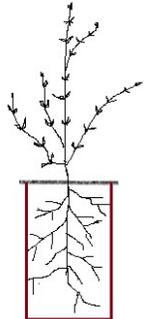
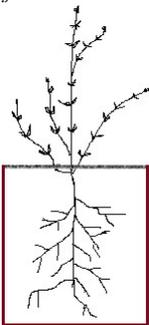
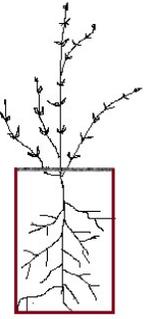
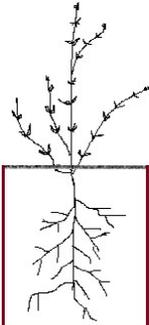
NC-CC: Primer trasplante a nivel de cuello y segundo trasplante profundo a cuatro cm por sobre el nivel del cuello.

CC-CC: Primer y segundo trasplante profundos a dos y cuatro cm por sobre el nivel del cuello, respectivamente.

Se denomina cuello de la planta al sector del tallo que limita la parte aérea de la parte radical de la planta, generalmente un cm por debajo de la cicatriz cotiledonar (Grossnickle y South, 2017; McGuinness et al., 2021).

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

Figura 1. Esquema de los tratamientos según primer y segundo trasplante.

Tratamiento	Profundidad primer trasplante Año 2018 - Envase un litro	Profundidad segundo trasplante Año 2020 (inicio ensayo) – Envase cinco litros
NC - NC	a nivel del cuello (NC), <i>trasplante normal</i> 	a nivel del cuello (NC), <i>trasplante normal</i> 
NC - CC	a nivel del cuello (NC), <i>trasplante normal</i> 	cuatro cm sobre el nivel del cuello (CC) <i>trasplante profundo</i> 
CC - CC	dos cm por sobre el nivel del cuello (CC) <i>trasplante profundo</i> 	cuatro cm sobre el nivel del cuello (CC) <i>trasplante profundo</i> 

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

El sustrato de cultivo desde su etapa inicial fue una mezcla de tierra y arena volcánica (2:1); con un pH de 6,5, una conductividad eléctrica (CE) de 0,049 mScm⁻¹ y un contenido de materia orgánica (MO) de 5 %. Cada envase se fertilizó individualmente con un gramo de fosfato diamónico (18- 46-0) el 20/10/20; un g de Bio-Bloemen® (5-5-5) el 30/12/20; y cinco g de Bio-Bloemen® (5-5-5) el 25/10/21. El producto Bio-Bloemen® es un fertilizante orgánico sólido que contiene además 6 % de calcio, 2 % de magnesio, 3 % de azufre y elementos menores.

Variables evaluadas

Se seleccionaron una serie de variables teniendo en cuenta antecedentes publicados sobre la especie en estudio, así como de otras arbustivas de morfología similar (Durán y Peña-Rojas, 2016; Contardi et al. 2022; Urretavizcaya et al., 2022; Contardi et al. 2024). Dichas variables permiten cuantificar la morfología aérea y radicular en plantines, evaluar el proceso productivo en vivero e inferir su posterior comportamiento en terreno (Grossnickle y South, 2017; Grossnickle y MacDonald, 2018; Rago y Urretavizcaya, 2023).

Se determinaron los caracteres morfológicos iniciales de la parte aérea de las plantas (septiembre 2020) y al final de las dos temporadas siguientes (agosto 2021 y 2022). Se registró la longitud del vástago más largo o principal (H, cm), diámetro del vástago principal a 10 cm por arriba de la cicatriz cotiledonar (mm) (Conti et al., 2013); número de ramas totales mayores a 10 cm; número de ramas basales que emergían del primer nudo; número de vástagos basales considerándose como tales los que emergían por sobre el nivel del sustrato; altura del 80 % del follaje (desde el nivel del sustrato hasta la altura donde se estimó se encontraba del 80 % de las ramas y hojas); diámetro máximo de la corona sobre el suelo (DC1), y su diámetro perpendicular (DC2) en cm. Los diámetros de la corona se utilizaron para calcular el área del arbusto (AA) con la siguiente fórmula: $AA = \pi * (DC1/2 * DC2/2)$. Luego con estos datos se calculó el volumen de cada arbusto (VA) con la fórmula $VA = H * AA$ (Conti et al., 2013). Se cuantificó en cada tratamiento el número de plantas que desarrollaron flores en el ciclo 2021/22, y se contó el número de frutos totales por planta en enero de 2022.

Para evaluar la morfología del sistema radical se seleccionaron al azar 3 plantas de cada tratamiento al final del segundo ciclo de crecimiento (agosto 2022). Se extrajeron de los envases,

*Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) de tres años de edad.*

manualmente se removió el sustrato, se limpiaron y lavaron las raíces y se cuantificaron las siguientes variables: peso seco del sistema radical (g) luego de secado a estufa a 100 °C durante 72 horas; número de raíces laterales; número de orden jerárquico máximo de raíces, número de raíces adventicias y número, longitud y diámetro (mm) de rizomas (Luo y Zhao, 2015; Watson y Hewitt, 2020).

Diseño y análisis de los datos.

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con quince repeticiones, la unidad experimental fue cada planta. Se realizó el análisis de la varianza y se fijó el error alfa $< 0,05$. A posteriori se utilizó la prueba de Fischer. Los análisis se realizaron con el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2018).

Resultados

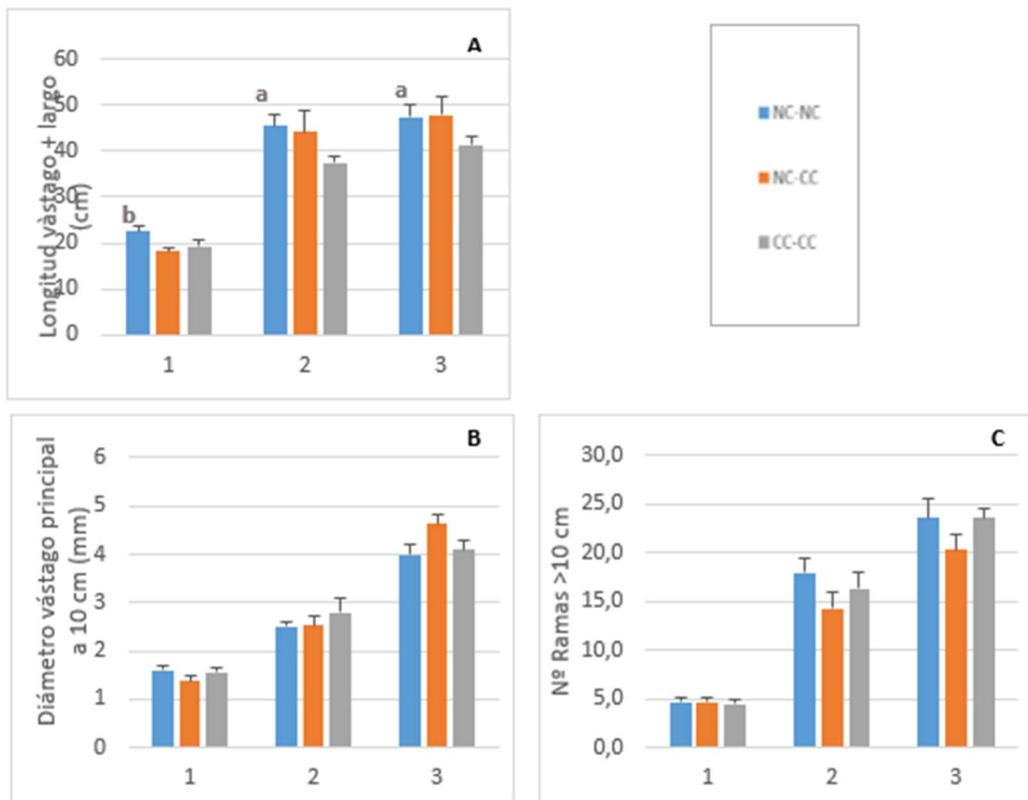
Caracteres morfológicos de la parte aérea

La supervivencia de los calafates luego de dos años de cultivo fue del 100 % en todos los tratamientos. Al inicio del ensayo, en septiembre de 2020, las plantas del tratamiento testigo NC-NC presentaron una longitud del vástago significativamente ($p < 0,05$) mayor ($22,6 \pm 1,1$ cm) respecto de los otros tratamientos (Figura 2, A). Las restantes variables morfológicas como diámetro del vástago principal a 10 cm y N° Ramas > 10 cm no mostraron diferencias significativas (Figura 2, B y C). Durante las dos temporadas de estudio (2020/21 y 2021/22) se registró un incremento en todas las variables morfológicas, sin diferencias significativas entre los tratamientos. En las plantas del tratamiento NC-NC se registraron al inicio del ensayo $4,8 \pm 0,4$ ramas basales presentes en el primer entrenudo, que se incrementaron en un 37 % al final del ensayo (Figura 2, D). Respecto a los vástagos basales, en este tratamiento sólo se contabilizó un vástago al inicio y no se registraron nuevas emergencias durante el período de estudio. En las plantas de los tratamientos NC-CC y CC-CC, el sector del primer entrenudo estuvo cubierto por sustrato por lo cual la variable N° Ramas basales no era una variable a considerar. Sí se registró la presencia de vástagos basales, los cuales aumentaron un 30 % y un 40 % en los tratamientos NC-CC y CC-CC, respectivamente al final del estudio (Figura 2, E). Respecto del área de copa y volumen

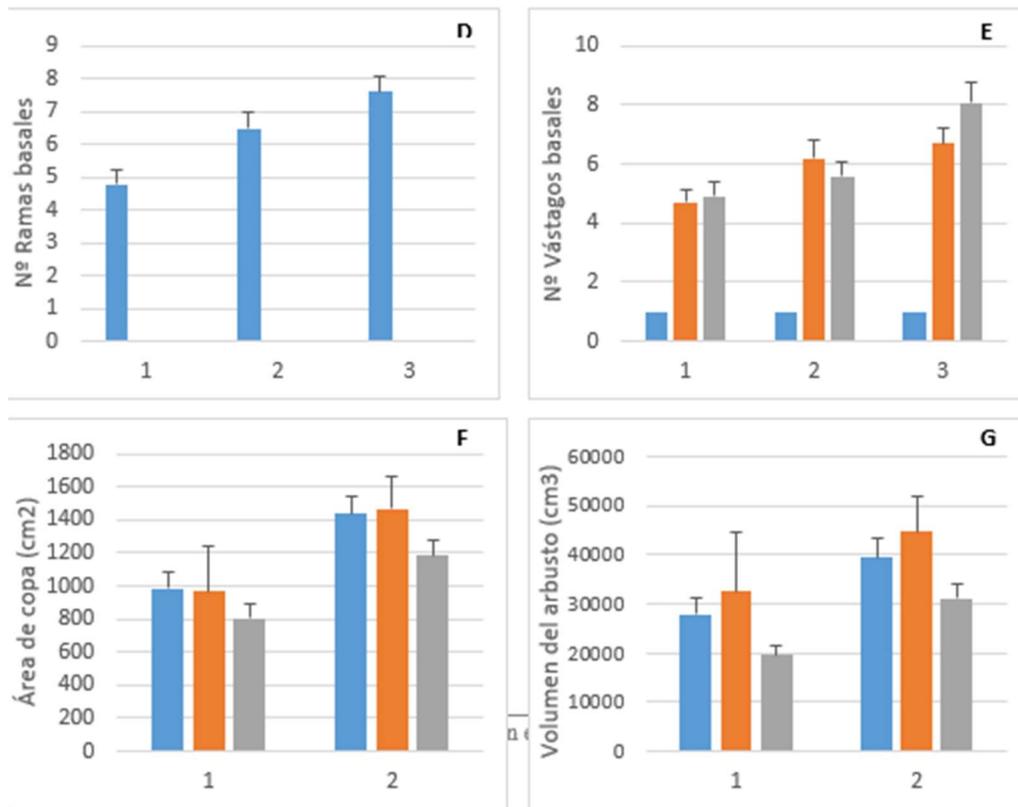
Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

del arbusto, en las plantas del tratamiento CC-CC se registraron los menores valores en los dos años medidos en relación a los otros tratamientos, sin diferencias significativas (Figura 2, F y G).

Figura 2. Valor medio (error estándar) por tratamiento de las variables morfológicas de la parte aérea de las plantas de calafate al inicio (septiembre 2020) y al final de dos ciclos de crecimiento en vivero (agosto 2021 y 2022). Medias con una letra minúscula difieren significativamente ($p < 0,05$). NC = nivel del cuello; CC = cuello cubierto. Nomenclatura de tratamientos en texto.



Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.



Caracterización del sistema radical

Todos los ejemplares desarrollaron un denso sistema radical que en profundidad llegó a la base del envase, donde presentaron un cierto grado de enrollamiento. El sistema radical estaba compuesto por un eje central dominado por la raíz principal, desde la cual emergían un número variable de raíces laterales (RL), que se ramificaban dando origen a raíces secundarias, terciarias y de ordenes posteriores. En las variables peso seco radical, número de raíces laterales y el orden máximo de ramificación, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, aunque se observa una tendencia a valores mayores en el tratamiento NC-NC en los tres caracteres (Tabla 1). En los tratamientos NC-NC y CC-CC se desarrollaron además raíces adventicias (RA) que emergieron en la zona basal de los vástagos cubiertos por el sustrato, por lo cual serían de origen caulinares (Troiani et al. 2017). Asimismo, las plantas del tratamiento CC-CC fueron las únicas que desarrollaron de uno a dos rizomas por ejemplar, con una longitud media de 65 mm y un diámetro de 3,1 mm en el sector medio (Figura 3).

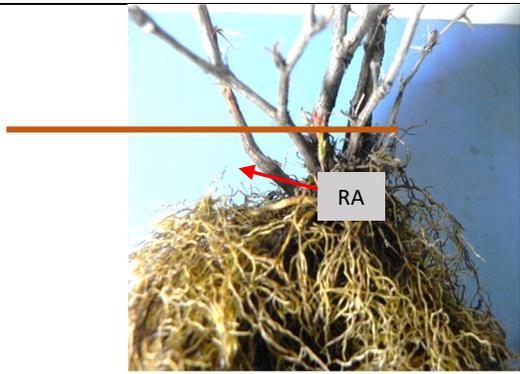
Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

Tabla 1. Caracteres morfológicos medios y error estándar del sistema radical evaluado a 24 meses del inicio de la experiencia (agosto 2022). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). PS= Peso Seco, RL= Raíces laterales; RA= Raíces Adventicias; Ri = Rizoma; nc = no corresponde.

Tratamientos	PS raíz (g)	N° de RL	N° orden		N° Ri	Longitud Ri (mm)	Diámetro de Ri (m)
			máximo de raíces	N° RA			
NC-NC	39,6±12,7 a	16±2,7 a	7±0,0 a	0 a	0 a	nc	nc
NC-CC	19,7± 3,9 a	12,7±1,5 a	6,3±0,3 a	11±3,2 a	0 a	nc	nc
CC-CC	29,7±8,6 a	10,3±3,2 a	6±0,6 a	15,3±7 a	1,3±0,33 b	65±5,3	2,93±0,16

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

Figura 3. Imágenes de plantas de calafate al final del ensayo en el envase de 5 litros (A) y luego de la extracción del envase (B), sin sustrato para evaluación del sistema radical en laboratorio. En las fotos de la columna B la línea horizontal marrón señala el nivel del sustrato en el envase que corresponde al nivel de trasplante, RA: raíz adventicia, Ri: rizoma.

Tratamiento	A. Calafates en envase	B. Calafates luego de la extracción del envase
NC - NC		
NC - CC		
CC-CC		

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

Presencia de flores y frutos

En el mes de octubre del segundo ciclo de cultivo del estudio (2021/22), se registró un 47 % de plantas con flores en el tratamiento NC-NC; un 40 % en el tratamiento NC-CC y 13 % en el tratamiento CC-CC (Figura 4, *izq.*). El número de frutos totales producidos en cada tratamiento mostró similar comportamiento con 51, 34 y 3 en NC-NC, NC-CC y CC-CC respectivamente (Figura 4, *der.*). Si bien se observa una tendencia a mayor floración y fructificación en los tratamientos que inicialmente estuvieron trasplantados al nivel del cuello, las diferencias no fueron significativas.

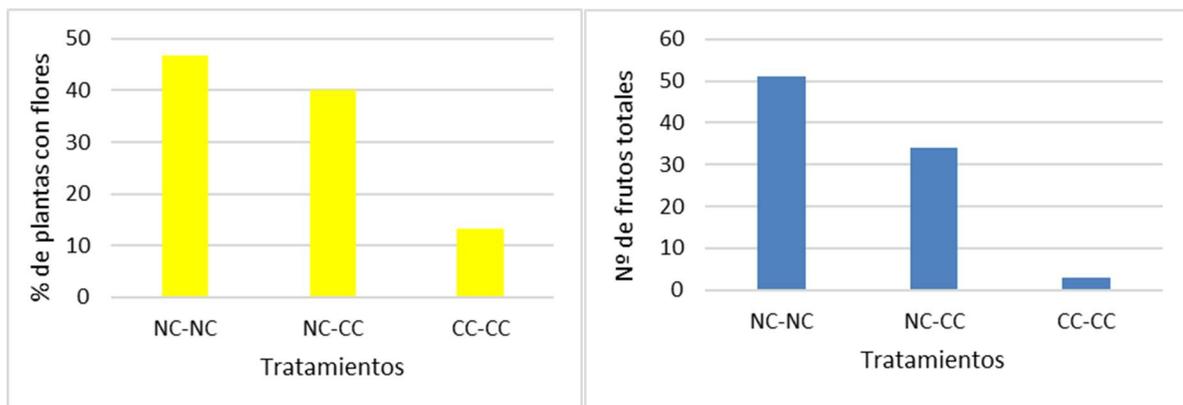


Figura 4. Porcentaje total de plantas con flores (*izquierda*) y Número total de frutos (*derecha*) en cada tratamiento.

Discusión

El cultivo de plantas de calafate a diferentes profundidades de trasplante no afecta la supervivencia de las mismas durante el cuarto y quinto año de vida. Resultados de alta supervivencia se encuentran en otras experiencias de vivero, lo que muestra que el calafate es una especie nativa relativamente fácil de reproducir y cultivar (Arena, 2016; Arena et al., 2018; Contardi y Urretavizcaya, 2022).

Luego de crecer cinco años con el primer entrenudo expuesto, las plantas del tratamiento NC-NC emitieron ramas desde dicho entrenudo, no desarrollando otros vástagos basales. Con el muestreo destructivo en agosto de 2022 se comprobó que en las plantas de los tratamientos NC-CC y CC-CC los vástagos basales también emergen de las yemas del primer entrenudo. Esto indicaría que el patrón de

*Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) de tres años de edad.*

emisión de brotes del primer entrenudo no es afectado por la cobertura con sustrato. Esta característica de desarrollar ramas desde las yemas de la base del tallo que posteriormente forman la estructura principal de cada planta también fue descrita para arbustos silvestres de calafate (Arena y Radice, 2014). La emisión de vástagos basales responde en general, a factores genéticos inherentes de la especie y la variedad; a factores del medio (temperatura, luz, nutrición, agua) y a las técnicas de cultivo (Urbina Vallejo, 2001). Por ejemplo, en cultivos de rosas (*Rosa spp.*) esta condición ha sido muy estudiada y se ha comprobado que prácticas como stress hídrico, cambios en la intensidad de la luz, bajas temperaturas, poda de yemas, así como tratamientos con hormonas estimulan la emisión de brotes basales (Di Benedetto, 2004; Gómora-Rasso et al., 2022).

En todos los tratamientos las plantas de calafate presentaron un sistema radical bien desarrollado integrado por una raíz principal derivada de la radícula y numerosas raíces laterales ramificadas. Este tipo de sistema, correspondería al tipo de raíces alorrítico o heterogéneo, propio de gimnospermas y dicotiledóneas. Son sistemas densos con una raíz dominante, donde las ramificaciones mantienen un orden jerárquico. Es decir que las primarias son mayores que las secundarias y estas que las terciarias, llegando al quinto orden o más (Troiani et al., 2017). Si bien la morfología del sistema radical es determinada por códigos genéticos, en plantas cultivadas la arquitectura final es el resultado de las actividades culturales y de las condiciones ambientales (Urbina Vallejo, 2001).

La biomasa de raíces, cuantificada por el peso seco, no varió significativamente entre los tratamientos y ocupaba todo el volumen del envase. La presencia de raíces enrolladas en la base del envase demostró que la profundidad del mismo resultó una barrera para su crecimiento. Este tipo de deformaciones pueden limitar la absorción de agua y nutrientes una vez que la planta se trasplante a un sitio definitivo además de afectar la estabilidad física (Parra y Maciel, 2018). El número de raíces laterales y el orden jerárquico máximo mostró una tendencia a ser más elevado en las plantas que siempre estuvieron repicadas a nivel del cuello. Para avanzar en el conocimiento de la relación entre estas variables, sería pertinente iniciar estudios tendientes a profundizar en esta temática.

Las raíces adventicias se desarrollaron en los tratamientos NC-CC y CC-CC en los cuales las plantas estuvieron trasplantadas a mayor profundidad. El desarrollo de las raíces adventicias es un proceso complejo que depende de múltiples factores como reguladores del crecimiento, nivel de compuestos

*Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) de tres años de edad.*

fenólicos, actividades enzimáticas, estado nutricional, respuestas asociadas al estrés, características genéticas y condiciones ambientales (Geiss et al., 2009). Las raíces adventicias se presentan en tiempo y lugares anormales como en tallos, hojas o en raíces más o menos viejas con crecimiento secundario (Troiani et al., 2017). Pueden inducirse de forma natural en plantas silvestres como un fenómeno adaptativo a cambios ambientales o bien artificialmente a partir de yemas latentes que inician el crecimiento en respuesta a un estímulo como una lesión y/o aplicación de hormonas (Esau, 1982; Bellini et al., 2014). Promover este tipo de enraizamiento es un paso esencial en la propagación vegetativa artificial de plantas cuando se decide multiplicar genotipos de élite obtenidos en programas de mejoramiento o seleccionados de poblaciones naturales, presentando en general, las plantas jóvenes un mejor potencial de rizogénesis (Barbat, 2006; Geiss et al., 2009).

La cobertura con sustrato de la zona basal de las plantas generó diferentes condiciones de luz, humedad y nutrición en dicha área estimulando la emisión de raíces adventicias caulinares. Estudios llevados a cabo en plantas herbáceas y leñosas que crecen enterradas en dunas han concluido que la producción de raíces adventicias en estos casos es un rasgo adaptativo. Dichas raíces pueden mejorar el estado de aireación de las plantas además de absorber nutrientes del suelo recién depositado (Yoshikawa y Hukusima, 1997; Dech y Maun, 2005). En este sentido, el calafate crece naturalmente en ambientes con intensa erosión eólica y voladura de suelos, por lo que esta característica de emitir raíces adventicias caulinares podría ser también un rasgo adaptativo a dichas condiciones.

En la experiencia llevada a cabo las plantas que siempre estuvieron creciendo con el cuello cubierto (tratamiento CC-CC), desarrollaron rizomas. La emergencia de los rizomas se registró en el sector del primer entrenudo, donde también emergen los vástagos basales. Las especies del género *Berberis* tienen la particularidad de propagarse a través de rizomas (Arena et al 2018, Bustamante et al. 2020), pero no se cuenta con antecedentes sobre los factores que estimulan la formación de rizomas en calafate. Los rizomas son tallos modificados que crecen horizontalmente a una profundidad característica para cada especie y se originan a partir de yemas axilares de la planta madre (Yoshida et al., 2016; Troiani et al., 2017). Poseen un meristema apical protegido por hojas escamosas para atravesar el suelo; luego de cierto crecimiento la punta del rizoma se dobla hacia arriba para producir un brote aéreo, que es un clon vegetativo de la planta madre (Guo et al., 2021). Los resultados obtenidos en este estudio permiten

*Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) de tres años de edad.*

inferir que un estímulo para el desarrollo de rizomas es la cobertura con sustrato de las yemas a nivel del primer entrenudo, seguido de un cierto periodo de tiempo en estas condiciones. Este requerimiento sería similar al del arándano bajo (*Vaccinium angustifolium* Aiton), el cual se recomienda plantar a una profundidad de 5 a 7 cm por debajo del cuello, con las yemas vegetativas basales enterradas, para fomentar la producción de rizomas (DeGomez y Smagula, 1990).

Respecto a la proporción de plantas con floración y a la cantidad de frutos maduros cosechados se observó una tendencia a ser menor en el tratamiento que siempre mantuvo el cuello cubierto. No obstante dada la alta variabilidad entre plantas de un mismo tratamiento, es necesario continuar estos registros durante otros ciclos de cultivo para obtener resultados concluyentes. El trasplante de calafates a mayor profundidad podría estar generando cambios fisiológicos que potencian el desarrollo de raíces adventicias y rizomas, pero por otra parte limitarían la inducción e iniciación floral. Es conocido que en especies hortícolas y frutales la profundidad de trasplante modifica la respuesta reproductiva de las plantas (Koike et al.1988; Vavrina et al.1996). Asimismo, otros estudios reportan que una acumulación deficiente de reservas inhibe la inducción de flores y disminuye la producción de frutos en especies como kaki (*Diospyros kaki*), cítricos (*Citrus spp.*) y manzanos (*Malus domesticas*) (Fischer et al., 2012).

Uno de los grandes problemas ambientales de Patagonia es la desertificación que conduce a la disminución de la productividad de los ecosistemas, a una intensa erosión de los suelos, y a la modificación de la estructura de la vegetación con extinción local de especies (Paruelo et al., 2003; MAyDS-COFEMA, 2023). Para revertir estas condiciones es pertinente implementar prácticas de restauración activa que comprendan acciones como la siembra y plantación de especies vegetales nativas (Ferrante et al., 2023). Las especies a incluir deberían presentar un rápido crecimiento de raíces y reproducción vegetativa para potenciar la colonización de sitios muy disturbados (López Alaniz et al., 2018). En este contexto el establecimiento a mayor profundidad en terreno de plantas de calafate, contribuiría a fijar el suelo y recomponer en parte los ambientes degradados dada su capacidad de desarrollar un denso sistema radical y emitir rizomas. Resulta interesante ir reconociendo y evaluando otras especies nativas que posean un comportamiento similar y que permitan restablecer los servicios ambientales de los ecosistemas patagónicos.

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

Conclusiones

El conocimiento del desarrollo del sistema aéreo y radical del calafate según la profundidad de trasplante aquí presentado es un aporte relevante para la toma de decisiones y manejo en su cultivo. Los datos reunidos pueden ser aplicados para avanzar en el proceso de domesticación, no obstante, para confirmar algunas respuestas es aconsejable continuar el estudio y las observaciones en posteriores ciclos de cultivo.

Al establecer un huerto de calafate con el objetivo de cosechar frutos el trasplante más profundo podría demorar la entrada en producción. En tal caso podría evaluarse si mediante el aporte balanceado de nutrientes se puede equilibrar el desarrollo de raíces, el inicio de la floración y posterior fructificación. Asimismo, la técnica de trasplante más profundo en calafate también sería una alternativa a tener en cuenta cuando se establecen plantas con objetivos de restauración y fijación de suelos. La puesta en valor de esta especie emblemática de la Patagonia, a través de su cultivo y uso sostenible, permitirá también avanzar en la preservación y mantenimiento de sus poblaciones silvestres.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Proyecto estratégico de CIEFAP Manejo y Cultivo de Bayas Patagónicas P7A11804. Las autoras agradecen a S. Gianolini, L. Bertotti y C. Huisca por su colaboración en distintos momentos del desarrollo del estudio.

Referencias bibliográficas

- Almasoum, A. A. (2000). Effect of planting depth on growth and productivity of tomatoes using drip irrigation with semi saline water. *Acta Horticulturae*, 537, 773–778.
- Arena, M.E. y Radice, S. (2014). Shoot growth and development of *Berberis buxifolia* Lam. in Tierra del Fuego (Patagonia). *Scientia Horticulturae*, 165, 5–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.047>
- Arena, M.E. (2016). *Estudio de algunos fenómenos morfofisiológicos y cambios bioquímicos en Berberis microphylla G. Forst. (sinónimo B. buxifolia Lam.) asociados a la formación y maduración de*

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

frutos en Tierra del Fuego y su relación con la producción de metabolitos útiles [Tesis Doctoral Universidad Nacional del Sur]. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3391>

Arena, M., Sanmartino, L., Cabana, J., Vicente, A., Curvetto, N. y Radice, S. (2018). Calafate, *Berberis microphylla*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <http://www.procisur.org.uy/adjuntos/Calafate-PROCISUR.pdf>

Barbat T. (2006). La multiplicación de las plantas. *Revista Viveros*, 33-43.

Bellini, C., Pacurar, D. I., y Perrone, I. (2014). Adventitious roots and lateral roots: similarities and differences. *Annual review of plant biology*, 65(1), 639-666.

Bustamante, G. N., Soler, R., Blazina, A.P. y Arena, M. E. (2020). Fruit provision from *Berberis microphylla* shrubs as ecosystem service in *Nothofagus* forest of Tierra del Fuego. *Heliyon*, 6(10):e05206. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05206>

Carrillo Sánchez, L.E., Jiménez Bañuelos, C., Martínez Castillo, J., Canché Pacheco, W. y Orellana, R. (2021). Frutales nativos de la península de Yucatán: hacia una colección más exhaustiva del Jardín Botánico Regional “Roger Orellana”. *El Herbario CICY*, 13, 168-173. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/2021

Chamorro, M. F., & Ladio, A. H. (2021). Management of native and exotic plant species with edible fruits in a rural community in a protected area of NW Patagonia. *Ethnobiology and Conservation*, 10. <https://doi.org/10.15451/ec2021-02-10.14-1-24>

Contardi, L.T. y Urretavizcaya, M.F. 2022. Propagación de calafate (*Berberis microphylla*) a partir de semillas [Póster] *En Actas: VIII Convención Iberoamericana sobre Ambiente y Sustentabilidad*, Universidad Nacional de Costa Rica. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14988.32641>

Contardi L.T., Urretavizcaya M. F. y Alonso, V. (2024). Desarrollo de calafate (*Berberis microphylla*) en etapa de vivero con diferentes niveles de fertilización inorgánica. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 123(1), 142. <https://doi.org/10.24215/16699513e142>

Conti, G., Enrico, L., Casanoves, F. y Díaz, S. (2013). Shrub biomass estimation in the semiarid Chaco forest: a contribution to the quantification of an underrated carbon stock. *Annals of Forest Science*, 70(5), 515-524. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0285-9>

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

Dech, J. P., y Maun, M. A. (2005). Zonation of vegetation along a burial gradient on the leeward slopes of Lake Huron sand dunes. *Canadian Journal of Botany*, 83(2), 227–236.
<https://doi.org/10.1139/b04-163>

DeGomez T y Smagula J. (1990). Filling bare sports in Blueberry fields. *Fact Shee* N°221, UMaine Extensión N°2057.

Di Benedetto A. (2004). *Cultivo intensivo de especies ornamentales: bases científicas y tecnológicas*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Di Rienzo J., Casanoves F., Balzarini M., Gonzalez L., Tablada M., y Robledo C. (2018). *InfoStat*. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.

Domínguez, E., Claudia Mc Leod, C., Pino, M.P., Sepúlveda, P., Aguila, K. y Ojeda, A. (2017). Funciones y servicios del calafate en la región del Magallanes. INIA – KAMPENAIKE, Informativo N° 67, 1-6.

Durán S.A. y Peña-Rojas, K. (2016). Evaluación de biomasa de especies arbustivas. *Ambiente forestal*, Año 8-9, N° 13, 57-66

Esau, K. (1982). *Anatomía de las plantas con semilla*. Hemisferio Sur.

Ferrante, D., Álvarez Bento, J., Vivar Miranda, M. E., Oliva G. E. y Utrilla V. R. (2023). Restauración por recolonización de especies nativas en pasturas sembradas en ambientes semiáridos en Patagonia. *Semiárida*, 33(1), 17-27

Fischer, G., Almanza-Merchán, P.J. y Ramírez, F. (2012). Relación fuente-vertedero en especies frutales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 238-253.

Fuentes, L., Figueroa, C. R., Valdenegro, M., & Vinet, R. (2019). Patagonian Berries: Healthy Potential and the Path to Becoming Functional Foods. *Foods*, 8(8), 289.
<https://doi.org/10.3390/foods8080289>

Geiss, G., Gutierrez, L., y Bellini, C. (2009). Adventitious Root Formation: New Insights and Perspectives. En T. Beeckman (Editor), *Annual Plant Reviews: Root Development*; Wiley-Blackwell, 127–156. <https://doi.org/10.1002/9781444310023>

Gómora-Rasso, J., Mejía-Carranza, J., Alvarado-Navarro, R., Ramírez, G., Marithza, G. y Ramírez-Dávila, J. F. (2022). Desempeño estacional del rosal en la generación de brotes basales con

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

reguladores de crecimiento. *Revista fitotecnia mexicana*, 45(3), 359-367.

<https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.259>

Grossnickle, S.C. y South, D.B. 2017 Seedling quality of southern pines: influence of plant attributes.

Tree Plant Notes, 60, 29–40.

Grossnickle, S. C. y MacDonald, J. E. (2018). Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New forests*, 49, 1-34.

Guo, L., Plunkert, M., Luo, X. y Liu, Z. (2021). Developmental regulation of stolon and rhizome. *Current Opinion in Plant Biology*, 59, 101970. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.10.003>

Koike, H., Tsukahara K., y Kobayashi Y. (1988). Influence of planting depth on growth yield and fruit quality of M. 26 interstem ‘Fuji’ apple trees. *Japanese Society for Horticultural Science*, 57(3), 360-365.

López Alaniz, N. P.; Gobbi, M. E.; Quinteros, C. P. & J. G. Puntieri. (2018). Identificación de especies herbáceas nativas apropiadas para prácticas de restauración en bosques post-fuego del NO de Patagonia [Póster]. *I Taller Internacional de Restauración Ecológica*. Salta, Argentina.

Luo, W y Zhao, W. (2015). Burial depth and diameter of the rhizome fragments affect the regenerative capacity of a clonal shrub. *Ecological Complexity*, 23, 34–40.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecocom.2015.05.004>

Luoranen, J., Viiri, H. (2016). Deep planting decreases risk of drought damage and increases growth of Norway spruce container seedlings. *New Forests*, 47, 701–714 <https://doi.org/10.1007/s11056-016-9539-3>

MAYDS-COFEMA (2023). Guía: Herramientas para la lucha contra la desertificación, degradación de tierras y sequías. Orientación para la formulación de programas de acción provinciales. 125 páginas. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/06/guia_desertificacion_0.pdf

McGuinness, B., Duke, M., Au, C. K., y Lim, S. H. (2021). Measuring radiata pine seedling morphological features using a machine vision system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 189, 106355. doi:10.1016/j.compag.2021.106355

Miller, Z., Jarrett, B. y Moore-Gough, C. (2021). Growing cold-hardy berries and small fruits in Montana. *Montana State University Extension*. MontGuide MT202101AG.

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

<https://apps.msuetension.org/montguide/guide.html?sku=MT202101AG>

Naón, S., Goldenberg, M. G., Puntieri, J. G., Mazzoni, A., Ridiero, E. y Garibaldi, L. A. (2022). El área ecológica y la sección del brote de origen son claves para el enraizamiento de estacas de *Berberis microphylla*, un arbusto de la Patagonia con frutos comestibles. *Bosque*, 43(3), 349-357. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002022000300349>

Parra, S. y Maciel, N. (2018). Efectos de la siembra y el trasplante a recipiente cónico en el crecimiento de *Pithecellobium dulce* y *Platymiscium diadelphum* en vivero. *Bioagro*, 30(2), 125-134.

Paruelo J y Aguilar, M. (2003). Impacto humano sobre los ecosistemas: el caso de la desertificación. *Ciencia hoy*, 13(77), 48-59.

Radice S y Arena, M.E. (2018). Reproductive shoots of *Berberis microphylla* G. Forst. in relation with the floral bud development and the fruit set. *Heliyon* 4 e00927. doi: [10.1016/j.heliyon.2018.e00927](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00927)

Rago, M. M. y Urretavizcaya, M. F. (2023). Acumulación de biomasa en juveniles de arbustos nativos expuestos a distintos niveles de luz asociados a esquemas de manejo forestal de coníferas exóticas. *Ecología Austral*, 33(1), 198–210. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.2048>

Romero Román, M., Noriega Vásquez, F., Farías Villagra, M., Jara Zapata, P., Vera Flores, B. y López Belchi, M. (2019). Nuevas fuentes de antioxidantes naturales: caracterización de compuestos bioactivos en cinco frutos nativos de Chile. *Perfiles*, 2(22), 34-41. <https://doi.org/10.47187/perf.v2i22.54>

Salinas Sanhueza, J., Moya Navarro, I. y Uribe Mora, A. (2023). Investigación silvícola y tecnológica de berries nativos de interés comercial en Patagonia: Prácticas de propagación y manejo. *Ciencia & Investigación forestal*, 29(2), 87-95.

Servicio Meteorológico Nacional (2024). Monitoreo climático. Estadísticas climatológicas Normales - periodo 1991-2020. <https://www.smn.gob.ar/clima/vigilancia>.

Torrego, S.N., Cardoso, M.L., Isla, M.I., Ohaco, E., Lebed, O. y Puntieri, J.G. (2018). Murta (*Ugni molinae* Turcz) una potencial alternativa de diversificación agrícola para la Comarca Andina del paralelo 42°S. *Cuadernos de Agroecología*, 13(1), 1-7.

Efecto de la profundidad de trasplante en el desarrollo de plantines de calafate (Berberis microphylla G. Forst.) de tres años de edad.

Troiani, H. O., Prina, A. O., Muiño, W. A., Tamame, M. A. y Beinticinco, L. (2017). *Botánica, morfología, taxonomía y fitogeografía*. EdUNLPam.

<https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/110>

Urbina Vallejo, V. (2001). *Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales*. Paperkite Editorial.

Urretavizcaya, M.F., Contardi, L.T., Caselli, M., Gianolini, S., Bertotti, L., Alonso, V. y Huisca, C. (2022). Manejo Sostenible del Calafate en Chubut: Rendimiento en Poblaciones Silvestres y Establecimiento en Plantaciones para Producción. En *Actas VI JORNADAS FORESTALES PATAGÓNICAS El rol de los bosques en un mundo diferente*, pp: 353- 357.

Vavrina, C. S, Shuler, K. D. y Gilreath, P. R. (1994). Evaluating the impact of transplanting depth on bell pepper growth and yield. *HortScience*, 29(10), 133-1135.

Vavrina, C.S., Olson, S.M., Gilreach, P.R, y Lambert, M. L. (1996). Transplant depth influences tomato yield and maturity. *HortScience*, 31,190-196.

Watson, G.W. y Hewitt, A.M. (2020). Development of Root Architecture in Thirty-seven Tree Species of Field Grown Nursery Stock1. *Journal of Environmental Horticulture*, 38, 143–148.

Yoshida, A., Terada, Y., Toriba, T., Kose, K., Ashikari, M., y Kyojuka, J. (2016). Analysis of Rhizome Development in *Oryza longistaminata*, a Wild Rice Species. *Plant and Cell Physiology*, 57(10), 2213–2220. <https://doi.org/10.1093/pcp/pew138>.

Yoshikawa, M. y Hokusima, T. (1997). The impact of extreme run-off events from the Sakasagawa river on the Senjogahara ecosystem, Nikko National Park. V. The importance of adventitious root systems for burial. *Ecological Research*, 12, 39-46.

Zuloaga, F. O.; Morrone, O. y Belgrano, M. (Eds.). (2024). *Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay)*. <http://www2.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/FA.asp>.

Zydlik, Z., Ciesliński, S., Mai, V.C., Kafkas, N.E.y Morkunas, I. (2019). Soil Preparation, Running Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Plantation and Biological Properties of Fruits. En Kahramanoglu, I., Kafkas, N.E., Küden, A., Çömlekçiöglu, S. (Eds) *Modern Fruit Industry*. <https://www.intechopen.com/chapters/69082>