



APUNTE

Simposio Migración asistida de *Araucaria araucana*: Causas, acciones y perspectivas futuras.Roberto Ipinza Carmona^{1*} & Santiago Barros Asenjo².¹ Instituto Forestal, sede Los Ríos. Valdivia, Chile. Roberto.ipinza@infor.cl² Instituto Forestal, sede Metropolitana. Santiago, Chile.

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.612>

Recibido: 15.06.2024; Aceptado 20.07.2024.

RESUMEN

En 2019 INFOR inició un programa sobre migración asistida de *Araucaria araucana*. Este programa ha instalado 54 ha de ensayos de procedencia y progenies, dentro y fuera de las áreas de distribución natural de la especie entre las regiones del Biobío y Aysén, donde se incluyen 458 familias de la distribución andina y costera de la especie.

El interés nacional e internacional generado por este programa motivó la organización y realización del Simposio «Migración Asistida de *Araucaria araucana*: causas, acciones y perspectivas futuras». Este evento fue organizado por INFOR en forma paralela al VIII Congreso Forestal Latinoamericano (CONFLAT) y al V Congreso Forestal Argentino, que tuvieron lugar en la ciudad de Mendoza, Argentina, del 27 al 30 de marzo de 2024. Los principales alcances de este Simposio se detallan en el presente documento.

Palabras clave: *Araucaria araucana*, Migración asistida.

SUMMARY

In 2019 INFOR initiated a program about assisted migration of *Araucaria araucana*. Currently it has installed 54 ha of progeny provenance trials, inside and outside the natural distribution areas of the species between the regions of Biobío and Aysén, where 458 families of the Andean and coastal distribution of the species are included.

The national and international interest generated by this program motivated the organization and holding of the Symposium "Assisted Migration of *Araucaria araucana*, causes, actions and future perspectives". This event was organized by INFOR as a parallel event to the VIII Latin American Forestry Congress (CONFLAT) and the V Argentinean Forestry Congress, which took place in the city of Mendoza, Argentina, from 27 to 30 March 2024. The main scope of this Symposium is detailed in this document.

Key words: *Araucaria araucana*, assisted migration

INTRODUCCIÓN

La *Araucaria araucana* es una especie emblemática de los bosques de Chile y Argentina que en los últimos años ha estado sometida a una fuerte presión de selección debida al cambio climático, el que la ha predispuesto al denominado daño foliar de la araucaria (DFA), enfermedad que está comprometiendo al 85% de las poblaciones chilenas de esta especie y que ha motivado el cambio de su estado de conservación, particularmente en las procedencias de la Cordillera de la Costa, desde Vulnerable a En Peligro de Extinción.

Como una medida de conservación para sobrellevar este adverso escenario, INFOR dio inicio a un visionario programa de migración asistida. En esta iniciativa de migración se recolectó semillas desde 458

individuos representativos de sus poblaciones a lo largo de su distribución natural en las Cordilleras de la Costa (2 estratos genéticos) y de Los Andes (3 estratos genéticos).

Las semillas fueron viverizadas, con el importante apoyo de Forestal Mininco (CMPC), manteniendo la identificación familiar (árbol madre), y dieron origen a una extensa colección de plantas que se ha establecido en terreno en un total hasta ahora de 54 ha, en seis unidades de conservación, estructuradas todas ellas como ensayos de progenie y procedencia, e instaladas en áreas de acogida tanto fuera como dentro de la distribución natural de la especie, desde la región del Biobío a la región de Aysén. Estas áreas de acogida fueron previamente seleccionadas mediante proyecciones climáticas para los próximos 50 y 70 años, de modo que presenten condiciones idóneas para el desarrollo de araucaria, en términos de ofrecer el menor estrés bioclimático integral, entendido este como un índice que promedia los estreses térmicos por altas y bajas temperaturas y el estrés hídrico estival.

En general, el programa de migración pretende salvaguardar el potencial evolutivo de la araucaria y establecer poblaciones base para futuras iniciativas de restauración con el material genético rescatado. En tal contexto, en noviembre de 2022, durante el Congreso Chileno de Ciencias Forestales, realizado en Santiago, especialistas argentinos que participaban en este y que estaban empezando a organizar el VIII Congreso Forestal Latinoamericano (CONFLAT) y el V Congreso Forestal Argentina, a efectuarse en Mendoza en 2023, invitaron a investigadores de INFOR a estudiar la posibilidad de realizar un evento paralelo, en el tema de la Migración de la Araucaria, bajo el auspicio del CONFLAT 2023.

Se estudió esta posibilidad en INFOR y se revisó su factibilidad con especialistas nacionales en araucaria, los cuales se interesaron en la propuesta. Se tomó la decisión institucional de llevar adelante la idea, lográndose el auspicio de BIOFOREST (Arauco). La línea de investigación Conservación y Mejoramiento Genético de INFOR procedió al desarrollo de un programa con el apoyo de BIOFOREST, Universidad de Chile, Universidad de Concepción e INTA de Argentina, el cual una vez consensuado se postuló a CONFLAT 2023 siendo aceptado. Esto condujo a que, como evento paralelo a CONFLAT 2023 en Mendoza, Argentina, se efectuase el Simposio “Migración Asistida de *Araucaria araucana*: Causas, Acciones y Perspectivas Futuras”, cuyos principales alcances se resumen en este documento.

SIMPOSIO MIGRACIÓN ASISTIDA DE *Araucaria araucana*

Programa

El simposio se desarrolló el día 27 de marzo de 2023, en la ciudad de Mendoza, Argentina, como evento paralelo dentro del VIII Congreso Forestal Latinoamericano CONFLAT 2023. El programa del evento se detalla en la **Figura 1**, donde se especifican las presentaciones de los investigadores del Instituto Forestal de Chile (INFOR), Bioforest (Arauco), Universidad de Chile (UCh), Universidad de Concepción (UdeC) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina (**Figura 2**).

La apertura estuvo a cargo de la Directora Ejecutiva de INFOR, Dra. Sandra Gacitúa, quien puso en muy especial relieve el enfoque público privado de esta importante actividad de rescate genético para la conservación de esta emblemática especie forestal, crecientemente amenazada por el cambio climático. La Dra. Gacitúa destacó la cooperación de entidades de los sectores público y privado para iniciar el proceso de migración asistida de la especie con las primeras 54 ha de ensayos de procedencia-progenie establecidos en Chile entre las regiones de Biobío y Aysén.

PROGRAMA	
VIII Congreso Forestal Latinoamericano V Congreso Forestal Argentino  	
SIMPOSIO Migración asistida de Araucaria (<i>Araucaria araucana</i> (Mol.) K. Koch.): causas, acciones y perspectivas futuras	
Organizado por: Instituto Forestal (INFOR) Chile - (robertoipinza@infor.cl)	
Fecha: 27 de marzo de 2023	
Horario: 10:45 hs. a 16:00 hs.	
Lugar: Sala Horcones. Centro de Congresos y Exposiciones "Dr. Emilio Civit", Ciudad de Mendoza	
10:00 a 10:45	Registro
10:45 a 11:00	Migración Asistida: Un enfoque Público-Privado para abordar el cambio climático. Dra. Sandra Gacitúa. Directora Ejecutiva. INFOR. Chile
11:00 a 11:30	El cambio climático. ¿Por qué, cuándo y cómo hacer Migración Asistida? Dr. Roberto Ipinza. Investigador. INFOR. Chile
11:30 a 12:00	Estado actual de los aspectos sanitarios de la <i>Araucaria araucana</i>. Dr. Rodrigo Ahumada. Investigador Bioforest, Arauco. Chile
12:00 a 12:30	Programa de Migración Asistida de la <i>Araucaria araucana</i> en Chile. Dr. Roberto Ipinza. Investigador. INFOR. Chile
12:30 a 13:00	Discusión Moderador: Dr. Leonardo Gallo. INTA. Argentina
13:00 a 14:00	Almuerzo
14:00 a 14:30	Caracterización temprana de procedencias de <i>Araucaria araucana</i> para selección de material. Dr. Carlos Magni. Investigador Universidad de Chile. Chile.
14:30 a 15:00	Sistema de Base de Datos de la <i>Araucaria araucana</i>. Ing. Jorge González. Investigador. INFOR. Chile
15:00 a 15:30	Genómica para establecer estrategias de flujo génico y migración asistida. Dr. Rodrigo Hasbún. Investigador Universidad de Concepción. Chile. Moderador. Dr. Roberto Ipinza. INFOR. Chile
15:30 a 16:00	Discusión y Cierre Reflexiones sobre Migración Asistida en un mundo cambiante Moderador: Dr. Leonardo Gallo. INTA. Argentina

Figura 1. Programa del simposio



Figura 2. Expositores del simposio. De izquierda a derecha: Rodrigo Hasbún Zaror (UdeC), Carlos Magni Díaz (UCh), Rodrigo Ahumada Núñez (Bioforest), Leonardo Gallo (INTA), Roberto Ipinza Carmona (INFOR) y Jorge González Campos (INFOR).

Desarrollo

El Dr. Roberto Ipinza se refirió, en dos presentaciones, a las principales causas asociadas al cambio climático que están incidiendo en la sobrevivencia de la especie, para destacar posteriormente cómo la migración asistida surge como la tecnología de conservación genética más apropiada para salvaguardar su potencial adaptativo, explicando detalladamente el proceso de migración asistida de *Araucaria araucana* puesto en práctica en Chile en términos operacionales.

Las **Figuras 3, 4 y 5** ilustran algunos de los aspectos fundamentales del programa de migración asistida presentado. La descripción completa del programa puede consultarse en Ipinza *et al.* (2024), en tanto que los trabajos *in extenso* del simposio en versión powerpoint se pueden revisar en Ipinza *et al.* (2023).



Figura 3. Viverización de plantas

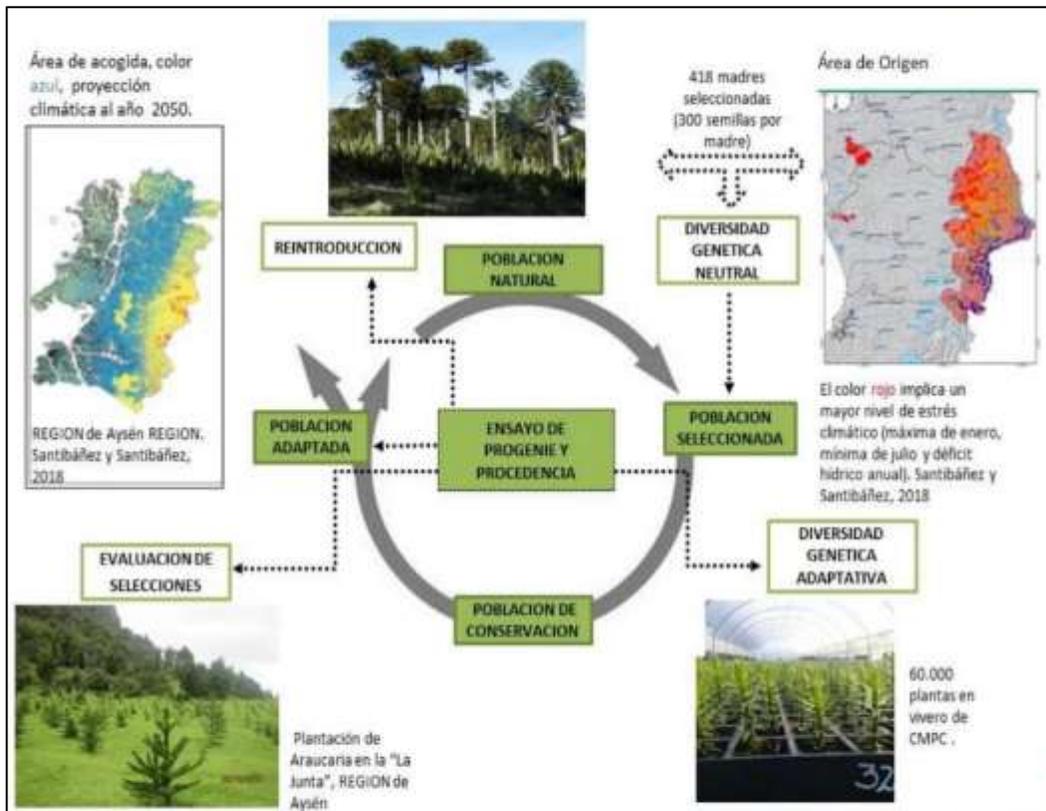


Figura 4. Modelo de migración asistida



Figura 5. Establecimiento de ensayos de procedencia progenie

El Dr. Rodrigo Ahumada señaló la presencia de hongos nativos patógenos que son los responsables del síndrome Daño Foliar de la Araucaria (DFA) (**Figura 6**), indicando que se ha identificado a *Pewenomyces kutranfy* como agente causal principal, y a otras tres especies del mismo género asociadas al daño. El profesional analizó el programa futuro para entender la dinámica patológica en el contexto del cambio climático, comentando también que dos fungicidas, Captan y Tebuconazol, logran inhibir el crecimiento *in vitro* del hongo.



Figura 6. Daño foliar de la araucaria (DFA).

El Dr. Carlos Magni, mostró los análisis efectuados durante las etapas iniciales de la viverización, para demostrar la variabilidad morfológica y fenológica de la muestra de procedencias y familias de araucaria (450 familias) utilizadas para iniciar la migración asistida (**Figura 7**). Analizando la germinación y el crecimiento inicial de plantas, comparados con muestras adicionales de semillas (4 lotes comerciales),

indicó diferencias significativas en el efecto del contenido de humedad inicial de las semillas sobre la germinación y sobre el crecimiento inicial de las plantas. Revisó caracteres tempranos de plantas en ensayo de progenies en vivero, que le permitieron detectar que las diferencias morfológicas son influenciadas por variables geográficas y climáticas de las procedencias (**Figura 8**).



Figura 7. Colección de semillas analizadas.



Figura 8. Material para plantación

El Ing. Jorge Gonzalez explicó en detalle el sistema de base de datos del proyecto de Migración Asistida de *Araucaria araucana*. Desde los árboles madres y sus procedencias, las semillas y la viverización de plantas, hasta los ensayos de procedencia progenie (**Figura 9**), que generan un gran cúmulo de información y registros, donde el sistema de base de datos constituye la columna vertebral para la toma de decisiones que permitan optimizar y monitorear el proceso a lo largo del tiempo.



Figura 9. Plantas y ensayos de terreno

El Dr. Rodrigo Hasbún estableció una estrategia de flujo genético para la migración asistida de *Araucaria araucana*, planteando que al combinar la genómica ecológica y el modelado de nicho se puede evaluar las respuestas de las poblaciones sujetas al cambio climático (**Figura 10**). Planteó el desplazamiento genómico como una medida del desajuste en la asociación genotipo clima y los futuros climas potenciales. Así, la idea de buscar poblaciones donantes de genes con adaptación resulta atractiva.

Al cierre del simposio, el Dr. Leonardo Gallo formuló una serie de reflexiones sobre las poblaciones de araucaria en Argentina, entre ellas su distribución longitudinal muy fragmentada y bajo una marcada heterogeneidad, sus distancias de polinización, la dispersión de sus semillas y las presiones a que están sometidas desde los puntos de vista ambientales y sociales (**Figura 11 y 12**). Comentó respecto a diferentes iniciativas que se han desarrollado para el estudio y conservación de la araucaria (**Figura 13**). Finalmente, realizó un sucinto resumen, destacando en primer lugar el modelo público privado involucrado en el rescate genético de las poblaciones de esta icónica especie forestal. En segundo lugar, planteó la importancia de haber iniciado un programa de conservación para salvaguardar el potencial evolutivo y, por último, recomendó monitorear los ensayos de progenie y procedencia para continuar estudiando la biología reproductiva de la araucaria, la relación genotipo-clima-enfermedades y la expresión de genes adaptativos.

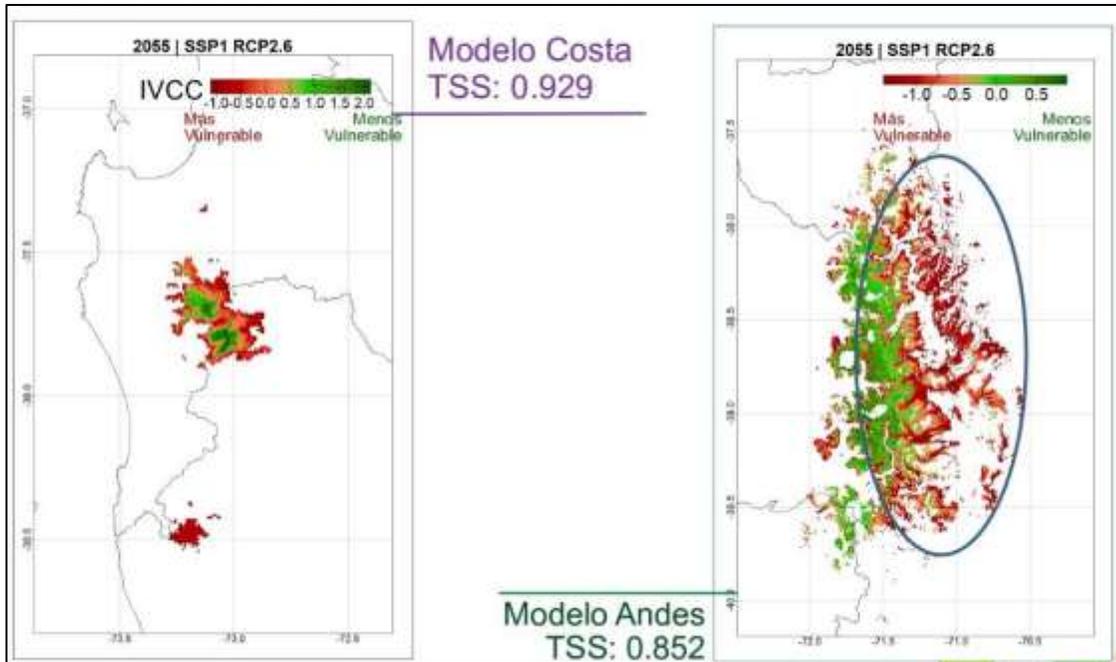


Figura 10. Distribución de araucaria y vulnerabilidad al cambio climático



Figura 11. Bosque andino patagónico, Argentina



Figura 12. Población araucaria-ciprés Pulmari, Argentina

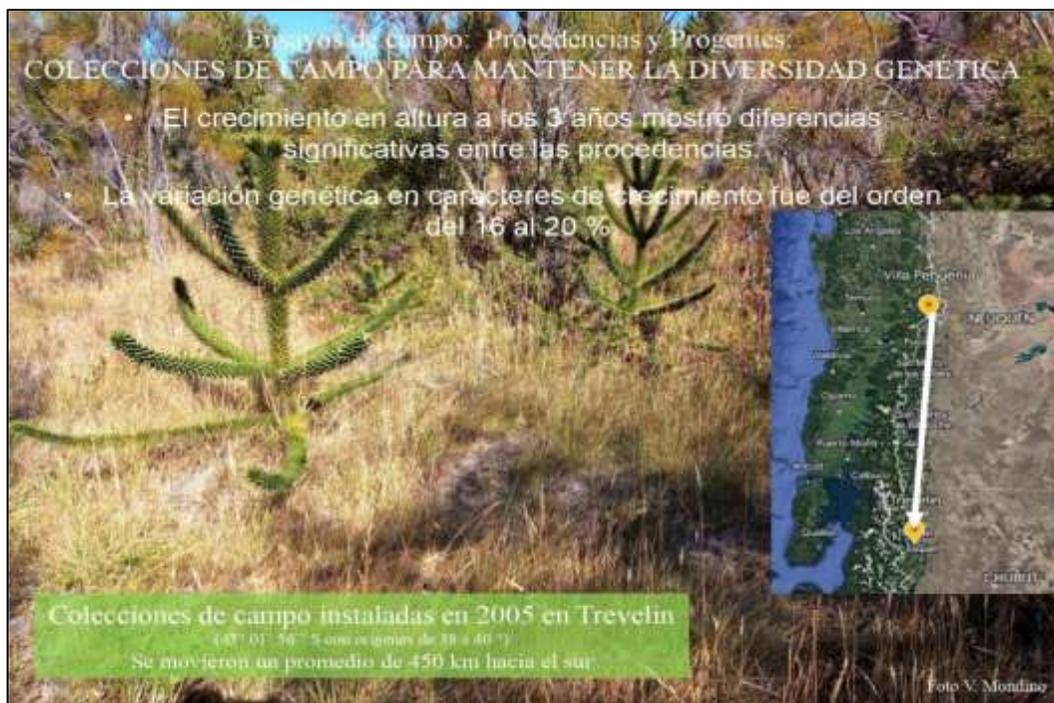


Figura 13. Ensayo de procedencia progenie de araucaria en Trevelín, Argentina

CONCLUSIONES

El simposio arrojó conclusiones esenciales sobre la migración asistida de la araucaria, una estrategia diseñada para proteger el potencial evolutivo de la especie frente a los desafíos del cambio climático. Se

está llevando a cabo un traslado mediante ensayos de progenies y procedencias, tanto dentro como fuera del área natural de distribución de la especie. Esta metodología permite la expresión de la variación genética adaptativa, como la supervivencia y rasgos de crecimiento, facilitando la selección y uso del germoplasma de las araucarias sobrevivientes para restaurar áreas afectadas por el cambio climático y otras presiones.

La colaboración interinstitucional, que incluye universidades, empresas forestales, comunidades pehuenches, CONAF, INFOR y entidades internacionales como FAO SIMEF, ha establecido un modelo de relación público-privada que ha sido esencial para el desarrollo del proyecto. Este modelo puede ser replicado para otras especies amenazadas por el cambio climático.

Desde una perspectiva patológica, se identificó a *Pewenomyces kutranfy* como el principal agente del cancro en araucaria. Además, fueron identificadas tres nuevas especies del mismo género asociadas al daño causado por *P. kutranfy* y se determinó que dos fungicidas inhiben el crecimiento del hongo *in vitro*.

Se destacó la importancia de combinar la genómica con el modelado de nicho ecológico para evaluar las respuestas de las poblaciones al cambio climático. La idea de buscar poblaciones donantes de genes adaptativos es prometedora y puede ofrecer soluciones innovadoras para enfrentar los desafíos del cambio climático.

En situaciones de crisis, la migración asistida se presenta como una herramienta crucial. Es esencial muestrear en todo el rango de distribución natural de la especie y cosechar en años de máxima productividad de semilla. En un horizonte de 30 años, será necesario asistir durante décadas a la regeneración de la población traslocada, trasladando piñones dentro del sitio para reemplazar a los dispersores y monitorear si ocurre un reemplazo de estos.

Con el inicio de la producción de semillas, se prevé un impacto ambiental debido a una mayor disponibilidad energética en el sistema. Sin embargo, es importante reconocer que solo es posible asistir a la migración de una fracción muy pequeña de la biodiversidad y bajo ciertas circunstancias la migración asistida es la decisión correcta.

REFERENCIAS

- Ipinza, R., González, J., Molina, M., Gutiérrez, B., Soto, H., Koch, L., Hasbún, R. et al. (2024).** Migración Asistida de *Araucaria araucana* (Molina). *K. Koch*. Un Modelo para Salvaguardar el Potencial Adaptativo de una Especie Emblemática de los Bosques de Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 30(1): 29-41. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.605>
- Ipinza, R., Gonzalez, J., Molina, M., Gutiérrez, B., Barros, S., Koch, L. & Soto, H. (2023).** Organización y Desarrollo del simposio “Migración Asistida de *Araucaria araucana*, causas, acciones y perspectivas futuras”, en el contexto del VIII Congreso Forestal Latinoamericano (CONFLAT) y el V Congreso Forestal Argentina, celebrados en la Ciudad de Mendoza, Argentina. 27 a 30 de marzo del 2023. Informe Interno, Instituto Forestal, Chile.