



ARTÍCULO

Variabilidad espacial y temporal del tamaño de embrión, viabilidad de semillas y emergencia de plántulas en *Araucaria araucana*.

Jorge González Campos¹; Laura Koch Zúñiga¹; Tamara Vera Castro¹; Marcela Ortiz Toledo¹; Roberto Ipinza Carmona² & Edison García Rivas¹.

¹ Instituto Forestal, sede Biobío. Concepción, Chile. jgonzalez@infor.cl

² Instituto Forestal, sede Los Ríos. Valdivia, Chile

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2025.624>

Recibido: 30.9.2024; Aceptado 25.03.2025.

RESUMEN

La *Araucaria araucana* es una conífera nativa de los bosques templados de Chile y Argentina, catalogada como "En Peligro" por la IUCN debido a la reducción de sus poblaciones. Este estudio evaluó la viabilidad de semillas de distintas localidades utilizando la prueba bioquímica de tetrazolio y la comparó con datos de emergencia en vivero, determinando que, para estimar la emergencia a partir de la viabilidad, es necesario aplicar un factor de corrección de aproximadamente 12% a los seis meses. Además, se evaluó la pérdida de viabilidad en una procedencia tras distintos periodos de almacenamiento (3, 6 y 9 meses), observándose una disminución significativa después de 9 meses, con una reducción del 72% respecto al 100% inicial. Los resultados subrayan la importancia de sembrar las semillas en el corto plazo tras la cosecha y validan el uso del tetrazolio como herramienta útil para estimar viabilidad, aunque requiere ajustes para su aplicación en esta especie. Estos hallazgos tienen implicancias directas para el manejo y conservación de *A. araucana*.

Palabras clave: *Araucaria araucana*, viabilidad seminal, conservación *ex situ*, almacenamiento de semillas, morfología embrionaria, semillas recalcitrantes.

SUMMARY

Araucaria araucana is a conifer native to the temperate forests of Chile and Argentina, currently classified as "Endangered" by the IUCN due to population declines. This study evaluated seed viability from different localities using the biochemical tetrazolium test and compared the results with nursery emergence data. It was determined that, to estimate emergence based on viability, a correction factor of approximately 12% is needed after six months. Additionally, viability loss was assessed in one seed source after different storage periods (3, 6, and 9 months), revealing a significant decline after 9 months, with a 72% reduction compared to the initial 100% at harvest. The results highlight the importance of sowing *A. araucana* seeds shortly after collection and support the use of the tetrazolium test as a useful tool for estimating viability, although its application requires adjustment for this species. These findings have direct implications for the management and conservation of *A. araucana*.

Keywords: *Araucaria araucana*, seed viability, *ex situ* conservation, seed storage, embryo morphology, recalcitrant seeds.

INTRODUCCIÓN

El Pehuén o *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch es una de las coníferas nativas más longevas de los bosques templados de Chile y Argentina, reconocida por su incuestionable valor cultural, social y ecológico. Esta especie posee una distribución disyuntiva, con dos poblaciones localizadas en la Cordillera de la Costa y otras en la Cordillera de los Andes, abarcando un rango que va desde los 37° 20'S hasta los 40° 20'S (Bekessy *et al.*, 2004).

Históricamente, las poblaciones de *araucaria* cubrían alrededor de 504.000 ha en Chile, pero hacia finales del siglo XX esta cifra se redujo a aproximadamente 254.000 ha (Lara *et al.*, 1999). En 2020 la superficie

de bosques del tipo forestal Araucaria se estimó en 252.217 ha, según el Catastro Vegetacional de la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2021), con mayor concentración en la Región de La Araucanía, seguida de la Región del Biobío y en menor medida en la Región de Los Ríos.

En términos de conservación, la *A. araucana* enfrenta serios desafíos. A nivel nacional, según el Reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, la especie está categorizada como "En Peligro" para las poblaciones de la Cordillera de Nahuelbuta y como "Vulnerable" para aquellas en la Cordillera de Los Andes. Internacionalmente, también ha sido clasificada como "En Peligro" por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) y enlistada en los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

Comprender la biología reproductiva de una especie es una herramienta efectiva para apoyar su conservación. En el caso de la *A. araucana*, su ciclo de formación completa, desde la fertilización hasta la madurez del cono, dura aproximadamente 16 a 18 meses. Los estróbilos masculinos comienzan a aparecer entre agosto y septiembre, mientras que los femeninos se observan a partir de noviembre (Troncoso, 2015). Este extenso período de desarrollo determina que, al momento de la cosecha de frutos se puedan encontrar en el mismo árbol tanto conos maduros como otros en desarrollo (Montaldo, 1974 citado por Taha *et al.*, 2011). Las condiciones climáticas y las características del suelo influyen en este proceso. Factores como la disponibilidad de agua, la temperatura y la fertilidad del suelo pueden modificar el éxito reproductivo y la regeneración natural de la especie (Joswig *et al.*, 2021)

Las semillas de araucaria, conocidas comúnmente como "piñones", son comestibles y representan un elemento vital tanto para la ecología local como para la cultura de las comunidades indígenas de la región. Esta comprensión detallada de su ciclo reproductivo es crucial para establecer estrategias de manejo y conservación que aseguren la supervivencia y prosperidad de esta especie emblemática de los bosques templados de Chile y Argentina.

Para estimar la capacidad germinativa en semillas, los ensayos en condiciones controladas pueden realizarse tanto en laboratorio como vivero, siendo ambas metodologías válidas técnicamente. La Asociación Internacional de Pruebas de Semillas o ISTA (www.seedtest.org) ha establecido normas para ajustar estas pruebas a cada especie. Sin embargo, estas normas no abarcan de manera adecuada a todas las especies leñosas (Barone *et al.*, 2016).

El tiempo necesario para completar estas pruebas en vivero puede ser prolongado, llegando a los 35 días o más para algunas especies (Silva *et al.*, 2016; Serrato *et al.*, 2019). Esto puede resultar en un consumo excesivo de tiempo y en un retraso en la obtención de los resultados finales, lo que representa un problema en situaciones en que se requiere sembrar de manera inmediata debido a restricciones de tiempo, costos y fundamentalmente por la condición de recalitrantes de las semillas de araucaria, cuyo almacenamiento no resulta recomendado por la pérdida de viabilidad que reduce su capacidad germinativa, sugiriéndose su siembra y viverización en el corto plazo postcosecha (León-Lobos *et al.*, 2014).

Por otra parte, la prueba bioquímica indirecta utilizando Tetrazolio (2,3,5-trifeniltetrazolio) se presenta como una alternativa útil, tanto para semillas con y sin latencia (Flemion & Poole, 1948, cit. por Baskin & Baskin, 2014). Esta prueba permite estimar la viabilidad de las semillas cuando deben ser sembradas poco después de la cosecha (RNGR 1995; León-Lobos *et al.*, 2014; Baskin & Baskin, 2014), siendo una herramienta para el monitoreo de bancos de semillas.

El principio bioquímico es la formación de un rojo carmín claro sobre los tejidos, resultante de la reducción del 2,3,5-trifenil tetrazolio al 1,3,5-trifenilformazán (Baskin & Baskin, 2014). Una semilla viable debe mostrar una coloración roja o rosada en todos los tejidos cuya viabilidad es necesaria para el normal desarrollo de las plántulas, tal coloración indica que el tejido es viable (ISTA, 2024). No obstante, la metodología de prueba del tetrazolio debe estandarizarse para las semillas de cada especie, principalmente debido a las diferencias en su morfología y composición química (Oliveira *et al.*, 2014).

Los objetivos del presente artículo son:

- (i) Caracterizar morfológicamente embriones de distintas localidades e identificar variaciones espaciales en los parámetros entre macrozonas.
- (ii) Evaluar la viabilidad y germinación de las semillas de distintas localidades, determinando patrones espaciales y diferencias significativas en estos parámetros.
- (iii) Estimar la variación temporal de la viabilidad de lotes de semillas de *Araucaria araucana* provenientes de distintas localidades;

MATERIAL Y MÉTODO

Material Vegetal

Se utilizaron semillas de *A. araucana* de 458 progenies provenientes de su distribución natural, obtenidas en una campaña de colecta efectuada en el verano-otoño del año 2018 en el marco del proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF) promovido por el Ministerio de Agricultura y ejecutado colaborativamente por el Instituto Forestal (INFOR), la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Un lote adicional de semillas provenientes de Lonquimay, en la región de la Araucanía, fue provisto por el proyecto FIBN 011/2018 a principios de abril 2022. Todas las semillas fueron almacenadas en cámara de frío a 4°C hasta su análisis. Para la evaluación de viabilidad mediante la prueba de tetrazolio, se seleccionó una muestra de 10 semillas por árbol colectado en cada localidad. Todas las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Semillas del Instituto Forestal en Concepción.

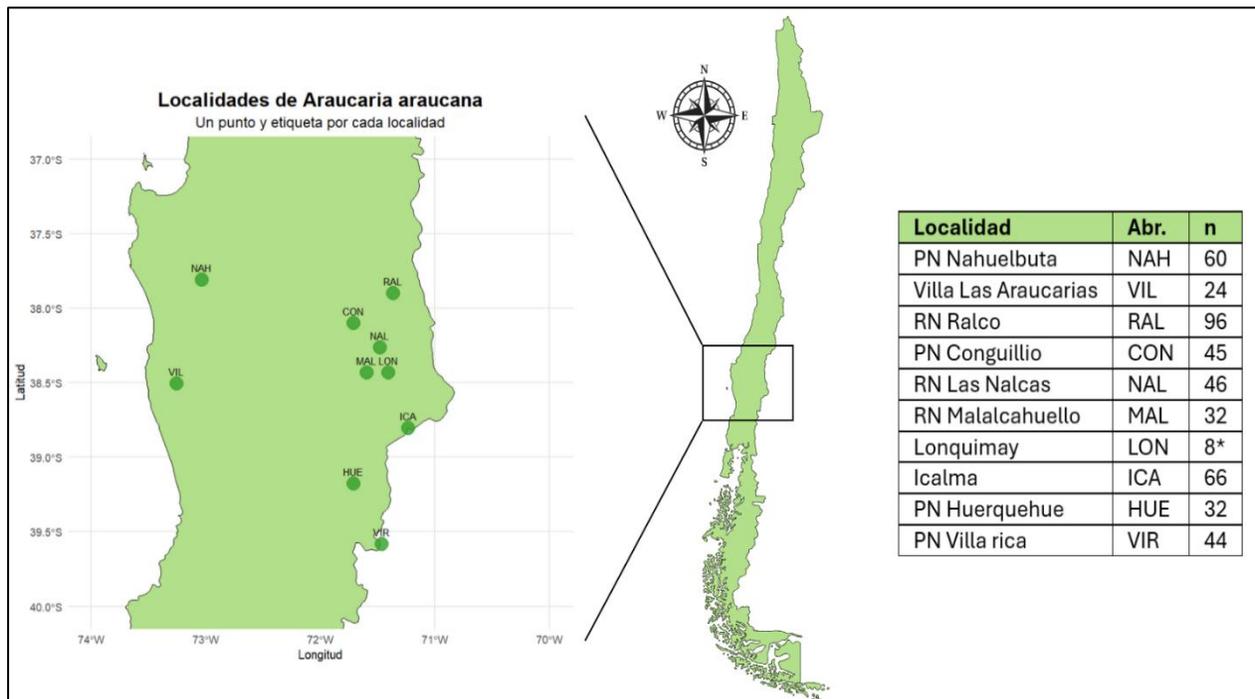


Figura 1: Localidades de *Araucaria araucana*. Cada punto en el mapa representa una localidad de muestreo, con su respectiva etiqueta y el número de árboles (n) muestreados en cada ubicación. (*) Un lote de esta familia fue utilizado para estudio temporal. (Elaboración propia).

Acondicionamiento de Muestras para Análisis de Viabilidad

Previo al análisis de viabilidad, las muestras se dejaron embebidas en agua destilada estéril, refrigeradas a 4°C por 48 horas, con el objeto de ablandar las semillas y aumentar la actividad de la enzima hidrogenasa, que cataliza la conversión del tetrazolio en formazán, reacción que permite evaluar la actividad respiratoria de la semilla y, por lo tanto, su viabilidad.

Al aumentar la actividad de la hidrogenasa, se facilita la conversión del tetrazolio y se obtienen resultados más precisos en la evaluación de la viabilidad de las semillas. Posterior al remojo, a cada semilla se le extrajo su embrión intacto separando el tejido nutritivo (megagametofito), esta actividad se realizó manualmente usando un bisturí N° 11, cuidando de no dañar mecánicamente el embrión para no interferir con la viabilidad interna, embriones dañados en el proceso de rescate no fueron considerados en el análisis (**Figura 2**). El largo y ancho del embrión fue determinado mediante un pie de metro, previo a ser embebidos en agua.



Figura 2: Procedimiento de rescate manual de embriones a partir de semillas de *Araucaria araucana* remojadas en agua destilada por 48 horas. (Elaboración propia).

Solución de Tetrazolio

Para la preparación de la solución de tetrazolio se pesó 0,1 g de cloruro de Tetrazolio en polvo (Marca Merck, N° 1083800010) utilizando una balanza analítica Marca Intelligent (Weighing Technology), Modelo AS220/C/2, precisión 0,01 g, el polvo fue disuelto en 100 mL de una solución tampón fosfato, la cual fue preparada a partir de:

- Solución 1: 9,078 g de KH_2PO_4 /1000 mL de agua destilada/desionizada.
- Solución 2: 9,472 g de Na_2HPO_4 /1000mL de agua destilada/desionizada.

Los embriones fueron embebidos en la solución de Tetrazolio (Tz) hasta cubrirlos por completo, luego puestos en un horno de secado (Marca Memmert, Modelo 600) a 30°C por 18 horas. Tras este tiempo, se realizó un conteo de embriones y un registro fotográfico. Cada embrión fue examinado y clasificado como viable o no viable utilizando una escala cualitativa (**Cuadro 1**), adaptada de un estudio para *Araucaria angustifolia* efectuado por Oliveira *et al.* (2014). Los resultados se expresaron como porcentaje promedio de viabilidad estimada de las réplicas.

Cuadro 1. Categorías de semillas/embriones de *Araucaria araucana* obtenidas mediante la prueba de Tetrazolio.

Embriones viables	Embriones No viables
-Embrión de color rosado y tejidos con apariencia normal y firme.	-Más del 50% de los cotiledones descoloridos o intensamente rojos, afectando o no la región de inserción con el eje embrionario;
-Menos del 50% de los cotiledones descoloridos o intensamente rojos, sin afectar la región de unión al eje embrionario. Otras regiones con color rosado y tejidos firmes.	-Embrión completamente descolorido o intensamente rojo.

(Fuente: Adaptado de Oliveira *et al.*, 2014)

Análisis de Datos

Para la caracterización morfológica de los embriones, se les midió el ancho y largo utilizando un pie de metro digital. Las diferencias significativas entre localidades fueron determinadas mediante la prueba de Kruskal-Wallis, dado que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Posteriormente, se realizaron comparaciones múltiples mediante la prueba *post hoc* de Dunn, aplicando una corrección de Bonferroni para ajustar los valores p , esto dado la heterogeneidad en los tamaños los grupos.

La viabilidad espacial entre localidades fue comparada utilizando la prueba de Kruskal-Wallis, con comparaciones múltiples mediante la prueba *post hoc* de Dunn y corrección de Bonferroni. Este análisis se llevó a cabo utilizando todas las semillas disponibles por localidad. Adicionalmente, las diferencias relativas entre la viabilidad estimada por tetrazolio y la emergencia observada en vivero se analizaron calculando la *diferencia porcentual relativa* (RPD, *por sus siglas en inglés*) para cada localidad. Los datos de emergencia de los lotes fueron obtenidos durante la etapa de viverización del Proyecto SIMEF y publicados previamente por Gutiérrez (2021).

Para la estimación de la viabilidad temporal, se trabajó con un total de 100 embriones x 4 réplicas x 4 periodo de almacenamiento para un lote proveniente de Lonquimay. Los periodos correspondieron intervalos de tres meses: abril (cosecha) - julio - octubre y diciembre. Previo a los análisis de comparación de medias, se realizó una transformación angular a los porcentajes de embriones viables antes de llevar a cabo el análisis de varianza de medidas repetidas. Posteriormente, se evaluaron las diferencias entre los tiempos de almacenamiento mediante el ANOVA, seguido de comparaciones *post hoc* para identificar diferencias específicas entre los periodos.

La correlación entre los parámetros morfológicos de los embriones y su viabilidad fue determinada utilizando el coeficiente de Pearson.

RESULTADOS

Morfología de Embriones por Localidad

La tendencia de los parámetros morfológicos, largo y ancho de los embriones de *A. araucana*, muestra una variación gradual a lo largo de la latitud, revelando diferencias significativas entre las localidades estudiadas (**Figura 3**). En la macrozona Andes, se observa una variación clinal, evidenciando un aumento en el largo de los embriones, a medida que aumenta la latitud. Por el contrario, al comparar las dos localidades costeras el largo y ancho disminuyeron al aumentar la latitud.

La correlación entre los parámetros morfológicos y la viabilidad muestra una tendencia negativa con el tamaño ($r = -0,41$) y ancho del embrión ($r = -0,43$), indicando que semillas más grandes y anchas tienden

a ser menos viables. El tamaño y ancho del embrión presentan una fuerte correlación (0,85), reflejando su interdependencia estructural.

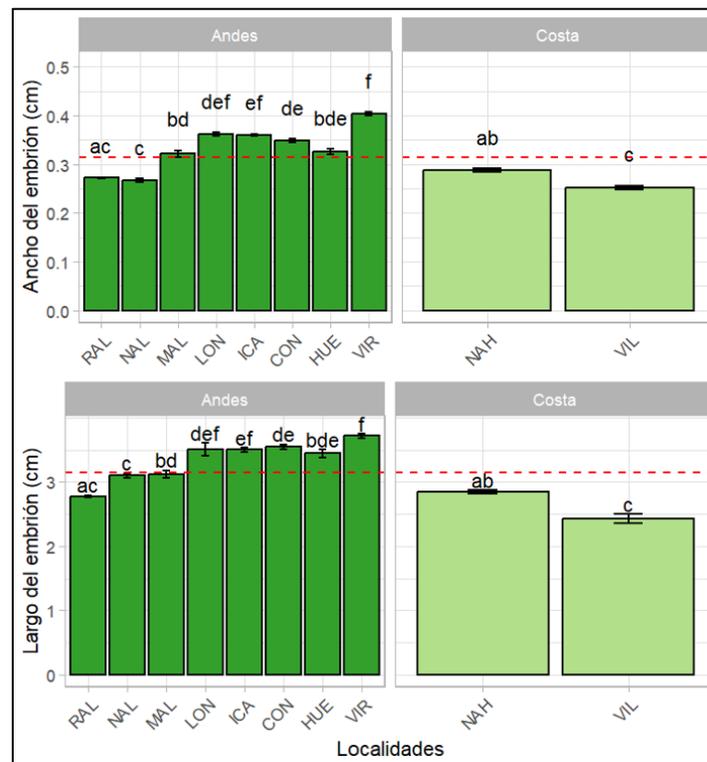


Figura 3. Diferencias en los parámetros morfológicos del embrión entre localidades de *Araucaria araucana* mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Las letras distintas indican diferencias significativas según análisis *post hoc* mediante la Prueba de Dunn de comparaciones múltiples ajustadas con el método de Bonferroni ($\alpha = 0.05$). La línea roja discontinua representa el promedio general.

Variabilidad Espacial de Viabilidad y Emergencia

En el **Cuadro 2**, se presenta un análisis comparativo entre los parámetros de viabilidad estimada por tetrazolio y la emergencia observada en vivero (Gutiérrez, 2021). A 3 meses desde la siembra, el promedio de la diferencia relativa entre estos parámetros es de 26,7%, es decir existe una sobreestimación de la emergencia respecto a la viabilidad inicial. Los valores más altos de RPD fueron observados en las localidades de ICA (44,44%) y CON (34,15%). Mientras que los valores más bajo se mostraron en las MAL (10,74%) y NAL (11,26%), respectivamente.

A 6 meses desde la siembra, la diferencia promedio relativa disminuyó a casi a la mitad, alcanzando los 12,24%, evidenciando una asociación mayor. En este caso, la localidad que mostró mayor discrepancia fue VIR, con 41,34%. En contraste, ICA (0,16%) y LON (2,64%) presentaron valores mínimos, evidenciando una alta coherencia entre la viabilidad estimada y la germinación final.

Existen diferencias espaciales significativas en la viabilidad de las muestras, con VIL mostrando el mayor porcentaje de viabilidad ($0,88 \pm 0,06$). En contraste, VIR tuvo la menor viabilidad ($0,60 \pm 0,14$). En cuanto a la emergencia de plántulas, los resultados a los 3 meses muestran que ICA tiene la menor emergencia ($0,49 \pm 0,14$), mientras que VIL y NAH tienen una emergencia superior al 0,6. A los 6 meses, la tendencia se mantiene con ICA y VIR mostrando los peores resultados.

Cuadro 2. Comparación de la viabilidad estimada mediante tetrazolio y la emergencia observada en vivero en *Araucaria araucana*. Se incluye el RPD (Diferencia relativa de porcentaje) entre la viabilidad estimada y la emergencia observada. Las diferencias significativas entre localidades fueron evaluadas mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida de comparaciones múltiples post hoc con la prueba de Dunn ($\alpha = 0.05$). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

Localidad	Viabilidad Tetrazolio (%)	Emergencia Vivero 3 meses (%)	RPD (%)	Emergencia Vivero 6 meses (%)	RPD (%)
PN Nahuelbuta	0,77 ± 0,09 ^c	0,64 ± 0,07 ^{cd}	18,44	0,78 ± 0,08 ^{ab}	0,94
Villa Las Araucarias	0,88 ± 0,08 ^{de}	0,70 ± 0,16 ^e	22,78	0,77 ± 0,17 ^{bc}	12,10
PN Ralco	0,87 ± 0,05 ^d	0,63 ± 0,15 ^{cde}	32,00	0,79 ± 0,14 ^{bc}	8,43
RN Las Nalcas	0,75 ± 0,13 ^{bc}	0,67 ± 0,10 ^{de}	11,26	0,85 ± 0,09 ^d	14,67
RN Malalcahuello	0,89 ± 0,04 ^e	0,59 ± 0,14 ^{bc}	40,54	0,77 ± 0,11 ^{ab}	13,16
Lonquimay	0,80 ± 0,05 ^{cd}	0,65 ± 0,15 ^{cde}	20,69	0,82 ± 0,10 ^{bcd}	2,64
Icalma	0,77 ± 0,08 ^{bc}	0,49 ± 0,14 ^a	44,44	0,77 ± 0,10 ^{ab}	0,16
PN Conguillío	0,72 ± 0,13 ^b	0,51 ± 0,16 ^{ab}	34,15	0,85 ± 0,08 ^d	18,27
PN Huerquehue	0,76 ± 0,09 ^{bc}	0,56 ± 0,13 ^{bc}	30,30	0,84 ± 0,08 ^{cd}	10,74
PN Villarrica	0,60 ± 0,14 ^a	0,53 ± 0,14 ^{ab}	12,38	0,85 ± 0,07 ^{cd}	41,34
Promedio	0,78 ± 0,12	0,59 ± 0,13	26,70	0,81 ± 0,11	12,24

Variabilidad Temporal de la Viabilidad

La viabilidad promedio de las semillas, estimada mediante prueba de tetrazolio, fue del 100% al momento de la cosecha (abril). Tres meses después se registró una leve disminución al 98,3%, y seis meses después alcanzó un 89%. Finalmente, a los 9 meses mostró una reducción acentuada con respecto al periodo inicial, alcanzado solo un 28% (**Figura 4**).

El ANOVA de medias repetidas reveló que durante los primeros 6 meses de almacenamiento en frío (4°C) posterior a la cosecha, no hubo una pérdida significativa de viabilidad ($p > 0,05$). En contraste, al llegar a los 9 meses la reducción de viabilidad es abrupta, presentando una diferencia significativa con respecto a la cosecha ($p < 0,05$), reflejando una marcada pérdida de calidad en las semillas almacenadas.

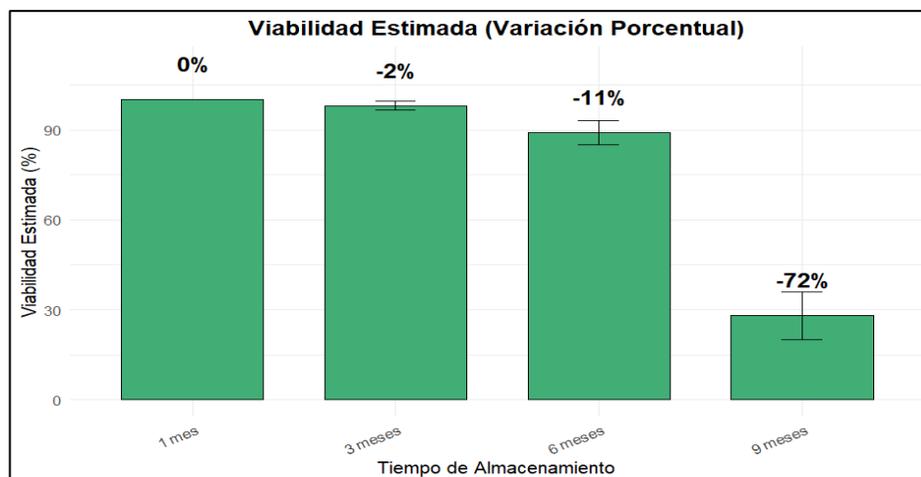


Figura 4. Viabilidad promedio (%) de semillas de *Araucaria araucana* durante distintos periodos de almacenamiento (Cosecha, 3 meses, 6 meses y 9 meses). Los puntos negros representan los promedios estimados, mientras que las barras sombreadas indican intervalos de confianza al 95%.



Figura 5: Pérdida de viabilidad de las semillas de *Araucaria araucana* con el tiempo, reflejada en la disminución de la tinción con tetrazolio al 5%. Tinción de embriones inmediatamente después de la cosecha (arriba); y tinción de embriones después de seis meses almacenados en cámara de frío a 4°C.

DISCUSIÓN

Los embriones cigóticos de *A. araucana* han sido estudiados con fines de propagación de la especie. Jerez (2000) usó embriones cigóticos para la germinación directa en cultivo *in vitro* y Riffo (2024) empleó embriones cigóticos inmaduros en protocolos de embriogénesis somática. No obstante, existe escasa información disponible sobre caracterización morfológica de embriones cigóticos del género *Araucaria*. Haines (1983) realizó un trabajo en algunas especies, reportando rangos de longitud de embriones en *Araucaria cunninghamii* (0,7–1,1 cm), *A. heterophylla* (1–1,3 mm), *A. bidwillii* (3,2–4,1 cm), *A. hunsteinii* (1,5–1,9 cm) y *A. angustifolia* (3 cm). Comparando con los resultados obtenidos en el presente estudio, los embriones de *A. araucana* se sitúan en un rango de 2,5 – 3,5 cm, siendo comparables con *A. angustifolia* y *A. bidwillii*. Un mayor tamaño también implica una mayor sensibilidad a la desecación en el género, requiriendo un contenido de humedad específico (25 - 40%) para mantener su capacidad germinativa (Tompsett, 1984). En este estudio, se confirma una correlación inversa moderada entre el tamaño de los embriones y su viabilidad.

En relación a los parámetros morfológicos de largo y ancho del embrión, se observó que las dos localidades de la Costa (NAH y VIL) y la localidad de RAL, en la distribución norte de Los Andes, tienden a formar un grupo con semillas más pequeñas. Esto es de esperar, dado que estas son las poblaciones más afectadas por el cambio climático según un modelamiento bioclimático en el marco del proyecto SIMEF (Santibáñez y Santibáñez 2018; Ipinza y Müller-Using 2021). Si bien, estos resultados permiten comparar poblaciones, futuros estudios donde se modelen estos rasgos deberían analizar estos grupos por separado para evitar interpretaciones erróneas.

La viabilidad estimada mediante tetrazolio presentó diferencias significativas entre las localidades, con una media de $78 \pm 12\%$ (**Cuadro 2**). Sin embargo, estas diferencias no siguen un patrón geográfico claro. La decoloración observada en los cotiledones planteó dudas respecto a si eran verdaderamente inviábiles, o si la presencia del tejido nutritivo dificultaba la difusión de la solución de tetrazolio. *Silva et al. (2016)* explican que, la estructura del endoesperma puede influir en la interpretación de los resultados, cuando el endoesperma es muy denso dificulta la difusión del tetrazolio, lo que puede resultar en áreas sin coloración aparentando tejido muerto. Por otro lado, un endoesperma menos denso permite una coloración excesiva que podría confundirse con signos de deterioro. Asimismo, la concentración de la solución de tetrazolio también influye significativamente en la coloración, para las especies del género *Araucaria* se han usado soluciones entre 0,1-0,5% (*Oliveira et al., 2014; Shibata & Coelho, 2016; Silva et al. 2016*).

La viabilidad estimada mediante tetrazolio tiende a sobrestimar la emergencia real en vivero (*Gutiérrez, 2021*). Esto debido a que, si bien el tetrazolio mide la viabilidad fisiológica de los tejidos, la emergencia esta influenciada por factores externos como las condiciones ambientales y prácticas de manejo en el vivero. El RPD promedio entre la viabilidad y la emergencia fue de 26% y 12% a los 3 y 6 meses, respectivamente. Indicando una discrepancia significativa entre ambos métodos. Este resultado es esperable, en etapas tempranas de viverización, debido a que la emergencia es un parámetro visible para el viverista, aun así, considerando la forma de germinar de *A. araucana* es posible que la semilla haya germinado sin que el brote haya emergido, lo que puede subestimar la emergencia observada. Aunque la prueba de tetrazolio es destructiva, su ventaja es que entrega resultados más certeros que una prueba de corte y flotación (*León-lobos et al., 2014*), y requiere menos tiempo que los métodos estándar propuestos por la ISTA (*Oliveira et al., 2014*). Para usarla como indicador de viabilidad y proyectar la emergencia, se debe considerar este factor de corrección.

La viabilidad de *A. araucana* alcanza su límite, antes de una disminución significativa, tras 180 días de almacenamiento, como se observó en este estudio. No obstante, esto también dependerá del estado de madurez de la semilla, contenido de humedad y tipo almacenamiento. Trabajos previos indican que las semillas de *A. araucana* se mantienen viables entre 90 y 120 días después de lograr la maduración, perdiendo rápidamente su poder germinativo (*Barret, 1958 cit. por Zavala, 2018*). En *A. angustifolia* se reporta una viabilidad óptima entre 120-180 días, en semillas recolectadas en etapas tempranas de maduración y mantenidas entre 5-8°C (*García & Madeiros, 2015; Shibata & Coelho, 2016*). El almacenamiento en cámaras de frío (5°C), presentan la mayor efectividad para mantener la viabilidad y capacidad germinativa, mientras que a temperaturas bajo 0°C o bien temperatura ambiente, resultan inadecuados (*García & Madeiros, 2015*).

Para esta especie es esencial garantizar una adecuada ventilación de sus semillas durante el almacenamiento, por el contrario, empacar estas semillas en grandes volúmenes compactos puede ocasionar problemas como asfixia, daño fisiológico, proliferación de hongos y sobrecalentamiento, lo que resultaría en una rápida pérdida de su viabilidad (*Troncoso, 2015*).

CONCLUSIONES

Se confirma que la viabilidad de las semillas de *Araucaria araucana*, estimada mediante la prueba de tetrazolio, disminuye significativamente después de 9 meses de almacenamiento en cámara de frío (4°C). Se mantiene una viabilidad de 64% hasta 180 días posterior de la cosecha. Sin embargo, el descenso progresivo en la viabilidad entre los 6 y 9 meses subraya la necesidad de utilizar las semillas dentro de un periodo limitado tras la cosecha para maximizar su potencial germinativo.

La viabilidad estimada por tetrazolio y la emergencia real en vivero presentan discrepancias, destacando la importancia de considerar factores adicionales, como las condiciones del sustrato y las prácticas de manejo, al proyectar el éxito de germinación en campo. De requerir una aproximación rápida de la emergencia mediante estimación de la viabilidad como indicador, aplicar un factor de corrección de aproximadamente 12% a los 6 meses.

Las implicaciones prácticas de este estudio para la conservación y restauración de poblaciones de *A. araucana*, recomiendan el uso inmediato de semillas frescas y almacenamiento controlado en frío, bordando los 5°C, como estrategias clave para programas de reforestación y manejo de germoplasma.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al investigador Sr. Roberto Ipinza por la valiosa colaboración en su conocimiento y la facilitación del material del proyecto "SIMEF: Migración Asistida de *Araucaria araucana*". También agradecemos a los investigadores Oscar Larraín y Edison García por su aporte de material en el marco del proyecto FIBN 011/2018 "Métodos y cuotas de recolección de semillas de *Araucaria araucana* para cautelar el equilibrio ecosistémico de esta especie en su área de distribución".

REFERENCIAS

- Barone, J., Duarte, E. & Luna, C. (2016).** Determinación de la eficacia de métodos de evaluación de calidad de semillas de especies forestales nativas de la Selva Atlántica. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 24(2): 70-71.
- Baskin, CC. & Baskin, JM. (2014).** *Seeds: ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination*. 2da Edición. Editorial Elsevier.
- Bekessy, S., Lara, A., González, M., Cortez, M., Gallo, L., Premoli, A., Newton, A. & Izquierdo, F. (2004).** Variación en *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. En: Donoso, C., Premoli, A., Gallo, L. & Ipinza, R. (Eds). Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. Santiago. Pp: 215-231.
- CONAF. (2021).** Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile al año 2020. Departamento de monitoreo de ecosistemas forestales. Santiago. Chile 76 p. En: <https://sit.conaf.cl/> (Consulta: 2 octubre, 2024).
- García, C., & Medeiros, CM. (2015).** Establishment of post-harvest early-developmental categories for viability maintenance of *Araucaria angustifolia* seeds. *Acta Botanica Brasílica*, 29(4): 524-531. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0061>
- Gutiérrez, B. (2021).** Análisis de la emergencia de plántulas durante la viverización de una colección de semillas de 418 familias de *Araucaria araucana*. En: Ipinza, R & Müller-Using, S (Eds). Migración asistida de *Araucaria araucana*. Santiago de Chile, FAO y MINAGRI. <https://doi.org/10.4060/cb2901es>.
- Haines, RJ. (1983).** Embryo development and anatomy in *Araucaria* Juss. *Australian Journal of Botany*, 31(2): 125-140. <https://doi.org/10.1071/BT9830125>
- ISTA (International Seed Testing Association). (2024).** International Rules for Seed Testing 2024.
- Ipinza, R. y Müller-Using, S. (2021).** Migración asistida de *Araucaria araucana*. Santiago de Chile, FAO y MINAGRI. <https://doi.org/10.4060/cb2901es>
- Jerez, J. (2000).** Propagación de *Araucaria araucana* (Mol) C. Koch mediante cultivo in vitro de embriones maduros aislados. Tesis de pregrado para obtener el grado de Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción.
- Joswig, JS., Wirth, C., Schuman, MC., Kattge, J., Reu, B., Wright, IJ., Sippel, SD. et al. (2021).** Climatic and soil factors explain the two-dimensional spectrum of global plant trait variation. *Nature Ecology & Evolution*, 5(12): 36-50. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01616-8>
- Lara, A., Solari, M. E., Rutherford, P., Thiers, O., Trecaman, R., Prieto R., & Montory, C. (1999).** *Cobertura de la vegetación original de la ecorregión de los bosques valdivianos en Chile hacia 1950*. Informe Técnico. Proyecto FB 49-J WWF/ Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- León-Lobos, P., Sandoval, A.C., Bolados, G., Rosas, M., Stark, D. & Gold, K. (2014).** Manual de recolección y procesamiento de semillas de especies forestales. Boletín INIA N° 280. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile. 96 p.

- Oliveira, L.M.D., Gomes, J.P., Souza, G.K., Nicoletti, M.F., Liz, T.O.D., & Pikart, T.G. (2014).** Metodología alternativa para o teste de tetrazólio em sementes de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Floresta e Ambiente, N° 21. Pp: 468-474. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.064413>
- Riffo, D.C. (2024).** Caracterización e inducción de embriogénesis somática en *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch.: especie en peligro (EN). Tesis de Magíster, Universidad de Concepción]. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile.
- RNGR. (1995).** Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen 6: Propagación de Plantas. Capítulo 2. Reforestation, Nurseries, & Genetic Resources. En: <https://rngr.net/publications/publicaciones-en-espanol> (Consulta: 5 marzo, 2023)
- Santibáñez, F. & Santibáñez, P. (2018)** Evaluación de las forzantes bioclimáticas en la sustentabilidad de las comunidades de Araucarias en Chile Hacia una estrategia de conservación del patrimonio natural frente a la amenaza del cambio climático Infodep Santiago, agosto de 2018
- Serrato, F., Serra Negra, E. & Panobianco, M. (2019).** Tetrazolium test for *Pinus taeda*: preparation, staining, and seed viability classes. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, v.54, e01088, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.01088>
- Shibata, M. & Coelho, C.M. (2016).** Early harvest increases post-harvest physiological quality of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) seeds. Revista de Biología Tropical, 64(2): 885–896. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i2.19254>
- Silva, B.A., Nogueira, J.L., Vieira, E.S. & Panobianco, M. (2016).** Critérios para condução do teste de tetrazólio em sementes de araucária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 51(1): 61–68. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000100008>
- Taha, E., Casanova, G., Navarro, R & Fundación para la Innovación Agraria (FIA). (2011).** Resultados y lecciones en producción, técnicas de postcosecha y desarrollo de productos a partir del Piñón: proyecto de Innovación en Región del Biobío y Región de La Araucanía. Diversificación. FIA.
- Tompsett, P.B. (1984).** Desiccation studies in relation to the storage of Araucaria seed. Annals of Applied Biology, 105(3): 581–586. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1984.tb03073.x>
- Troncoso, A. (2015).** Evaluación del proceso de germinación de la especie *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. proveniente del sitio prioritario de conservación de Villa Las Araucarias, Región de La Araucanía. Memoria para optar al Título de Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Zavala, H.J. (2018).** Análisis de la producción, germinación y viabilidad de semillas de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch, para tres años de fructificación y tres localidades de la comuna de Lonquimay, Región de la Araucanía. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza Universidad de Chile. Santiago.