



ARTÍCULO

Propagación de *Carica chilensis*, especie endémica, vulnerable y amenazada del norte de Chile: Un avance para su conservación.

José Hernández Cartes^{1*} & Sergio Silva Soto¹

¹Instituto Forestal, Sede Diaguitas, La Serena, Chile.

*Autor para correspondencia: jhernandez@infor.cl.

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.601>

Recibido: 10.11.2023; Aceptado 07.12.2023

RESUMEN

Se estudió la propagación sexual y asexual de *Carica chilensis* (Palo gordo o papayo silvestre), arbusto endémico clasificado como Vulnerable, que se distribuye desde el sur de la Región de Atacama, principalmente en la Región de Coquimbo y más escasamente en la Región de Valparaíso, entre los 0 a 500 msnm. Unos de los principales problemas de esta especie es su baja producción de frutos, implicando una escasa a nula regeneración natural. Sin embargo, técnicas de propagación pueden mitigar o resolver este problema, empleando germoplasma para su conservación *ex situ* y posterior reintroducción en su hábitat natural. Durante las prospecciones en terreno se identificó 11 poblaciones de individuos adultos. En tres de ellas (Los Vilos, Punta Colorada y Freirina) se recolectó frutos y vástagos, que fueron utilizados para establecer dos ensayos, uno de propagación sexual y otro de propagación vegetativa. En el ensayo 1 se evaluó el efecto de la germinación de semillas en 4 temperaturas de incubación (15, 20, 25 y 30°C), remojadas en 2 concentraciones de ácido giberélico (AG) (0 y 500 mg/L) e incisión en el micrópilo (con y sin incisión). En el ensayo 2 se determinó la respuesta al enraizamiento con 4 concentraciones de ácido indol butírico (AIB) (0, 1000, 3000, 5000 y 10000 mg/L) y dos tipos de material vegetal (juvenil y adulto). En ensayo 1 se observó que los mayores porcentajes de germinación fueron los de semillas tratadas con ácido giberélico por 24 horas e incubación a 15 °C, y los de semillas solo en incubación a 25 °C, registrando 50% y 53% de germinación, respectivamente. En ensayo 2 se observó que para la propagación asexual el porcentaje de enraizamiento alcanzó un 50% con el uso de material juvenil y sin la utilización de la hormona (AIB), no existiendo respuesta de enraizamiento con material recolectado de plantas adultas.

Palabras claves: *Carica chilensis*, arbusto endémico, zonas áridas, propagación.

SUMMARY

The sexual and asexual propagation of *Carica chilensis* (Palo gordo or wild papaya) was studied. *C. chilensis* is an endemic shrub classified as Vulnerable, which is distributed from the south of the Atacama Region, mainly in the Coquimbo Region and more sparsely in the Valparaíso Region, between 0 to 500 meters above sea level. One of the main problems of this species is its low fruit production, implying little to no natural regeneration. However, propagation techniques can mitigate or solve this problem, using germplasm for *ex situ* conservation and subsequent reintroduction into its natural habitat. During field surveys, 11 populations of adult individuals were identified. In three of them (Los Vilos, Punta Colorada and Freirina) fruits and shoots were collected, which were used to establish two trials. In trial 1, the effect of seed germination was evaluated at 4 incubation temperatures (15, 20, 25 and 30°C), 2 concentrations of gibberellic acid (GA) (0 and 500 mg/L) and incision in the micropyle (with and without incision). In test 2, the rooting response was determined with 4 concentrations of indole butyric acid (IBA) (0, 1000, 3000, 5000 and 10000 mg/L) and two types of plant material (juvenile and adult). In trial 1, it was observed that germination presented the highest percentages with seeds treated with gibberellic acid for 24 hours and incubation at 15 °C and seeds only incubated at 25 °C, recording 50% and 53% germination, respectively. In test 2 it was observed that for asexual propagation the rooting percentage reached 50% with the use of juvenile material and without the use of the hormone (AIB), there being no rooting response with material collected from adult plants.

Key words: *Carica chilensis*, endemic shrub, arid areas, propagation

INTRODUCCIÓN

En la macrozona norte de Chile la escasez hídrica y el aumento de la temperatura producto del cambio climático global, unido a la constante explotación de los recursos naturales por parte del ser humano, la agricultura intensiva, el cambio de uso de suelo para urbanismo, la ganadería y la minería han generado una pérdida de hábitat y biodiversidad significativa (Castro, 2007; Navarro, 2015). Asimismo, la riqueza biológica, particularmente de su componente flora, ha sido y es de especial interés para botánicos y conservacionistas, siendo reconocida a nivel mundial por su alto grado de endemismos (Squeo *et al.*, 2001; Arroyo *et al.*, 2004).

En particular, la Región de Coquimbo se caracteriza por concentrar la mayor diversidad de plantas nativas de Chile en comparación a las otras regiones del país (1.478 especies), con un alto nivel de endemismo (53,5%) y por estar ubicada en el sector norte del *hotspot* mundial de biodiversidad de Chile central (Squeo *et al.*, 2001; Arroyo *et al.*, 2004; 2006). A pesar de esto, la superficie regional destinada para fines de conservación de la biodiversidad es escasa, solo un 0,37% de la superficie regional está incluida dentro del Sistema de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (Lagos *et al.*, 2001).

Uno de los principales desafíos para la conservación del patrimonio vegetal del país, es la recuperación de las formaciones xerofíticas de alto valor ecológico, formaciones que poseen una gran biodiversidad de especies vegetales las cuales en su mayoría están en alguna de las categorías de estado de conservación, señaladas en el Reglamento para Clasificar Especies según Estado de Conservación, debido a las diferentes amenazas a las que están sometidas (MMA, 2005).

La actividad humana y el cambio climático son una de las principales amenazas para la biodiversidad en Chile, produciendo altos niveles de degradación y fragmentación de hábitat cuyo frente más activo se encuentra en la Región de Coquimbo (Santibáñez *et al.*, 2008). En esta región el 92% del territorio está afectado por niveles de desertificación graves a moderados y se estima que 2.96 millones de hectáreas están afectadas por este proceso y con un predominio notable de desertificación grave (Emanuelli *et al.*, 2016).

Carica chilensis (Planch. ex A.DC.) Solms (palo gordo o papayo silvestre) es una especie arbustiva de 1-4 metros de altura, tallo suculento monopódico o ramificado, cilíndrico, corto y grueso que florece entre noviembre y diciembre. Su fruto es una baya ovoide de 1,2-1,7 cm de largo, color café-verdoso, que contiene semillas ovoides, envueltas en mucílago. El palo gordo, es la especie con distribución más austral de la familia, posee adaptaciones ecofisiológicas que le permiten vivir en condiciones ambientales restringidas al litoral del norte de Chile (MMA, 2025; Hechenleitner *et al.*, 2005).

Es una especie endémica de Chile y se encuentra en Estado de Conservación Vulnerable. Su distribución es fragmentada y circunscrita a hábitat costeros específicos, se restringe a unas 20 localidades desde el sur de la Región de Atacama, principalmente en la Región de Coquimbo, y más escasamente en la Región de Valparaíso, crece de 0 a 500 msnm. Según MMA (2005) la extensión de la presencia es de aproximadamente 610 Km, casi lineares, con muy escasa variación en longitud, la mayor presencia se concentra en la vertiente occidental de la cordillera de la costa de la Región de Coquimbo, ya que las subpoblaciones extremas son aisladas. Según Cuevas (1991) las mayores poblaciones de la especie se encuentran en el Parque Nacional Fray Jorge, donde la densidad promedio de individuos por hectárea es de 163, estimando que la población es superior a los 17.824 individuos, incluyendo agrupaciones de individuos más o menos densas hasta la presencia de individuos aislados.

Uno de los principales problemas de la especie, que está estrechamente asociado a su estado de conservación, es la escasa a nula regeneración natural observada *in situ*, debido a la alta depredación de sus semillas y plantas. La disponibilidad de semillas y la propagación de estas son etapas claves que deben estar desarrolladas y protocolizadas para implementar con éxito programas de conservación y restauración de especies vegetales. Disponer de semillas y/o propágulos de alta calidad genética y fisiológica es esencial para aumentar la probabilidad de reintroducción de especies amenazadas. Por ello, se hace imperativo conocer sus mecanismos de propagación tanto sexual como asexual en vivero, tarea que se vuelve compleja, particularmente para la reproducción sexual, dada la escasa producción de semillas.

Desde esta perspectiva, se hace indispensable para esta especie estudiar la fisiología de sus semillas y los factores que afectan su dormancia y germinación, la fenología y los periodos de establecimiento de plántulas (Lentz & Johnson, 1998) y el desarrollo de métodos de propagación vegetativa, lo cual permitiría resolver los cuellos de botella impuestos por la falta de disponibilidad de semillas (Hartmann *et al.*, 2002).

Atendiendo al interés por la conservación y propagación de *Carica chilensis*, este trabajo evalúa el efecto de la aplicación de ácido giberélico, incisión micrópilo y temperatura de incubación en la germinación de sus semillas. Se evalúa también el efecto del ácido indol butírico y el estado de desarrollo del material vegetal en el enraizamiento de sus estacas de tallo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los meses de enero y marzo de 2019 se prospectó 11 localidades desde el sur de la Región de Atacama (Freirina y Punta Colorada) hasta la Región de Coquimbo (Chungungo, Quebrada el Arrayan, Pan de Azúcar, Ita Bajo, Caimanes, Los Vilos, Parque Nacional Fray Jorge, Mincha Norte y Valle El Encanto) con presencia de individuos de *C. chilensis*

En las localidades prospectadas se estableció áreas de monitoreo con el objeto de explorar el estado sanitario y fenológico de frutos de *C. chilensis* (datos no presentados). De acuerdo a estos criterios, así como la cantidad de individuos presentes y productividad frutal, se seleccionó tres poblaciones en tres localidades (Los vilos, Punta Colorada y Freirina) para la recolección de frutos.

Para representar en forma proporcional toda o gran parte de la diversidad genética presente en las localidades mencionadas se recolectaron aleatoriamente cantidades similares de frutos. Las semillas obtenidas fueron agrupadas con el objetivo de cumplir con el número necesario para el establecimiento del ensayo de germinación. A una fracción de ellas se les realizó la prueba de corte con la finalidad de establecer su viabilidad aparente en función de la presencia de embrión (**Figura 1**).

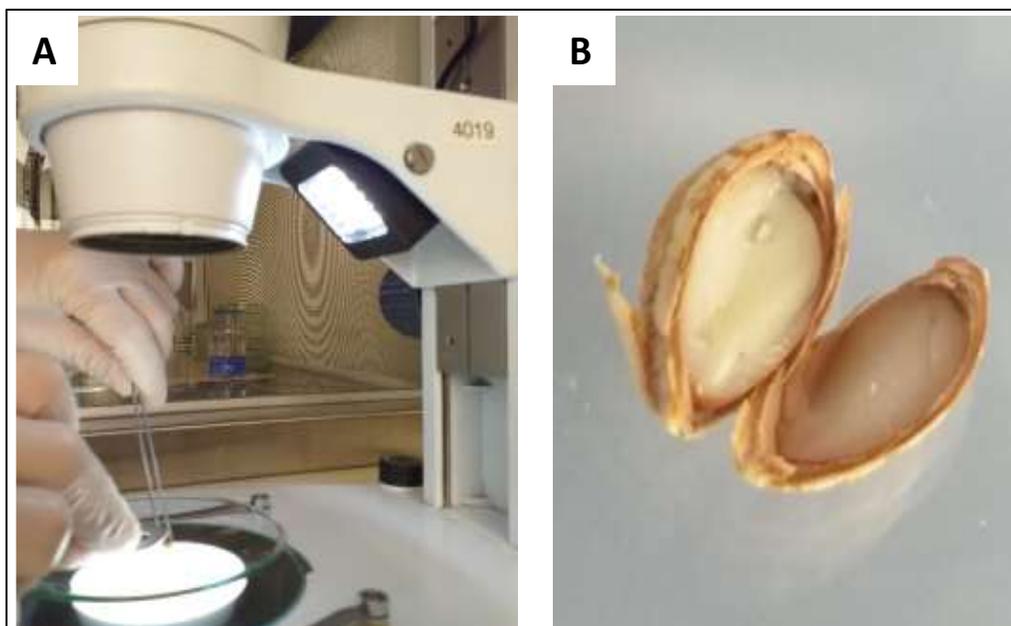


Figura 1. Viabilidad en semilla de *C. chilensis*: (A) Semillas sometidas a prueba de corte. (B) Semillas con embriones viables.

Ensayo de Germinación

Previo a la manipulación de las semillas estas fueron sometidas a un proceso de desinfección consistente en: 5 minutos de remojo en alcohol al 70%, en constante agitación; otros cinco minutos de remojo en una solución de cloro comercial diluida al 20%, también en constante agitación; y tres enjuagues en agua destilada, por 5 minutos cada uno.

Una vez desinfectadas, las semillas fueron manipuladas y establecidas en placas Petri en un medio de crecimiento con agar - agar al 2% e incubadas en cámaras de crecimiento con un fotoperiodo de 12:12 Luz/Oscuridad y 70 % de humedad relativa. El periodo de incubación se extendió hasta que la germinación se mantuvo constante por tres días. Se consideró como semilla germinada a toda aquella que presentó al menos 2 mm de radícula emergida al momento de la revisión (ISTA, 2004).

Para evaluar el comportamiento de la germinación, las semillas fueron sometidas a diferentes temperaturas de incubación, se estableció un experimento de tipo factorial de 3 factores. Los factores fueron (i) la temperatura de incubación (15°C, 20°C, 25°C y 30°C); (ii) la adición de ácido giberélico en el medio de crecimiento (con ácido y sin ácido); y (iii) la extracción del micrópilo (con micrópilo y sin micrópilo). Con ello se formó un diseño factorial de 4 x 2 x 2 donde cada tratamiento contó con 3 réplicas de 10 semillas cada una montada sobre una placa Petri con agar-agar.

Los tratamientos pre germinativos fueron aplicados a las semillas de la siguiente manera:

- Aplicación de ácido giberélico (AG): Las semillas fueron dispuestas dentro de un vaso precipitado de 250 ml, luego se les vertió AG hasta $\frac{1}{4}$ de su volumen, permaneciendo en remojo por 24 h.
- Incisión micrópilo: Antes de sacar el micrópilo, las semillas fueron lavadas tres veces en agua destilada. Posteriormente fueron dispuestas bajo lupa para remover el micrópilo, labor que fue realizada con pinza y bisturí.

La evaluación del número de semillas germinadas fue efectuada cada 2 días para obtener la germinación máxima acumulada expresada en porcentaje de germinación y determinada mediante la expresión (1).

$$G(\%) = \left(\frac{n_i}{N_i} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

G (%): Germinación

n_i : Es el número de semillas germinadas el i-ésimo día

N_i : Es el número de semillas totales

Para comparar los tratamientos se usó la metodología del valor máximo de Czabator (Czabator, 1962) (máximo promedio diario de germinación) y la energía germinativa (porcentaje de germinación acumulado al día donde se produce el valor máximo) (Cabello *et al.*, 2001-2002).

Al final del período de ensayo, se evaluó la capacidad germinativa por medio de un análisis de varianza (ANOVA) y test LSD Fisher para establecer diferencias entre los tratamientos mediante el software Infostat.

Propagación Vegetativa por Estacas

El material de propagación fue obtenido desde individuos juveniles y adultos. Los primeros correspondían a plantas de un año de edad, obtenidas desde semillas; los segundos eran plantas adultas provenientes de poblaciones naturales. El material adulto fue almacenado en cajas refrigeradas a 10 °C y trasladado al laboratorio de la sede Diaguitas del Instituto Forestal en La Serena, para su procesamiento. El material fue dimensionado a una longitud promedio de 8,0 cm \pm 0,5, posteriormente se cortaron las hojas a nivel del peciolo, dejando solo dos hojas en el ápice de cada estaca. Previo al tratamiento cada estaca fue desinfectada mediante su inmersión en una solución con fungicida (Captan 10 g/L) durante 15 minutos. El

sustrato de enraizamiento fue una mezcla de turba con vermiculita, en proporción volumétrica de 1:1. Se utilizó almacigueras de 120 cc. Para evaluar el efecto de la concentración de ácido indol butírico (AIB) y del estado de desarrollo de la fuente de propágulos en el enraizamiento de las estacas, se estableció un diseño experimental que correspondió a 3 bloques completos al azar, considerando un diseño factorial de 4 concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) (0, 1000, 3000, 5000, y 10000 mg/L) y dos tipos de material vegetal (juvenil y adulto). La unidad muestral estuvo constituida por 10 estacas de cada tratamiento en cada uno de los bloques. El ensayo de enraizamiento tuvo una duración de 90 días, a partir del 1° de septiembre de 2019 (**Figura 2**).

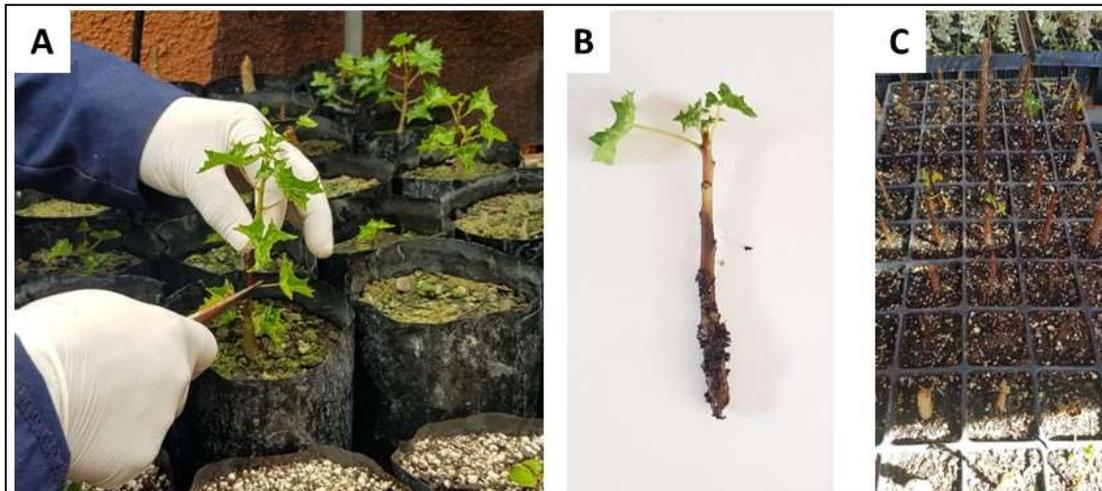


Figura 2. Propagación vegetativa por estacas con material juvenil: (A) Recolección de material juvenil. (B) Estaca. (C) Establecimiento de material vegetal en el medio de crecimiento.

Al final del período de ensayo, se evaluó el porcentaje de estacas enraizadas por medio de un análisis de varianza (ANOVA) y test LSD Fisher para establecer diferencias entre los tratamientos mediante el software Infostat.

RESULTADOS

Germinación de Semillas

Los resultados obtenidos indican que las semillas de *C. chilensis* fueron capaces de germinar en todas las combinaciones ensayadas, obteniendo en promedio un 30% de capacidad germinativa. El análisis de varianza realizado a la germinación final demostró la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos de temperatura de incubación ($p \leq 0,05$), contrariamente a lo ocurrido para la aplicación de ácido giberélico ($p = 0,3459$) y la incisión en el micrópilo ($p = 0,0613$) (**Figura 3, Cuadro 1**). El aumento de la temperatura de germinación a 30°C redujo significativamente la germinación, independientemente del tratamiento aplicado (**Figura 3**).

Los porcentajes significativamente mayores de germinación (50% o superior) fueron obtenidos en semillas incubadas a 25°, 20° y 15°C, remojadas en ácido giberélico y con micrópilo. La germinación más alta se obtuvo para el tratamiento control a 25°C (53% de germinación), seguido por los tratamientos control a 20°C (50% de germinación) y tratamiento con AG-con micrópilo a 15°C (50% de germinación). Para el resto de los tratamientos la germinación fue menor y fluctuó entre 10% y 40% (**Figura 3, Cuadro 1**).

Las mayores energías germinativas, logradas en 14 y 21 días, se evidenciaron en el control a 25°C y en el tratamiento con AG y con micrópilo a 15°C, cuyos porcentajes alcanzaron 46,7% y 43,3%, con valores máximos de Czbator de 3,3 y 2,1, respectivamente (**Cuadro 1**). Para el resto de los tratamientos, los valores de energía germinativa estuvieron por debajo del 40%. A medida que aumentó la temperatura de incubación, sin la adición del ácido giberélico y la incisión del micrópilo, aumento la germinación hasta los 25°C, sobre este valor se redujo significativamente la germinación (**Figura 3**).

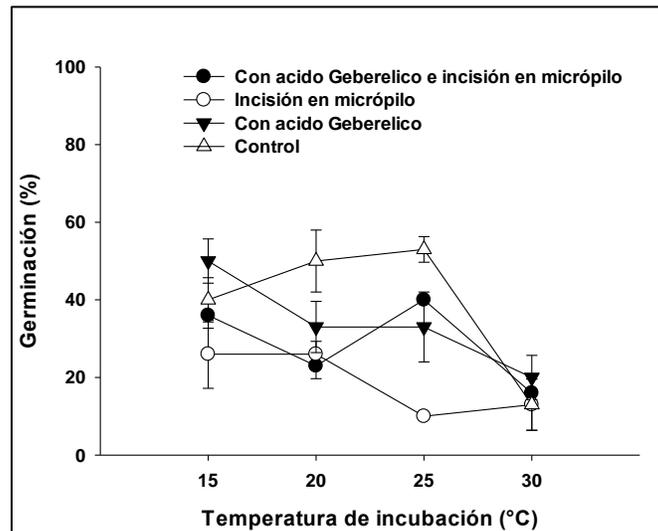


Figura 3. Germinación de *Carica chilensis* con distintos tratamientos pregerminativos

Cuadro 1. Germinación de semillas de *Carica chilensis* bajo distintas temperatura e incubación, inmersión en ácido giberélico (AG) e incisión en el micrópilo.

Temperatura (°C)	Tratamiento	Capacidad Germinativa (%)	Valor Máximo Czbator	Energía Germinativa (%)	Período de Energía (días)
15	Con AG 500-sin micrópilo	36,6 ab	1,6	36,7	23
15	Sin AG-sin micrópilo	26,6 abc	1,3	26,7	21
15	Con AG 500-con micrópilo	50,0 a	2,1	43,3	21
15	Control	40,0 ab	1,9	40,0	21
20	Con AG 500-sin micrópilo	23,3 abc	1,3	20,0	15
20	Sin AG-sin micrópilo	26,7 abc	1,6	23,3	14
20	Con AG 500-con micrópilo	33,3 ab	1,9	30,0	16
20	Control	50,0 a	1,7	26,7	16
25	Con AG 500-sin micrópilo	40,0 ab	2,5	40,0	16
25	Sin AG-sin micrópilo	10,0 c	0,6	6,7	12
25	Con AG 500-con micrópilo	26,6 bc	1,7	26,7	16
25	Control	53,0 a	3,3	46,7	14
30	Con AG 500-sin micrópilo	16,6 bc	1,1	13,3	12
30	Sin AG-sin micrópilo	13,3 c	0,6	13,3	21
30	Con AG 500-con micrópilo	20,0 bc	1,0	16,7	16
30	Control	13,3 c	2,7	13,3	5

Valores acompañados de letras distintas dentro de una columna difieren significativamente según test LSD Fisher ($p < 0,05$). Cada valor es el promedio de 3 réplicas de 10 semillas

Las semillas incubadas a una temperatura de 25°C iniciaron su germinación a los 9 días, aumentando progresivamente hasta el día 19 para posteriormente estabilizarse hasta el final del ensayo (día 26), alcanzando un máximo de germinación final del 53,3%. En cambio, la germinación de las semillas control a 20°C y semillas con AG-con micrópilo a 15°C comenzó a los 12 días y fue aumentando hasta alcanzar el día 26 un máximo del 50% de germinación. Los tres tratamientos alcanzan un máximo de germinación al día 26, no obstante, el tratamiento semillas control a 25°C tiene una respuesta germinativa más rápida, alcanzando su valor máximo el día 19, siete días antes que los otros dos tratamientos. El valor máximo de Czabator alcanzado en estos tres tratamientos fue de 3,3 al día 12 (semillas control 25°C), 2,1 al día 21 (Con AG-con micrópilo 15 °C) y 1,7 al día 21 para el tratamiento semillas control 20°C (Figura 4).

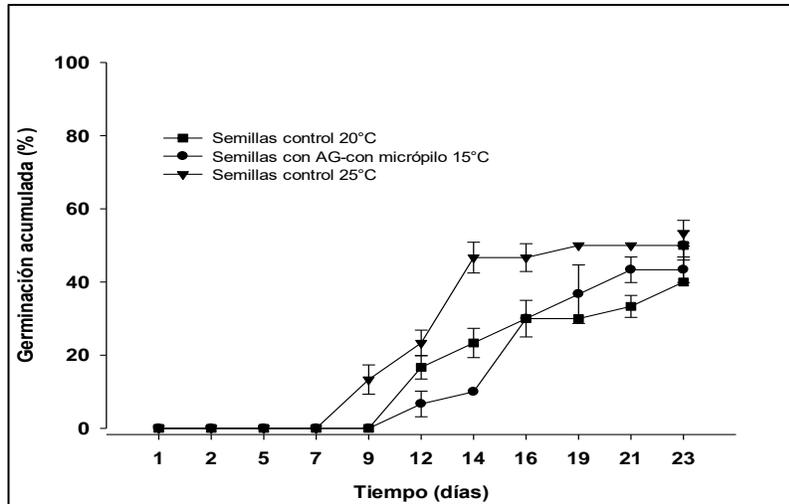


Figura 4. Germinación acumulada con los resultados de los 3 mejores tratamientos pregerminativos aplicados. Cada valor es el promedio de 3 repeticiones de 10 semillas.

La germinación de las semillas de *C. chilensis*, acontece en una primera etapa con la rotura de la testa a los 5 días de establecidas las semillas en el medio de crecimiento, a los 12 días se desarrolla la radícula y con ella las primeras raíces secundarias y al día 26 existe un desarrollo de raíces primarias y secundarias (Figura 5).



Figura 5. Etapa de desarrollo en la germinación de semillas de *Carica chilensis*

Propagación Vegetativa por Estacas

Transcurridos 90 días de establecidas en el medio de crecimiento, el enraizamiento de las estacas provenientes de material juvenil varió desde un 50% con 0 ppm de AIB hasta la nula respuesta con 10.000 ppm de AIB. En cambio, para las estacas recolectadas desde material adulto, no hubo enraizamiento en ningunos de las concentraciones a AIB. La aplicación de AIB, no logró un efecto positivo en el enraizamiento ($P > 0,05$), demostrando la dificultad de propagar vegetativamente *Carica chilensis* mediante estacas (Figura 6).

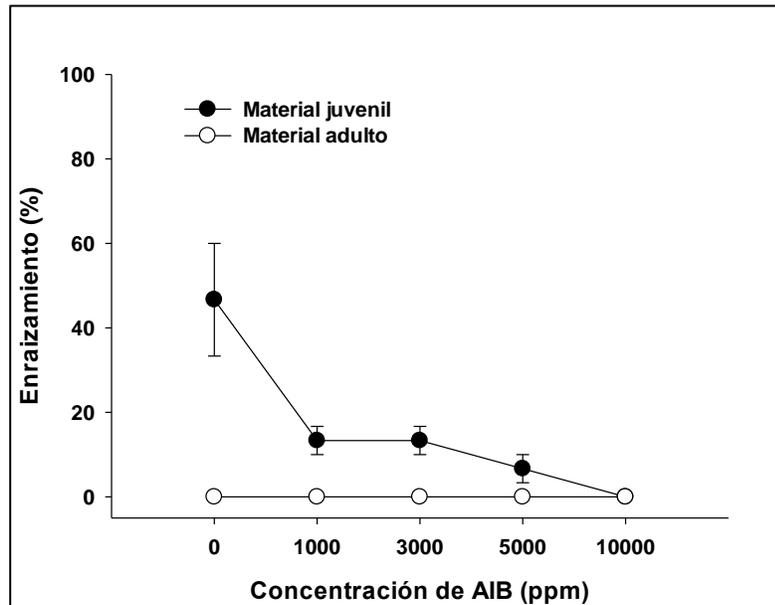


Figura 6. Enraizamiento de estacas provenientes de material juvenil y adulto, sometido a diferentes concentraciones de ácido indol butírico (AIB), en sombreadero al cabo de 90 días invierno.

DISCUSIÓN

Germinación de Semillas

Actualmente existen escasos antecedentes publicados para la germinación de *Carica chilensis* debido principalmente a su escasa producción de frutos. La poca presencia de frutos sería producto de la herbívora sobre plantas (reclutas) y de la alta fragmentación de las poblaciones, esto último asociado a la condición de escasez hídrica de los últimos años y factores de origen antrópico (urbanismo y agricultura) que podrían estar afectando su dinámica reproductiva, tal como se ha descrito para otras especies vegetales de zonas áridas.

De estos factores, la escasez hídrica y la herbivoría parecieran ser las más relevantes. *Carica chilensis* es un arbusto escaso y que en forma natural presenta baja densidad y se restringe a la zona árida del norte de Chile. Dadas las condiciones de ocupación del espacio, la fragmentación de las comunidades que integra y el reducido número de subpoblaciones (20 subpoblaciones), donde se estima un área de ocupación menor de 500 Km² (MMA, 2023).

Lieffer & Shay (1981) señalan que la disponibilidad hídrica afecta la producción de frutos en especies vegetales, ya que influye en el transporte relativo de nutrientes a las estructuras reproductivas y vegetativas. En especies vegetales de zonas áridas, la floración y fructificación son etapas críticas que están bajo el control de mecanismos fisiológicos que son afectados por variables climáticas (Moti, 1979).

Por otra parte, [Figueroa et al. \(2004\)](#), documentan que los estudios sobre germinación de especies del desierto del norte de Chile, son prácticamente inexistentes, dificultando así la discusión sobre su ocurrencia, preponderancia y significado ecológicos de algún mecanismo de latencia. Si se considera que la zona norte de Chile presenta una baja disponibilidad de agua, lo natural es que estas semillas presenten una testa impermeable al agua, que permita que las semillas permanezcan en el suelo por un prolongado tiempo hasta que las condiciones ambientales sean ideales para la germinación y el posterior establecimiento de las plantas. *C. chilensis* es una especie de semillas de longitud promedio de 9,0 mm que no presenta grandes problemas de germinación, en este estudio se obtuvo un 53% de germinación utilizando una temperatura de incubación entre 15 y 25°C. [Roberts & Neilson \(1980\)](#) señalan que las especies con semillas pequeñas requieren un mayor tiempo y mayores volúmenes de agua para germinar. A su vez, estas semillas pequeñas son las que permanecen viables por períodos prolongados de tiempo.

El porcentaje de germinación del 53 y 50% obtenido con los tratamientos: a) Semillas control 25°C. b) Con AG-con micrópilo 15°C, y c) Semillas control 20°C, muestra resultados superiores a los documentados por [Leal \(2013\)](#), quien señala solo un 14% de germinación en semillas de *C. chilensis*, cuyo procedimiento fue remojar en agua oxigenada al 1,7% durante 12 horas, lavado y secado para un posterior remojo en ácido giberélico durante 24 horas a una concentración de 250 ppm. Esta diferencia de la capacidad germinativa se puede deber a la época de recolección de la semilla, en este procedimiento para algunas especies, como el papayo, es fundamental el grado de maduración del fruto que afecta sobremanera la calidad de la semilla.

La germinación lograda en los tratamientos que consideraban remojo por 24 horas en ácido giberélico, no se diferenció significativas de los demás tratamientos, contradiciendo lo reportado por [Panta \(1992\)](#) y [Rojas \(1996\)](#), quienes estudiando el efecto del ácido giberélico en la germinación de la semilla de papaya, concluyeron que el remojo de la semilla en ácido giberélico favorece el porcentaje de germinación y acelera la germinación y la velocidad de la misma.

Por otra parte, el lavado de las semillas para eliminar el mucílago que las rodea, es un factor preponderante para su germinación. [Bermúdez-Guzmán et al. \(2017\)](#), indican que se debe eliminar la sustancia que cubre la semilla de papaya, ya que la fermentación de la misma reduce considerablemente el poder germinativo de las semillas. Si bien ambos tratamientos presentaron igual capacidad germinativa, al analizar la velocidad de germinación (Valor máximo de Czabator), el tratamiento consistente solo en una temperatura de incubación de 25°C resulta con mejores resultados, al lograr un más rápido inicio de la germinación.

El comportamiento de germinación de las semillas de *C. chilensis* indica una adaptación de la especie para poder germinar en la naturaleza, bajo las condiciones de temperatura que se registran durante las estaciones de primavera y verano en la zona norte de Chile, época del año que concuerda con la producción de frutos y dispersión de las semillas. Al caer al suelo, el material reproductivo encontraría condiciones de temperatura para germinar, sin embargo, no estarían las condiciones climáticas de precipitaciones para asegurar su establecimiento, condiciones que concuerdan con la escasa a nula regeneración natural de la especie.

Propagación Vegetativa

Los resultados de enraizamiento obtenidos en este estudio sugieren que *Carica chilensis* presenta problemas para la reproducción vegetativa mediante estaca provenientes de material adulto, existiendo una nula respuesta en la formación de raíces. El arraigamiento de estacas para algunas especies está condicionado por el árbol madre de donde provienen. Para muchas de ellas hay un factor genético que limita el proceso rizogénico, existiendo genotipos con mayor o menor capacidad para producir raíces adventicias. Sin embargo, en este estudio se recolectaron estacas de individuos adultos de un total de 3 poblaciones de la especie, mostrando todas nula respuesta al enraizamiento. Si se considera las condiciones climáticas extremas del lugar, estas incitarían un mínimo desarrollo de crecimiento vegetativo, el que se evidencia en la escasez de yemas y un disminuido desarrollo de hojas provocando bajos niveles de auxinas endógenas ([Hartmann et al., 2002](#)).

Santelices & Cabello (2006) comentan que la baja respuesta en el enraizamiento en algunas especies se debe probablemente a la época de recolección de las estacas, siendo este un factor importante a considerar para la inducción de raíces. Este argumento es concordante con lo descrito por Spethmann (1982), quien encontró variaciones en las tasas de enraizamiento con material recolectado en diferentes épocas estacionales. Sin embargo, estacas provenientes de plantas jóvenes de vivero, puestas a enraizar sin la aplicación de AIB, presentaron un 50% de enraizamiento, coincidiendo con antecedentes bibliográficos que destacan la importancia de seleccionar material proveniente de plantas sanas y vigorosas, influyendo también la edad de la planta madre y su estado fisiológico (Delgado *et al.*, 2008; Hartmann *et al.*, 2002).

A medida que aumentó la concentración hormonal disminuyó el porcentaje de enraizamiento, resultados que difieren con numerosos estudios en el sentido de que la aplicación de AIB es un procedimiento que influye en el enraizamiento (Krisantini *et al.*, 2003; Santelices & Cabello, 2006; Bettioli-Neto *et al.*, 2006) y se debe a que esta fitohormona aumenta el transporte de carbohidratos a la base del corte, estimulando la formación de raíces adventicias (Hartmann *et al.*, 2002).

Sin embargo, otros estudios concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación, donde las auxinas sintéticas y sus diferentes concentraciones no tuvieron un efecto significativo sobre las variables estudiadas (Hernández *et al.*, 2005; Ruiz *et al.*, 2005; Latsague *et al.*, 2009). Según Hartmann *et al.* (2002), se debe a que las auxinas exógenas no tuvieron un reconocimiento por parte de las células o proteína receptora para originar algún cambio metabólico, o la concentración interna de fitohormona no fue la suficiente para inducir raíces adventicias. Los resultados obtenidos en este estudio contradicen a lo señalado por Hartmann *et al.* (2002), donde el AIB no es tóxico en un amplio rango de concentraciones, porque se encontró que el aumento de las concentraciones de AIB provocó una disminución significativa del porcentaje de enraizamiento de la especie.

CONCLUSIONES

Para efectos de propagación *ex situ*, la latencia que presentan las semillas de *C. chilensis* puede romperse usando de una temperatura de incubación de 25°C. Se sugiere el uso de semillas maduras, lavadas con abundante agua y secadas a temperatura ambiente. La propagación por semillas resulta ser una alternativa atractiva para reproducir esta especie por conservar su variabilidad genética. Sin embargo, la escasa disponibilidad de semillas dificulta propagarla.

Vegetativamente, la especie puede propagarse por estacas provenientes de plantas juveniles, sin necesidad de aplicar hormona de enraizamiento (AIB).

Ambas técnicas, propagación por semilla y vegetativa, pueden funcionar como complementos y contribuir a la conservación de la especie.

Dado que C. chilensis presenta una seria amenaza de extinción, se necesita urgentemente una adecuada estrategia de conservación, la cual debe considerar una mezcla de métodos de propagación, como las realizadas en este estudio. Sumado a lo anterior, se debe considerar una estrategia adecuada en términos de la restauración ecológica de esta especie, en la cual se considere la incorporación de la máxima diversidad genética de la misma.

RECONOCIMIENTOS

Este tema de investigación fue desarrollado gracias al Programa de Restauración de Ecosistemas de alto valor ecológico financiado por el Ministerio de Agricultura y al apoyo del proyecto “Estudio de Métodos y Técnicas Silvícolas para la Recuperación de formaciones xerofíticas con presencia de *Myrcianthes coquimbensis*, *Carica chilensis* y *Cordia decandra*” financiado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo.

REFERENCIAS

- Arroyo, M.T.K., Marquet, P., Marticorena, C., Simonetti, J.A., Cavieres, L.A., Squeo F.A & Rozzi, R. (2004). Chilean winter rainfall-Valdivian forests. En: Mittermeier, R.A., Gil, P.R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G., Lamoreux, J. & da Fonseca, G.A. (Eds). Hotspots Revisited: Earth's Biologically Wealthiest and most Threatened Ecosystems: 99-103. CEMEX, México D.F.
- Arroyo, M., Marquet, P., Marticorena, C., Cavieres, L., Squeo, F., Simonetti Zambelli, J., Rozzi, R. & Massardo, F. (2006). El hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. Diversidad de ecosistemas, ecosistemas terrestres. En: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120068>. Consulta: marzo, 2020.
- Bermúdez-Guzmán, M.J., Guzmán-González, S., Lara-Reyna, J., Palmeros-Suárez, P.A., López-Muraira, I.G. & Gómez-Leyva, J.F. (2017). Presence of Papaya ringspot virus (PRSV) in weed associated with *Carica papaya* in Colima, México. Revista Mexicana de Fitopatología, 36(1): 1-15. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-2>
- Bettioli-Neto, J.E., Pio, R., Bueno, S.C.S., Bastos, D.C. & Scarpere-Filho, J.A. (2006). Enraizamiento de estacas dos porta-enxertos araticum-de-terra-fria (*Rollinia* sp.) e araticum-mirim (*Rollinia emarginata* Schtdl.) para anonáceas. Ciência e Agrotecnologia, 30(6): 1077-1082. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000600005>
- Cabello, A., Sandoval, A. & Carú, M. (2001-2002). Efecto de los tratamientos pregerminativos y de las temperaturas de cultivo sobre la germinación de semillas de *Talguenea quinquenervia* (Talguén). Ciencias Forestales, 16(1-2): 11-18.
- Castro, N. (2007). La desertificación de los suelos en Chile, un mal mayor.
- Cuevas, R.A. (1991). Estudio de la distribución local y descripción ecológica de las poblaciones de *Carica chilensis* (Planch.) Solms-Laub. Del Parque Nacional Fray Jorge. Memoria para optar al título profesional de Ing. Forestal, Universidad de Chile, Santiago, p 128.
- Czabator, F.J. (1962). Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. Forest Science, 8(4): 386-396.
- Delgado, M., Cuba, M., Hechenleitner, P. & Thiers, O. (2008). Propagación vegetativa de taique (*Desfontainia spinosa*) y tepa (*Laureliopsis philippiana*) con fines ornamentales. Bosque, 29(2): 120-126. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002008000200004>
- Emanuelli, P., Milla, F., Duarte, E., Torrealba, J., Garrido, C., Orellana, O., López, S. & Colmenares, M.V. (2016). Diagnóstico de la desertificación en Chile y sus efectos en el desarrollo sustentable. Sud-Austral Consulting SpA, Santiago de Chile, marzo de 2016. En: https://www.researchgate.net/publication/312139716_Diagnostico_de_la_desertificacion_en_Chile_y_sus_efectos_en_el_desarrollo_sustentable. Consulta: marzo, 2020.
- Figueroa, J.A., Lobos, P., Cavieres, L.A., Pichard, H. & Way, M. (2004). Ecofisiología de semillas en ambientes contrastantes de Chile: Un gradiente desde ecosistemas desérticos a templados-húmedos. En: Marino, H. (Ed). Fisiología Ecológica en Plantas Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas. EUV Valparaíso (Chile). Pp: 81-98.
- Hartmann, H.T., De Kester, F.T., Davies, J.R. & Geneve, R.L. (2002). Plant propagation: Principles and practices. New Jersey, USA. Prentice Hall. 880 p.
- Hechenleitner, P., Gardner, M.F., Thomas, P.I., Echeverría, C., Escobar, B., Brownless, P. & Martínez, C. (2005). Plantas amenazas del Centro-Sur de Chile: Distribución, Conservación y Propagación. Universidad Austral de Chile-Royal Botanic Garden Edinburgh. Valdivia, Chile. 188 pp.
- Hernández, J.R., Aramendia, H. & Cardona, C.E. (2005). Influencia del ácido indolbutírico y ácido naftalenacético sobre el enraizamiento de esquejes de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Temas Agrarios, N° 10. Pp: 5-13. <https://doi.org/10.21897/ta.v10i1.626>
- ISTA (2004). International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association (ISTA). 2004.. Zurich, Switzerland. 243 p.

- Krisantini, S., Johnston, M., Williams, R.R. & Beveridge, C. (2003).** Propagation of *Grevillea*. Combined Proceeding. The International Plant Propagators' Society, N° 53. Pp: 154-158.
- Lagos, V., Torres, J.M. & Noton, C. (2001).** Conservación de la Diversidad Biológica: El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) como herramienta de Gestión para la Región de Coquimbo. En Libro Rojo de La Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación. Ediciones Universidad de la Serena.
- Latsague, M., Sáez, P. & Yáñez, J. (2009).** Efecto del ácido indolbutírico en la capacidad rizogénica de estacas de *Eucryphia glutinosa*. Bosque, 30(2): 102-105. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002009000200006>
- Lentz, H. & Johnson, A. (1998).** Factors affecting germination of endangered northeastern Bulrush, *Scirpus ancistrochaetus* Schuyler (*Cyperaceae*). Seed Sci. Tech., 26, in press.
- Leal, V. (2013).** Esfuerzos de propagación de *Carica chilensis* (Palo Gordo) Propagation Palo Gordo (*Carica chilensis* (Planch. ex A.DC.) Solms.). Sociedad agronómica de Chile. Simiente 83(1- 4): I-XVII.
- Lieffers, V.J. & Shay, J.M. (1981).** The effect of water level on the growth and reproduction of *Scirpus maritimus* var. *paludosus*. Canadian Journal of Botany, N° 59. Pp: 118-121. <https://doi.org/10.1139/b81-019>
- Moti, J.J. (1979).** Flowering, seed formation and dispersal. In: Arid-land ecosystems. International Biological Program 16, Cambridge University Press 1: 627-646.
- MMA (2005).** Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres Según Estado de Conservación, Ley 19.300. Ministerio del Medio Ambiente. 2005. Disponible en: <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>. Consulta: marzo, 2020.
- MMA (2023).** Clasificación de Especies según Estado de Conservación Listado de Especies Clasificadas desde el 1º al 18º Proceso de Clasificación RCE (actualizado a octubre de 2023). Ministerio del Medio Ambiente. En: <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>
- Navarro, C. (2015).** Caracterización de la flora y vegetación del sitio sector norte de Quilpué, y su valorización como sitio de alto valor para la conservación de la biodiversidad en la Región de Valparaíso. Memoria para optar al título profesional de Geógrafa, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. 117 pp.
- Panta, MA. (1992).** Efecto del ácido giberélico en la germinación y crecimiento de la papaya (*Carica papaya* L.) a nivel de vivero. Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional de Piura. 109 p.
- Roberts, HA. & Neilson, JE. (1980).** Seed survival and periodicity of seedling emergence in some species of *Atriplex*, *Chenopodium*, *Polygonum* and *Rumex*. Annual Applied Biology, N° 94. Pp: 111-120. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1980.tb03902.x>
- Rojas, H.S. (1996).** Efecto de la Aplicación del ácido giberélico y de la profundidad de siembra sobre la germinación de la semilla de papaya (*Carica papaya* L.) Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional de Piura. 111 p.
- Ruiz, R., Vargas, JJ., Cetina, VM. & Villegas, A. (2005).** Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina arborea* Roxb. Revista Fitotecnia Mexicana, 28(4): 319-326. <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.4.319>
- Santelices, R. & Cabello, A. (2006).** Efecto del ácido indolbutírico, del tipo de la cama de arraigamiento, del sustrato y del árbol madre en la capacidad de arraigamiento de estacas de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. Revista Chilena de Historia Natural, N° 79. Pp: 55-64. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2006000100005>
- Santibáñez, F., Santibáñez, P. & Solís, L. (2008).** Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de Cambio Climático. Capítulo "Análisis de vulnerabilidad silvoagropecuaria en Chile frente a escenarios de Cambio Climático". Centro AGRIMED. Universidad de Chile.
- Spethmann, W. (1982).** Stecklingsvermehrung von Laubbaumarten. I. Versuche mit Ahorn, Esche, Eiche, Buche, Kirsche, Linde, Birke. Allgemeine Forst-und Jagdzeitung, N° 153. Pp: 13-24.
- Squeo, F., Arancio, G. & Gutiérrez, J. (2001).** Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.