



## Estrategias de propagación de cinco especies nativas de Argentina con potencial para restauración ambiental y desarrollo bioeconómico

### Propagation strategies of five native Argentine species with potential for environmental restoration and bioeconomic development

Sandra E. Sharry<sup>1\*</sup> , Christian Weber<sup>2</sup> , Blanca N. Villarreal<sup>3</sup> , Marina Adema<sup>3</sup> , Sebastián P. Galarco<sup>3</sup> , Diego Ramilo<sup>3</sup> , Tatiana Cinquetti<sup>3</sup> , Laura Pincirolli<sup>3</sup> , Juan M. Cellini<sup>3</sup> , Victoria L. Lopez<sup>3</sup> , Luciano M. Roussy<sup>4</sup>, José Vera Bahima<sup>4</sup> , Juan Azaro<sup>3</sup> , Daniela Dalzotto<sup>5</sup>  y Patricia A. Boeri<sup>6</sup> 

<sup>1</sup>Profesor Titular e Investigador A, Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica, Belgrano 526, Viedma, Código Postal: 8500. Río Negro, Argentina. Sistema Nacional de Investigación (SIN), Asociación de Interés Público (AIP), Ciudad del Saber, Código Postal: 7144. Clayton, Panamá. <sup>2</sup>Investigador, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Av. 7 N° 776, La Plata, Código Postal: 1900. Buenos Aires, Argentina. <sup>3</sup>Investigador, Laboratorio de Investigaciones en Madera (LIMAD). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Av. 7 N° 776, La Plata, Código Postal: 1900. Buenos Aires, Argentina. <sup>4</sup>Jefe de Trabajos Prácticos, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Av. 7 N° 776, La Plata, Código Postal: 1900. Buenos Aires, Argentina. <sup>5</sup>Docente auxiliar, Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica, CIT-RIO NEGRO-CONICET, Código Postal: 8500. Viedma, Argentina. <sup>6</sup>Profesora adjunta regular, Subsecretaría de Investigación, Creación Artística, Desarrollo y Transferencia de Tecnología (SICADyTT), Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica, Viedma, Código Postal: 8500. Río Negro, Argentina.

\*Correo electrónico: [ssharry@gmail.com](mailto:ssharry@gmail.com)

Recibido: 26-11-2024. Aceptado: 01-09-2025. Publicado: 29-12-2025.

#### Resumen

La propagación de especies nativas constituye una herramienta fundamental para la restauración ambiental y el desarrollo de una bioeconomía regional sostenible. Este artículo presenta parte de los resultados obtenidos en el marco de dos proyectos de investigación, en los cuales se ajustaron y optimizaron protocolos de propagación para especies nativas de Argentina: sauce criollo (*Salix humboldtiana*); seibo (*Erythrina crista-galli*); jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*); caldén (*Neltuma caldenia*) y alpataco (*Neltuma alpataco*). Estas especies ofrecen un enorme potencial para el desarrollo de la bioeconomía nacional, sin embargo, su aprovechamiento se ve restringido por la falta de protocolos de propagación eficientes y por la

escasa transferencia tecnológica existente. En este trabajo se logró la optimización de protocolos de germinación *in vitro* para seibo y jacaranda; la macropropagación de sauce criollo y la micropropagación de especies leñosas como caldén, alpataco, sauce y seibo. Las técnicas de propagación de plantas, como la micro y la macropropagación, son esenciales para la restauración ecológica al permitir la producción eficiente de especies clave; además, fortalecen la bioeconomía al generar recursos renovables y sostenibles, apoyan el diseño de políticas públicas para la gestión ambiental y fomentan la formación de recursos humanos especializados integrando ciencia, sociedad y economía en una perspectiva de desarrollo sostenible.

**Palabras clave:** biotecnología, cultivo de tejidos vege-

tales, reforestación, conservación de la biodiversidad, desarrollo sostenible.

### Abstract

This The propagation of native species is a fundamental tool for environmental restoration and the development of a sustainable regional bioeconomy. This article presents some of the results obtained in two research projects, in which propagation protocols were adjusted and optimized for native species in Argentina: native willow (*Salix humboldtiana*); seibo (*Erythrina crista-galli*); jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*); caldén (*Neltuma caldenia*) and alpataco (*Neltuma alpataco*). These species offer enormous potential for the development of the national bioeconomy, but their use is restricted by the lack of efficient propagation protocols and the limited transfer of technology. This study optimized *in vitro* germination protocols for seibo and jacaranda; macropropagation of criollo willow; and micropropagation of woody species such as caldén, alpataco, willow, and seibo. Plant propagation techniques, such as micro- and macropropagation, are essential for ecological restoration as they enable the efficient production of key species. They also strengthen the bioeconomy by generating renewable and sustainable resources, support the design of public policies for environmental management, and promote the training of specialized human resources, integrating science, society, and economics into a sustainable development perspective.

**Keywords:** biotechnology, plant tissue culture, reforestation, biodiversity conservation, sustainable development.

### Introducción

La creciente degradación ambiental y la presión sobre los recursos naturales evidencian la urgencia de implementar soluciones basadas en la biodiversidad. En un escenario de crisis ecológica global, la restau-

ración de ecosistemas y el desarrollo sostenible se consolidan como ejes estratégicos para fortalecer la resiliencia climática y garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Los cambios en los regímenes de precipitación, el aumento de eventos climáticos extremos y la acelerada pérdida de biodiversidad refuerzan la necesidad de adoptar enfoques innovadores que integren conservación ambiental con desarrollo económico. En este contexto, la propagación de plantas emerge como una herramienta estratégica dentro del enfoque de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (**SbN**), al facilitar la restauración de ecosistemas degradados, contribuir a la mitigación del cambio climático y generar beneficios tanto sociales como económicos. Estas SbN, reconocidas por su eficacia y bajo costo, permiten abordar de manera integrada objetivos climáticos, sociales y económicos, posicionándose como una alternativa sostenible frente a los desafíos actuales.

Según Samaniego *et al.* (2021), las iniciativas de restauración ecológica que utilizan especies nativas no solo promueven la biodiversidad y mejoran la salud de los ecosistemas, sino que también generan oportunidades concretas de empleo y desarrollo local en sectores como el ecoturismo, la gestión forestal y la bioeconomía emergente (Samaniego *et al.*, 2021; FAO, 2022). Además, estas estrategias contribuyen de manera directa al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente aquellos vinculados con la acción climática (ODS 13), la vida de ecosistemas terrestres (ODS 15) y el consumo y producción sostenibles (ODS 12) (Samaniego *et al.*, 2021; Marsters *et al.*, 2021). La restauración basada en especies autóctonas no sólo responde a los desafíos de la degradación ambiental, sino que también promueve la creación de infraestructura verde, capaz de complementar o sustituir soluciones convencionales, ofreciendo múltiples beneficios ecosistémicos como la estabilización de suelos, la regulación hídrica y la captura de carbono (FAO, 2022; Marsters *et al.*, 2021).



En este contexto, otro enfoque estratégico para avanzar hacia los ODS es la bioeconomía, que utiliza recursos biológicos renovables, como plantas, animales y microorganismos, para producir alimentos, energía, bienes y servicios. Este enfoque reduce la dependencia de combustibles fósiles, disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y promueve la sostenibilidad (World Economic Forum, 2024).

En Argentina, las especies nativas como *Jacaranda mimosifolia* (jacarandá), *Salix humboldtiana* (sauce criollo), *Erythrina crista-galli* (seibo), *Neltuma caldenia* (caldén) y *Neltuma alpataco* (alpataco) ofrecen un enorme potencial para el desarrollo bioeconómico. No obstante, su aprovechamiento se ve restringido por la falta de protocolos de propagación eficientes para su producción en vivero, lo que limita el número de plantas disponibles para usos múltiples y, por otro lado, la escasa transferencia tecnológica.

*Jacaranda mimosifolia* (tarco) es una especie de alto valor ornamental, ampliamente utilizada en jardines, parques, avenidas y casas, apreciada por su belleza y color (Bogino y Gómez, 2006). Su tolerancia a la contaminación urbana y el hecho de que sus raíces no causen demasiados problemas en las aceras la convierten en una opción ideal para el arbolado urbano. Además, puede usarse en asociación con otras especies, para reforestar terrenos sin cobertura vegetal.

*Erythrina crista-galli* (seibo) tiene importancia ecológica, ya que contribuye a la biodiversidad de los humedales y riberas donde crece, proporcionando refugio y alimento a diversas especies de aves e insectos. Sus grandes flores de color rojo se utilizan para teñir telas, aunque por su vistosidad cumplen también una función ornamental, razón por la cual se la encuentra cultivada en paseos, parques y plazas.

El retroceso poblacional de *Salix humboldtiana* (sauce criollo) es motivo de preocupación, dada su importan-

cia tanto ecológica como económica. Es el único sauce nativo de América del Sur y cumple un rol fundamental en la restauración de ecosistemas ribereños, controla la erosión, retiene la humedad del suelo y brinda refugio para la fauna. Con la introducción de especies exóticas de crecimiento más rápido ha perdido preponderancia, sin embargo, hay que destacar que la calidad de la madera del sauce criollo es superior a la de las especies introducidas cuando se consideran en usos en los que la durabilidad y densidad son características deseables (Bozzi *et al.*, 2014).

*Neltuma caldenia* (caldén) y *Neltuma alpataco* (alpataco) son especies arbóreas nativas con un destacado valor ecológico, cultural y económico. Ambas representan un recurso significativo para la producción de alimentos y otros productos de consumo humano, como harinas de caldén y alpataco, muchos de ellos vinculados a conocimientos tradicionales (Dalzotto *et al.*, 2022, Boeri *et al.*, 2017) lo que refuerza su relevancia en el desarrollo de una bioeconomía con identidad local. Se estima que más de la mitad del bosque original de caldén ha desaparecido, y las áreas remanentes muestran un alto grado de fragmentación. Esta situación compromete seriamente la capacidad del caldenal para cumplir sus funciones ecológicas y ambientales. Esta leguminosa endémica de Argentina, se caracteriza por su lento crecimiento, lo que la hace especialmente vulnerable a disturbios como la tala y los incendios, que han afectado gravemente a sus poblaciones.

A pesar de su alto valor ecológico y cultural esta especie se encuentra amenazada por la expansión agrícola y por sus limitaciones reproductivas, vinculadas principalmente a la dormancia de sus semillas (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible [SAyDS], 2006). Por su parte, el alpataco, además de su valor ornamental, ofrece madera apta para la construcción y diversos usos. Su notable resistencia a la sequía lo convierte en una especie estratégica para iniciativas



de reforestación y aprovechamiento sostenible en zonas áridas.

Este artículo presenta avances científicos en el campo de la propagación de plantas, con un enfoque en aplicaciones prácticas y sostenibles. Se muestran algunos logros alcanzados por dos proyectos de investigación multidisciplinarios desarrollados en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (**FCAyF, UNLP**) y en la Universidad Nacional de Río Negro-Sede Atlántica (**UNRN**), de Argentina. Los proyectos son: “*Caracterización, propagación y viverización de especies vegetales (forestales, arbustivas y herbáceas) priorizadas para procesos de restauración ambiental*” y “*Métodos y tecnologías de propagación y domesticación de plantas para el desarrollo de una bioeconomía local basada en la biodiversidad*”

El objetivo de este trabajo es compartir los resultados de la optimización de protocolos de propagación sexual y asexual de las especies: *Erythrina crista-galli*, *Jacaranda mimosifolia*, *Salix humboldtiana*, *Neltuma caldenia* y *Neltuma alpataco*. La producción de plantas de calidad y en cantidad facilitan los procesos de restauración ecológica y el desarrollo bio-socioeconómico de comunidades locales.

## Materiales y Métodos

### Macropropagación de *Salix humboldtiana*

Las guías fueron recolectadas entre los meses de junio y agosto (periodo de reposo o latencia, cuando esta especie pierde sus hojas), obtenidas de ejemplares previamente identificados y seleccionados en la zona de Punta Lara (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Se prepararon estacas de entre 30-35 cm de longitud, clasificadas en dos grupos según su diámetro: 0,2–0,5 cm y 0,8–1 cm. Las estacas fueron desinfectadas superficialmente mediante un tratamiento con fungicida

sistémico benomilo (Benomyl®) a una concentración de 1000 mg.L<sup>-1</sup> durante 2 h. Posteriormente, se aplicaron tratamientos con ácido indol butírico (**AIB**): las estacas de mayor diámetro (0,8–1 cm) se trataron con AIB a 50 mg.L<sup>-1</sup> durante 24 h, mientras que las de menor diámetro (0,2–0,5 cm) se trataron con AIB a 20 mg.L<sup>-1</sup> durante 2 h.

Luego de estos tratamientos, las estacas se mantuvieron en agua durante 25 días y posteriormente, fueron colocadas en un sustrato compuesto por una mezcla de 60% de tierra y 40% de perlita bajo condiciones de invernadero. Las variables evaluadas fueron el porcentaje de enraizamiento y la formación de brotes.

### Germinación *in vitro* de *Erythrina crista-galli* y *Jacaranda mimosifolia*

Se utilizaron semillas de *Erythrina crista-galli* (seibo) y *Jacaranda mimosifolia* (jacarandá) recolectadas de ejemplares ubicados en la localidad de Ensenada (Provincia de Buenos Aires). Las semillas de seibo fueron acondicionadas y desinfectadas mediante un tratamiento con hipoclorito de sodio comercial al 50% durante 1 h, seguido de peróxido de hidrógeno al 5 % (v/v) durante otra hora. En el caso de jacarandá se emplearon cápsulas cerradas que contenían semillas inmaduras. Para acceder a las semillas, se utilizaron herramientas de corte para abrir las cápsulas. Posteriormente, las semillas se desinfectaron con etanol al 70% durante 6 min y con hipoclorito de sodio comercial al 5% durante 23 min.

El procedimiento de desinfección fue seguido por tres enjuagues con agua estéril, realizados en campana de flujo laminar. Para germinar las semillas de seibo se utilizó el medio Murashige y Skoog (1962), formulado con los macro y micronutrientes del a la mitad de su concentración (MS/2) sin la adición de reguladores de crecimiento. En el caso del jacarandá, las semillas fueron sembradas en el medio Woody Plant Medium-



(McCown y Lloyd, 1981) a la mitad de la concentración de sus sales (WPM/2). El pH de todos los medios se ajustó entre 5,8 y 6,2 utilizando hidróxido de sodio 1N y ácido cítrico. Los cultivos fueron mantenidos en cámaras de crecimiento con condiciones controladas: fotoperíodo de 16 h de luz y 8 h de oscuridad, proporcionado por lámparas LED, y temperatura constante de  $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Los envases fueron frascos de vidrio (100mL o 250mL). Las plantas obtenidas fueron aclimatadas en recipientes plásticos individuales con sustrato estéril compuesto por una mezcla de 60% tierra y 40% perlita, y para mantener la humedad, se cubrieron con bolsas de nylon y se conservaron en condiciones ambientales controladas.

### **Propagación *in vitro* de *Salix humboldtiana* y *Erythrina crista-galli***

Para *S. humboldtiana*, se optimizaron los protocolos de Adema *et al.* (2022), utilizando en microestaquillado *in vitro* (microestacas de segmentos nodales) obtenidas a partir de material juvenil proveniente de estacas crecidas en invernadero (brotes de 2 o 4 meses de edad). Para eliminar la contaminación microbiana los explantes fueron desinfectados utilizando distintos agentes químicos. Las secciones nodales (porciones con nudos y entrenudos) se lavaron inicialmente con agua corriente durante 5 min y posteriormente se trataron con fungicida sistémico benomilo (Benomyl®) a una concentración de  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$  durante 1 h. Luego, se aplicó etanol al 70% durante 1 min y, seguidamente, hipoclorito de sodio comercial al 30 % con la adición de tres gotas de Tween 20 durante 25 min. Finalmente, los explantes fueron enjuagados tres veces con agua destilada estéril. El medio de cultivo utilizado para esta especie fue Woody Plant Medium a la mitad de la concentración de las sales, sin el agregado de reguladores de crecimiento, con  $30 \text{ g.L}^{-1}$  de sacarosa y  $8 \text{ g.L}^{-1}$  de agar.

Para la propagación *in vitro* de *E. crista-galli*, se uti-

lizaron secciones nodales obtenidas de vitroplantas con 30 días de cultivo. Estas se colocaron de manera horizontal en medio MS/2, suplementado con  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  de bencil amino purina (**BAP**) y  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  de ácido naftalenacético (**ANA**), con el objetivo de inducir la formación de brotes. Para el enraizamiento, se empleó el medio WPM/2, suplementado con sacarosa ( $30 \text{ g.L}^{-1}$ ), agar ( $7,5 \text{ g.L}^{-1}$ ) y ANA a una concentración de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$

Los cultivos fueron mantenidos en cámaras de crecimiento bajo condiciones controladas: 16 horas de luz y 8 h de oscuridad, con temperatura regulada a  $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . La fase de aclimatación se llevó a cabo utilizando recipientes plásticos con sustrato estéril compuesto por una mezcla de tierra y perlita en proporción 3:2. Las plantas fueron cubiertas con bolsas de nylon para mantener una alta humedad relativa y favorecer la adaptación al ambiente *ex vitro*.

### **Micropropagación de *Neltuma caldenia* y *Neltuma alpataco***

Se utilizaron explantes obtenidas de vitro plantas provenientes de semillas germinadas *in vitro*. Las semillas de *N. caldenia* fueron escarificadas mecánicamente y desinfectadas con etanol al 70% por 5 min y luego con hipoclorito de sodio comercial al 30% durante 20 min. Se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril bajo campana de flujo laminar. Se realizaron tres repeticiones de 30 semillas para evaluar la contaminación microbiana tras una semana. La germinación *in vitro* se llevó a cabo en medio MS/2, suplementado con sacarosa ( $30 \text{ mg.L}^{-1}$ ) y agar ( $7 \text{ mg.L}^{-1}$ ), esterilizado a  $121^{\circ}\text{C}$  por 20 min. Se sembraron en placas de Petri, 6 semillas por placa (N = 90) que fueron incubadas en condiciones controladas (16h luz/8h oscuridad,  $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), registrándose diariamente el porcentaje de germinación durante una semana.

Para la inducción de brotes, se emplearon estacas bi-



nodales de plántulas de 2 meses cultivadas en medio con distintas concentraciones de BAP (0; 0,5; 1 mg.L<sup>-1</sup>). Se utilizaron tres repeticiones de 15 explantes (N = 45) y se evaluaron semanalmente durante un mes el porcentaje de formación de brotes y callos, el número de brotes por explante y su longitud. Finalmente, el enraizamiento se promovió en microestacas binodales obtenidas de plántulas germinadas *in vitro* (20 días), cultivadas en medio con ANA a diferentes concentraciones (0; 2,5; 5; 10 mg.L<sup>-1</sup>). Se realizaron tres repeticiones de cinco explantes por tratamiento, y se registraron semanalmente durante un mes la formación de raíces, su longitud y la presencia de callos.

Las semillas de *N. alpataco* fueron desinfectadas durante 5 min en etanol al 70% y luego durante 20 min en hipoclorito de sodio al 20% (27 g Cl<sup>\*</sup>/l). Posteriormente, se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril bajo campana de flujo laminar. Para la germinación y el cultivo de explantes, se utilizó el medio basal MS (Murashige y Skoog, 1962) suplementado con sacarosa (30 mg.L<sup>-1</sup>) y agar (8 mg.L<sup>-1</sup>). El pH se ajustó a 5,8 antes de su esterilización en autoclave (120 °C, 1 atm, 25 min). Se sembraron 5 semillas por frasco. La incubación se realizó a 25 ± 2 °C, con un fotoperíodo de 16/8 h (luz/oscuridad). Los segmentos nodales intercalares y apicales se cultivaron en medio MS sin reguladores (control) y con ANA en concentraciones de 1, 1,5 y 3 mg.L<sup>-1</sup>. Se utilizaron 15 secciones nodales por tratamiento, con tres repeticiones, manteniéndose bajo las mismas condiciones de incubación. A los 30 días de cultivo se evaluaron: porcentaje de enraizamiento, longitud de raíces, formación y número de callos, y número de brotes por explante.

## Resultados y Discusión

### Germinación *in vitro* de *Erythrina crista-galli* y *Jacaranda mimosifolia*

El establecimiento *in vitro* de las semillas de *E. cris-*

*ta-galli*, así como el protocolo de desinfección ensayado fue exitoso. Se alcanzó un 50% de germinación de las semillas cultivadas *in vitro*, observándose los primeros signos de germinación a partir de los 20 días posteriores a la siembra. La etapa de rusticación de las plántulas tuvo lugar entre los 30 y 60 días desde la siembra (figura 1).

El protocolo de desinfección aplicado a las semillas de *Jacaranda mimosifolia* resultó eficaz, con un nivel de contaminación inferior al 6%. La germinación *in vitro* se inició entre los 15 y 20 días posteriores a la siembra, alcanzando un porcentaje cercano al 90%. La rusticación de las plántulas se produjo aproximadamente a los 70 días desde su introducción en cultivo *in vitro* (figura 2).

El establecimiento de cultivos *in vitro* a partir de semillas constituye una estrategia biotecnológica eficiente para la propagación de especies nativas, especialmente aquellas con baja viabilidad o dormancia bajo condiciones naturales. Este enfoque permite una germinación más uniforme y rápida, generando plántulas que sirven como material inicial para la micropropagación y conservación de germoplasma.

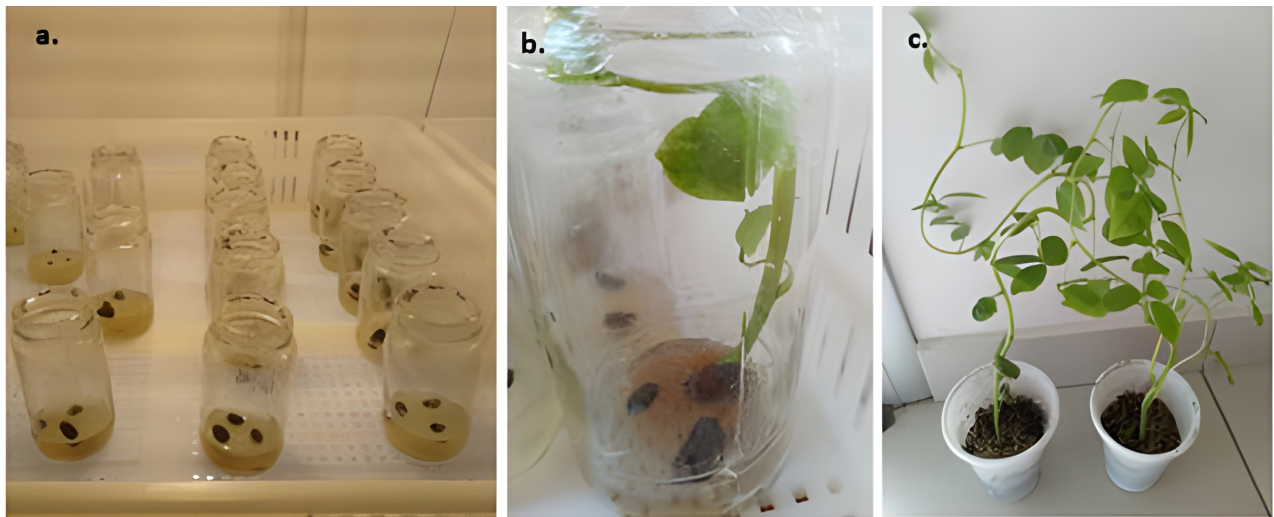
En el caso de *Erythrina crista-galli*, especie de alto valor ecológico y ornamental en los humedales del litoral argentino, se ha demostrado que la regeneración *in vitro* mediante explantes nodales de plántulas germinadas asépticamente favorece la obtención de individuos genéticamente homogéneos y libres de patógenos (Sharry, Adema y Cordal, 2011).

Del mismo modo, *Jacaranda mimosifolia* ha mostrado un comportamiento favorable bajo condiciones controladas, respondiendo positivamente a tratamientos hormonales que estimulan la organogénesis y el desarrollo radicular, lo que refuerza su potencial para programas de restauración y arborización urbana (Zavattieri, 2015). En conjunto, estas estrategias *in vitro*



## Figura 1

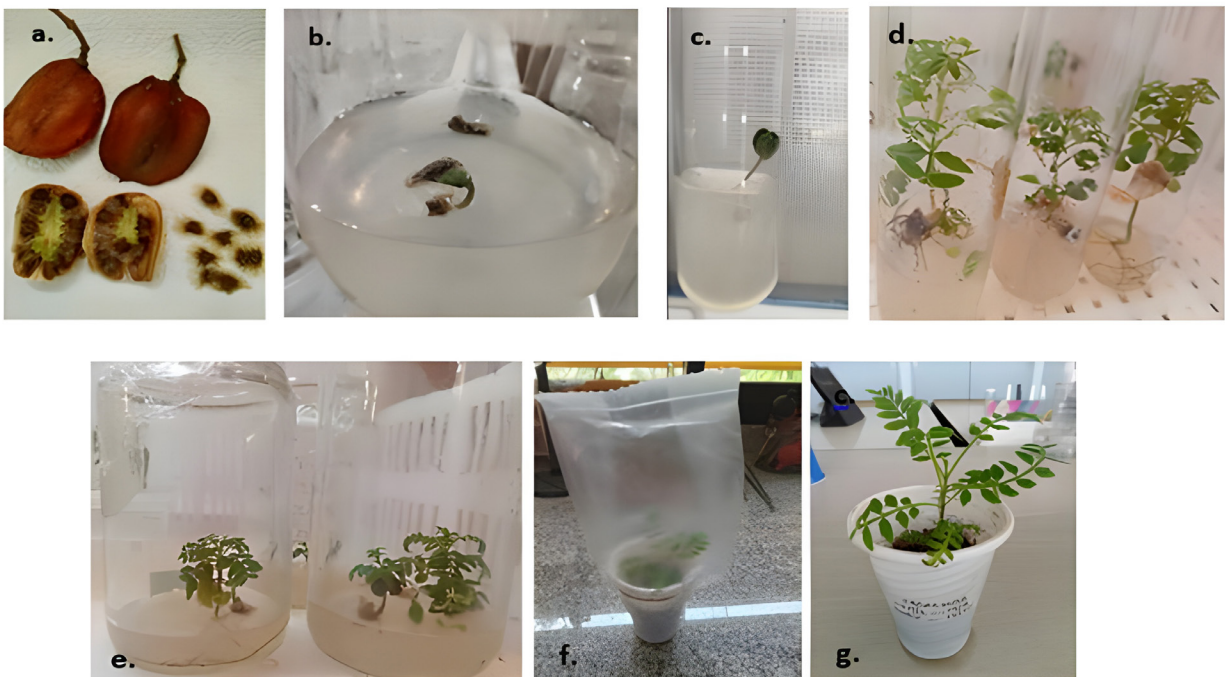
Germinación *in vitro* de semillas de *Erythrina crista-galil* (seibo).



Nota. a: Semillas establecidas *in vitro*. b: Semilla germinada *in vitro*. c: Plantas de seibos rusticadas.

## Figura 2

Ensayo de desinfección y siembra *in vitro* de semillas de *Jacaranda mimosifolia* (jacarandá).



Nota. a: Cápsulas cerradas que contienen las semillas. b y c: semillas germinadas *in vitro*. d y e: plantas de jacarandá *in vitro*. f: Jacarandá en proceso de aclimatación. g: Planta aclimatada.



no solo mejoran la eficiencia de propagación, sino que contribuyen a la conservación de especies nativas con valor ecológico y bioeconómico significativo.

### Macropropagación de *Salix humboldtiana*

Luego de 25 días de inmersión en agua, se produjo el enraizamiento del 80% en las estacas de mayor diámetro (0,8–1 cm) y del 90% en las estaquillas de menor diámetro (0,2–0,5 cm). En ambos casos se formaron brotes dando lugar a plantas completas a los 25 y 30 días desde el inicio del proceso de propagación (figura 3). La mezcla utilizada como sustrato, compuesta por tierra y perlita, resultó ser óptima, ya que proporcionó una adecuada aireación, buen drenaje y retención de humedad, condiciones favorables para el crecimiento saludable de las plantas de *Salix humboldtiana*.

El *Salix humboldtiana* Willd. ha sido ampliamente propagado mediante técnicas tradicionales de macropropagación a partir de estacas, utilizando sustratos compuestos por mezclas de tierra, arena y perlita que aseguran un equilibrio adecuado entre drenaje y retención hídrica. Estos métodos han demostrado ser altamente eficaces para la producción masiva de plantas destinadas a programas de restauración de ambientes ribereños degradados, donde la especie cumple un papel clave en la estabilización de márgenes y la recuperación de suelos erosionados (Adema, Cordal y Sharry, 2022).

### Propagación *in vitro* de *Salix humboldtiana* y *Erythrina crista-galli*

El porcentaje de contaminación de las secciones nodales provenientes de material juvenil fue inferior al

### Figura 3

Macropropagación de *Salix humboldtiana* (sauce criollo).



**Nota.** a: Árbol de *Salix humboldtiana*, Punta Lara. b: Estacas colocadas en sustrato. c, d, e: Plantas de sauce en invernadero obtenidas por la macropropagación de estacas.



10% con el protocolo de desinfección aplicado. El medio WPM/2, sin adición de reguladores de crecimiento, resultó óptimo tanto para la formación de brotes preformados como para el enraizamiento de las secciones nodales. Los primeros brotes se observaron alrededor de los 20 días de cultivadas *in vitro*, mientras que el enraizamiento ocurrió hacia los 30 días. La aclimatación de las plantas comenzó a los 50 días de iniciado el cultivo y la fase de rusticación duró de 50 a 60 días. En total, el proceso completo de micropropagación tuvo una duración aproximada de tres meses (figura 4).

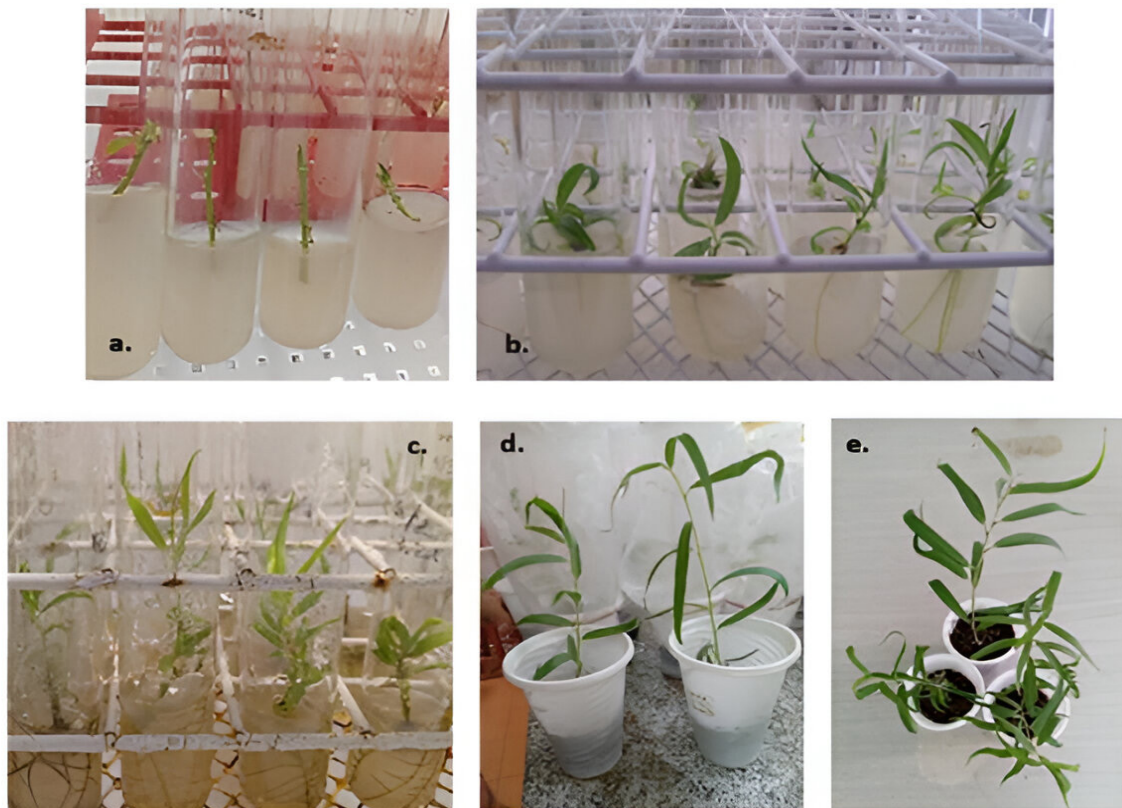
Para los explantes de seibo, se observó que el medio de cultivo MS/2 suplementado con BAP (1 mg.L<sup>-1</sup>) y

ANA (0,5 mg.L<sup>-1</sup>) fue óptimo para el alargamiento de brotes preformados, alcanzando este crecimiento a los 20 días de cultivo. Posteriormente, los brotes enraizaron eficazmente en medio WPM/2 con ANA (0,1 mg.L<sup>-1</sup>), obteniendo plantas completas entre los 20 y 30 días posteriores al trasplante. Estas plantas fueron aclimatadas exitosamente a los 30 días de haber enraizado (figura 5).

La disponibilidad de material vegetativo producido por estacas para prácticas de plantación y restauración, suele restringirse a los meses invernales, lo que limita la continuidad de la producción por macropropagación. En este contexto, la micropropagación se presenta como una herramienta estratégica complementaria

#### Figura 4

*Propagación in vitro de Salix humboldtiana.*

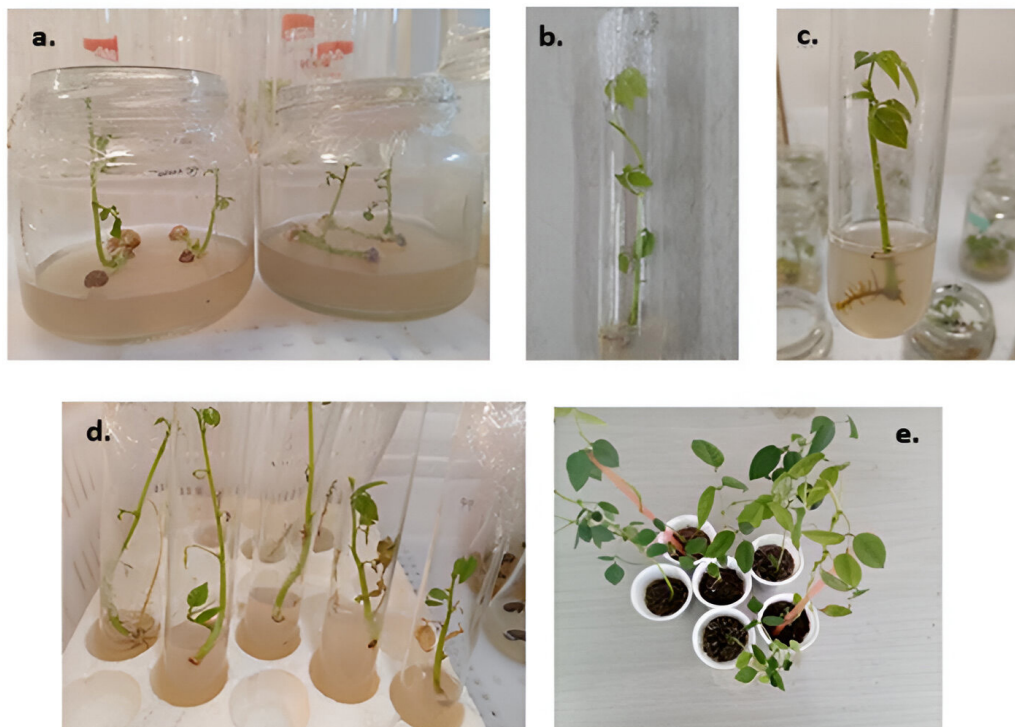


**Nota.** a: Secciones nodales de material juvenil de sauce en medio de cultivo. b y c: Secciones de sauce con brotes y raíces. d y e: Sauces aclimatados.



**Figura 5**

*Propagación in vitro de Erythrina crista-galli (seibo).*



**Nota.** **a:** Brotes obtenidos de secciones nodales en medio de inducción. **b y c:** Enraizamiento de brotes. **d:** Seibos enraizando. **e:** Seibos aclimatados.

para garantizar un suministro constante de material vegetal durante todo el año, además de permitir la obtención de plantas genéticamente uniformes y libres de patógenos (Abedini, Boeri, Marinucci, y Ruscitti, 2000).

En el caso de *Erythrina crista-galli* L., se han desarrollado protocolos exitosos de establecimiento y multiplicación in vitro a partir de nudos y segmentos caulinares, que posibilitan una propagación eficiente y controlada de esta especie emblemática del litoral argentino (Sharry, Adema, y Cordal, 2011; Galarco, Romero Alves, y Boeri, 2018). Estas metodologías contribuyen no solo a la conservación de los recursos genéticos nativos, sino también al fortalecimiento de estrategias bioeconómicas orientadas a la producción de material vegetal de calidad para proyectos de res-

tauración ecológica y reforestación sustentable.

### **Micropropagación de *Neltuma caldenia* y *Neltuma alpataco***

Las semillas de *N. caldenia* no presentaron contaminación y mostraron una germinación in vitro rápida y uniforme, con una capacidad germinativa del  $100 \pm 0\%$ , un tiempo medio de germinación de  $0,5 \pm 0,1$  días y un índice de vigor de  $25 \pm 3$  semillas.día<sup>-1</sup>. Durante la inducción de brotes, los explantes tratados con BAP ( $0,5; 1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) presentaron un 100% de formación de callos, superando al tratamiento control sin BAP. El mayor porcentaje de brotación y el mayor número de brotes por explante se obtuvieron con  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  de BAP; sin embargo, la longitud de los brotes fue limitada ( $<1 \text{ cm}$ ), lo que restringe su utilidad para etapas

posteriores del cultivo.

El uso de microestacas binodales promueve principalmente la callogénesis. Aunque se logró la inducción de brotes en porcentajes moderados, su reducido tamaño y lento crecimiento limitaron su eficiencia como material inicial para regeneración.

En cuanto al enraizamiento, se observaron diferencias significativas en el número de raíces por explante, siendo  $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$  de ANA la concentración más efectiva, con un 86,6 % de enraizamiento (un promedio de  $2,40 \pm 0,02$  raíces por explante). No se detectaron diferencias significativas en la longitud de raíces entre los tratamientos. Todos los explantes tratados con ANA presentaron un 100 % de formación de callo (figura 6).

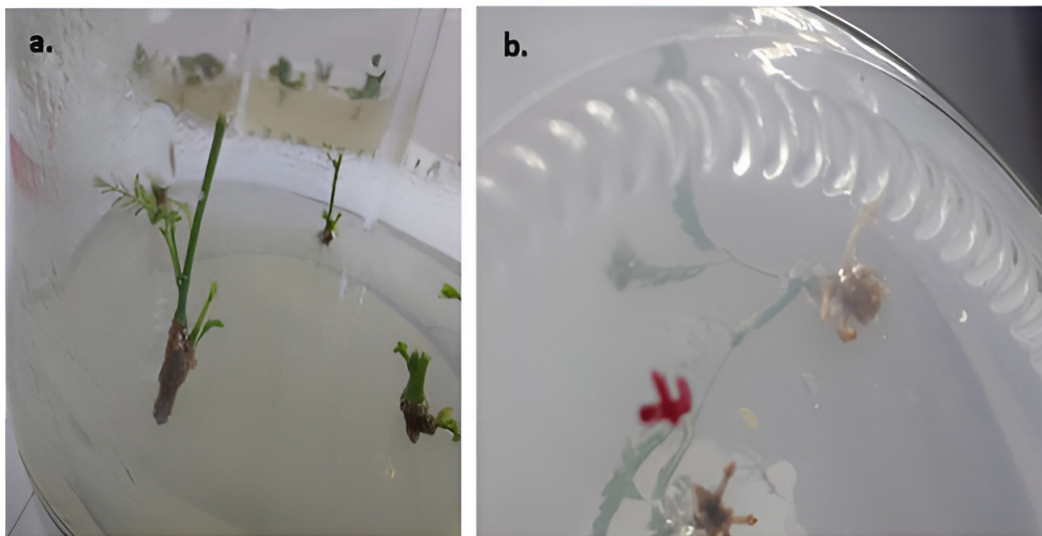
Para el caso de *N. alpataco* (figura 7), no se evidenciaron diferencias entre los tratamientos. No obstante, el mayor número de secciones nodales enraizadas se

obtuvo con la concentración más alta de ANA ( $3 \text{ mg.L}^{-1}$ ), aunque este tratamiento produjo raíces de menor longitud en comparación con las demás concentraciones. La formación de callos aumentó proporcionalmente con la concentración de ANA, mientras que la brotación mostró una tendencia opuesta: el mayor porcentaje de explantes con brotes se registró en el tratamiento control (sin reguladores), y el más bajo (18,75 %) en el tratamiento con  $3 \text{ mg.L}^{-1}$  de ANA. Asimismo, el tratamiento control presentó el mayor número promedio de brotes por explante (6), aunque estos no lograron elongarse en ese mismo medio.

Se observaron diferencias cualitativas en la respuesta organogénica según el tipo de explante: los segmentos nodales apicales generaron callos con brotes en la región intercalar, mientras que los segmentos intercalares favorecieron el enraizamiento a partir de callos formados en la zona de corte. En ambos tipos de explantes, los callos mostraron capacidad morfogénica (formación de brotes y/o raíces), sin evidenciarse

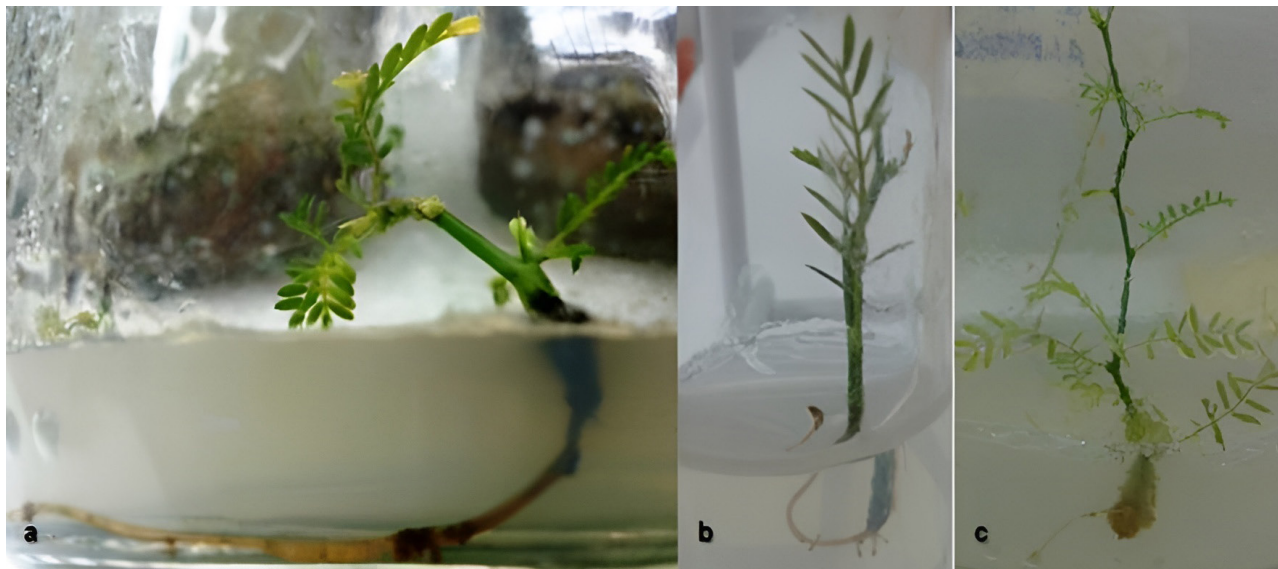
## Figura 6

*Micropropagación de Neltuma caldenia.*



**Nota.** a: Brotes en estaca binodal ( $1 \text{ mg.L}^{-1}$  AP). b: Estaca enraizando en ANA  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  y formación de callo en la base.



**Figura 7***Micropropagación de Neltuma alpataco.*

**Nota. a y b:** Enraizamiento de secciones nodales vía organogénesis directa. **c:** Enraizamiento de secciones nodales vía organogénesis indirecta.

problemas de oxidación, a pesar de tratarse de una especie leñosa.

Se han desarrollado algunos ensayos de micropropagación en *N. alpataco*, y se ha reportado un protocolo eficiente para el cultivo in vitro de esta especie (Boeri y Sharry, 2018). La micropropagación del alpataco constituye un avance innovador en la producción de plántulas destinadas a la restauración de ecosistemas degradados en zonas áridas, destacando su potencial como especie forestal adaptada a condiciones ambientales extremas (Boeri *et al.*, 2022). De manera similar, *Neltuma caldenia* se beneficia de estas técnicas, lo que permite superar las limitaciones reproductivas propias de la especie y favorecer su conservación y reintroducción en ambientes naturales. La contaminación microbiana sigue siendo un problema crítico en cultivos in vitro para todas las especies analizadas, lo que exige mejoras en las condiciones de esterilidad y el diseño de medios de cultivo.

El cuadro 1 presenta un resumen de las especies seleccionadas en este estudio, las metodologías aplicadas, la transferencia tecnológica efectuada y los principales avances alcanzados en el desarrollo y aplicación de estas técnicas.

Los avances en micro y macropropagación de especies clave como *Salix humboldtiana*, *Neltuma alpataco*, *Neltuma caldenia*, *Erythrina crista-galli*, y *Jacaranda mimosifolia*, reflejan un progreso notable en el ámbito de la propagación vegetal para aplicaciones de restauración ecológica y una bioeconomía basada en las SbN.

Investigaciones previas realizadas por nuestro equipo (Weber *et al.*, 2021; Adema *et al.*, 2022; Adema *et al.*, 2023; Villarreal *et al.*, 2023; Sharry *et al.*, 2021; Sharry *et al.*, 2023a; Sharry *et al.*, 2023b) han remarcado la importancia de adaptar los protocolos biotecnológicos al contexto regional. En este sentido, los avances alcanzados en este estudio posicionan al C.E.Pro.Ve

**Cuadro 1**

*Selección de especies, técnicas de propagación, transferencia tecnológica y avances logrados en la propagación.*

Aspecto	Detalles
<b>Selección de Especies</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Salix humboldtiana</i>: Conservación, Restauración ribereña.</li> <li>- <i>Neltuma caldenia</i> y <i>N. alpataco</i>: Ecosistemas semiáridos.</li> <li>- <i>Erythrina crista-galli</i> y <i>Jacaranda mimosifolia</i>: Paisajismo y biodiversidad urbana.</li> </ul>
<b>Técnicas de Propagación</b>	<p><b>- Micropropagación:</b></p> <p>Aplicada a <i>N. alpataco</i>, <i>N. caldenia</i>, <i>S. humboldtiana</i> y <i>E. crista-galli</i>.</p> <p><b>- Macropropagación:</b></p> <p>Estacas de <i>S. humboldtiana</i> en invernaderos optimizados.</p> <p><b>- Germinación <i>in vitro</i>:</b></p> <p>En <i>J. mimosifolia</i>, <i>E. crista-galli</i> mejorando la viabilidad de semillas.</p>
<b>Transferencia de Tecnología</b>	<p>Talleres realizados en el C.E.Pro.Ve (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP), capacitando a más de 100 técnicos, viveristas, pequeños productores locales.</p>
<b>Avances en Propagación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>S. humboldtiana</i>: macropropagación por estacas con alto porcentaje de enraizamiento. Micropropagación con producción continua durante todo el año.</li> <li>- <i>N. caldenia</i> y <i>N. alpataco</i>: protocolos replicables, útiles en suelos degradados.</li> <li>- <i>E. crista-galli</i> y <i>J. mimosifolia</i>: obtención rápida de plántulas (fuente de explantes) para la micropropagación.</li> </ul>

de la UNLP y a la UNRN como instituciones clave en el desarrollo de investigación aplicada orientada a la sostenibilidad y a la consolidación de una bioeconomía regional. La formación de más de cien técnicos y viveristas en el uso de estas biotecnologías destaca el potencial transformador de este trabajo para impulsar economías locales sustentables.

En el marco de los proyectos de investigación previamente mencionados, se llevaron a cabo múltiples cursos y talleres en el Centro Experimental de Propagación Vegetativa (C.E.Pro.Ve) de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). Estas actividades estuvieron orientadas a la capacitación de técnicos, viveristas y pequeños productores locales en el uso de técnicas biotecnológicas de propagación vegetal.



Para maximizar el impacto de estas tecnologías, resulta clave la implementación de políticas públicas que promuevan su adopción. La disponibilidad de financiamiento para pequeños viveros, junto con incentivos fiscales y acceso a insumos tecnológicos, son elementos esenciales para democratizar el uso de estas técnicas y garantizar su expansión.

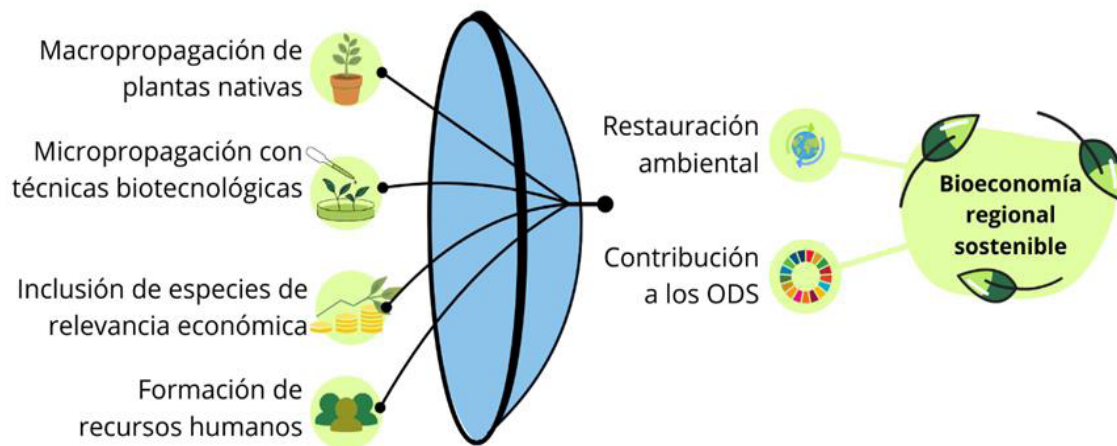
Integrar estas biotecnologías en planes provinciales y nacionales puede garantizar la producción de material vegetal de calidad a gran escala, respondiendo a las demandas de la Década de la Restauración. Las técnicas de propagación de plantas, como la micropropagación, desempeñan un papel fundamental en la restauración ecológica al permitir la producción eficiente de especies clave, además, contribuyen al fortalecimiento

de la bioeconomía mediante la generación de recursos renovables y sostenibles. Estas técnicas también respaldan el diseño de políticas públicas orientadas a la gestión ambiental y promueven la formación de recursos humanos especializados, capaces de integrar ciencia, sociedad y economía en favor del desarrollo sostenible (figura 8).

Aunque los resultados obtenidos son prometedores, desafíos como la inversión inicial en infraestructura, la contaminación microbiana en cultivos *in vitro* requieren atención. Estos retos pueden abordarse mediante redes de investigación y desarrollo, que potencien soluciones como el uso de biorreactores de inmersión temporal o sistemas automatizados para reducir costos y aumentar la eficiencia.

## Figura 8

*Importancia de las técnicas de propagación vegetal en la restauración ecológica y la bioeconomía al generar recursos renovables y sostenibles.*



## Conclusiones

Se ha generado nuevo conocimiento sobre la propagación de plantas nativas lo cual tiene un impacto significativo en la restauración ecológica y el desarrollo bio-socioeconómico de comunidades locales. En este

marco, se lograron optimizar protocolos de germinación *in vitro* para *Erythrina crista-galli* y *Jacaranda mimosifolia*; establecer métodos eficientes de macropropagación para *Salix humboldtiana*; y desarrollar protocolos de micropropagación para especies leñosas nativas como *Neltuma caldenia*, *Neltuma alpataco*, *Erythrina crista-galli* y *Salix humboldtiana*.

Los avances en micro y macropropagación han ampliado significativamente las posibilidades para la restauración ecológica y la producción vegetal sostenible. Las especies estudiadas presentan un alto potencial para enfrentar desafíos críticos como la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad y la creciente demanda de productos con valor medicinal y ornamental. Para maximizar el impacto social y económico de estas tecnologías, resulta esencial su transferencia a viveristas y productores locales.

La incorporación de programas de capacitación continua y talleres prácticos en planes de desarrollo regional contribuirá a fortalecer las capacidades técnicas y fomentar el arraigo de modelos productivos sostenibles. Por último, es crucial fortalecer las redes de investigación aplicada para mejorar la reproducibilidad de los protocolos y superar los retos actuales. Asimismo, se recomienda explorar tecnologías como sistemas de inmersión temporal y biorreactores para aumentar la eficiencia de propagación a gran escala.

### Literatura Citada

- Abedini, W., Boeri, P., Marinucci, L., & Ruscitti, M. (2000). Biotechniques used in native forest species. *Forest Systems*, 9(2), 205–214. <https://fs.revistas.csic.es/index.php/fs/article/view/653>
- Adema M., Villarreal B., Cinquetti T., Ramos M., Velázquez M., Galarco S., Ramilo D., Pinciroli L., Weber C., Roussy L., Cellini M., López V., Scoglio P., Boeri P.; Montilla Vargas V. y Sharry S. (2023, 25 al 28 de abril). *Ajuste de protocolos de propagación de especies forestales nativas de Buenos Aires para reforestación*. VII Congreso Nacional de Conservación de la Biodiversidad. Puerto Iguazú, Misiones, Argentina.
- Adema, M., Villarreal, B., Weber, C., Galarco, S., y Sharry, S. (2022). Propagación vegetativa (macro y micro) y evaluación de la capacidad de remoción de iones  $\text{Cu}^{+2}$  de *Salix humboldtiana* Willd (sauce criollo). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 121(Especial 2), 104. <https://doi.org/10.24215/16699513e104>
- Boeri, P., Piñuel, M. L., Sharry, S. E., y Barrio D. A. (2017). Caracterización nutricional de la harina integral de algarroba (*Prosopis alpataco*) de la norpatagonia Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 116 (1), 129-140. <http://revista-vieja.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/873>
- Boeri P. y S. Sharry. (2018). Somatic Embryogenesis of Alpataco (*Prosopis alpataco* L.). In: Jain, S. M. and P. Gupta. (eds.). *Step Wise Protocols for Somatic Embryogenesis of Important Woody Plants* (pp. 189-198), Forestry Sciences 85, Springer International Publishing AG. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-79087-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-79087-9_16)
- Boeri P., Piñuel M.L., Dalzotto D.C., Barrio, D. A. y Sharry, S.E. (2022). Biotechnology and bioprospecting of *Prosopis alpataco* from Patagonia, Argentina. In *Prosopis as a Heat Tolerant Nitrogen Fixing Desert Food Legume: Prospects for Economic Development in Arid Lands* (pp. 157-167). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823320-7.00010-9>
- Bogino, S. M. y Gómez, M. M. (2006). El jacarandá. *Informativo Rural*, E.E.A INTA San Luis, 3(9), 8. FICES (UNSL). [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvopastoril/59-jacaranda.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/59-jacaranda.pdf)
- Bozzi, J., Marchelli, P. y Gallo, L. (2014). Sauce criollo: una especie nativa amenazada en Patagonia- INTA EEA Bariloche. *Presencia*, 62, 29-33. <https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/hand>



[le/11336/40749/selection.pdf](http://le/11336/40749/selection.pdf)

- Dalzotto, D., Piñuel, L., Sharry, S., y Boeri, P. (2022). *Alimentos nativos: caracterización nutricional de harina de caldén (Prosopis caldenia Burkart) de dos provincias argentina*. VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC 2022). <http://rid.unrn.edu.ar:8080/bitstream/20.500.12049/9659/4/2022%20Calden%20CICYTAC%20.pdf>
- Dalzotto D., Boeri P., Piñuel L. y Sharry S. (2023, 04 de julio). *Biotechnology and bioprospecting to enhance the bioeconomy of north Patagonia*, 27th ICABR Conference “Institutions and Sustainable Transformation of Bioeconomy Value Chains”. Buenos Aires, Argentina.
- Food and Agriculture Organization. (2022). *Principios para la restauración de los ecosistemas como guía para el decenio de las naciones unidas 2021-2030* [Archivo PDF]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3366ab32-c35b-4b1e-bc66-0fd-62d349c46/content>
- Galarco, S., Romero Alves, M., Boeri, P. A., Roussy, L., Adema, M., Villarreal, B., Briones, M. V., Basiglio Cordal, M., Cinquetti, T., Ramilo, D. I., Sharry, S. E. (2018, 10-15 de septiembre). *Conservation and vegetative propagation of forest genetic resources from Talares and Monte Blanco ecosystems in Argentina*. 5th International Conference of the International Union of Forest Research Organizations Working Party 2, 84–88. <http://rid.unrn.edu.ar:8080/handle/20.500.12049/5002>
- Marsters, L., Morales, G., Ozment, S., Silva, M., Watson, G., Netto, M., Frisari G. L. (2021). *Nature-Based Solutions in Latin America and the Caribbean: Financing Mechanisms for Regional Replication*. InterAmerican Development Bank and World Resources Institute. <http://dx.doi.org/10.18235/0003688>
- McCown B. H., y Lloyd, G. (1981). Woody Plant Medium (WPM). A Mineral Nutrient Formulation for Microculture of Woody Plant Species. *HortScience*, 16, 453-453.
- Murashige, T., y Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
- Póvoa, O. (2018). Effect of the Fruits Type and Conservation Time in the Germination Capacity of Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* D. Don) Seeds Collected in Alentejo, South Portugal. *International Journal of Plant Biology Research*, 6 (2), 1084. <https://doi.org/10.47739/2333-6668/1084>
- Samaniego, J., Alatorre J. E., y Van der Borght, R. (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza: el potencial de la restauración y conservación de bosques para la adaptación al cambio climático en Centroamérica*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/82a20695-2e62-4082-9422-30440e83a55d>
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2006). *Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Segunda etapa. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas* (BIRF 4085-AR, 1998-2005). Informe Regional Espinal. ANEXO I. Estado de conservación del Distrito Caldén. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/primer\\_inventario\\_nacionespinal\\_2da\\_etapa.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/primer_inventario_nacionespinal_2da_etapa.pdf)



Sharry, S., Adema, M., Villarreal, B., Cinquetti, T., Ramos, M., Velázquez, M., Galarco, S., Ramilo, D., Pincioli, L., Weber, C., Roussy, L., Cellini, M., López, V., Sceglío, P., Boeri, P., Dalzotto, D., Bustamante, K., Niella, F., Guerra, M. (2023, 17-18, April). *Propagation of woody species native to Argentina. Conference on Innovative Woody Plant Cloning*. COST-CopyTree. Santiago de Compostela, España.

Sharry, S., Villarreal, B., Adema, M., Galarco, S., Ramilo, D., Pincioli, L., Velázquez, M., Cinquetti, T., Ramos, M., Dalzotto, D., Weber, C., Cellini, J. M., Lien López, V., Boeri, P. (2023). Biotecnologías aplicadas a especies forestales nativas para restauración ecosistémica. En A. Gutiérrez Mora (ed.), *Biotecnología Productiva y Sostenible. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco*. [http://rid.unrn.edu.ar:8080/bitstream/20.500.12049/13135/1/divulgacion\\_65f0a80640a72%20%281%29.pdf](http://rid.unrn.edu.ar:8080/bitstream/20.500.12049/13135/1/divulgacion_65f0a80640a72%20%281%29.pdf)

Sharry, S., Weber, C., Boeri, P., Cellini, M., Roussy, L., Ramilo, D., Sceglío, P., Lopez, V.L., Romero, M., Galarco, S. (2021, 7-11 de junio). *Métodos y tecnologías de propagación y domesticación de plantas para el desarrollo de una bioeconomía local basada en la biodiversidad*. XIII SIMPOSIO REDBIO ARGENTINA 2021 VIRTUAL. “La Biotecnología como Solución a Desafíos Pasados, Presentes y Futuros”.

