

Evaluación de calidad de semillas de *Nothofagus pumilio* vinculada al manejo forestal y los eventos climáticos

Julián Rodríguez-Souilla¹, Jimena E. Chaves², Marie-Claire Aravena Acuña², María Vanessa Lencinas², Juan Manuel Cellini³, Pablo L. Peri⁴, Fidel A. Roig⁵, Guillermo Martínez Pastur²

Palabras Clave: reproducción, retención variable, Tierra del Fuego.

Introducción

Los bosques de *Nothofagus pumilio* son el principal recurso maderero de Tierra del Fuego, y son aprovechados mediante diversas estrategias de manejo forestal con objetivo de garantizar la regeneración (Martínez Pastur et al. 2019). Esta se produce de forma natural, en un proceso que está estrechamente vinculado a la producción anual de semillas, la cual varía anualmente, pudiendo alterar el éxito de la instalación de bosques secundarios (Torres et al. 2015) y afectar la resiliencia de los rodales frente a diversos impactos. Por otra parte, los eventos climáticos (ej. El Niño-Oscilación del Sur -ENSO, o el Modo Anular del Sur -SAM) vinculados a variaciones anuales en las precipitaciones y temperaturas, interfieren en la asignación de recursos necesarios para mantener el éxito reproductivo de los ecosistemas (ej. producción anual de semillas y viabilidad) (Fletcher 2015, Hadad & Roig 2016). Si bien se han vinculado las variaciones anuales de producción de semillas a factores climáticos, pocos estudios lo han relacionado con sus características cualitativas (ej. calidad de semillas). En este marco, el objetivo fue determinar cómo varía la calidad de las semillas de *N. pumilio* en función del manejo forestal (comparando bosques primarios vs. bosques manejados), de la productividad anual (comparando años con distinta producción de semillas), y de la combinación de eventos climáticos (comparando años con efectos positivos y/o negativos de ENSO y SAM).

Materiales y Métodos

Se determinó la producción anual de semillas (mill. ha-1.año-1) entre 2011 y 2022, clasificando los datos en años de alta (>12 mill. ha-1.año-1, n=4), media (4-

12 mill. ha-1.año-1, n=4) y baja producción (<4 mill. ha-1.año-1, n=4) para tres tipos de retención de rodales manejados (retención agregada-RA, dispersa con protección de agregados-RDI, dispersa-RD) y bosques primarios (BP) (4 tratamientos x 18 réplicas x 12 años) en bosques puros de *Nothofagus pumilio*. Las semillas recolectadas fueron clasificadas en: forrajeadas (aves o insectos) y no forrajeadas. Estas últimas se diferenciaron en vacías (sin endosperma) y llenas (clasificadas luego en: viables, no viables, muertas y abortadas). La viabilidad se determinó mediante la prueba de Tetrazolio (Moore, 1985). Se contabilizó la cantidad de semillas en cada categoría, y se calcularon las proporciones con relación al total. Además, se caracterizaron los años mediante índices climáticos para el período de formación de frutos de cada año (ENSO y SAM promedios entre septiembre y abril), obtenidos del sitio: weather.gov/fwd/indices; stateoftheocean.osmc.noaa.gov/atm/sam.php. Cada período fue clasificado de acuerdo con su prevalencia de valores positivos (P) o negativos (N) de ENSOxSAM (PxP, PxN, NxP). No se observó la situación NxN entre 2011 y 2022. Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de Kruskal Wallis cuando los datos no cumplían los supuestos de normalidad, utilizando el test U de Mann Whitney para comparar los valores medios. Las variables de respuesta estudiadas fueron proporción de semillas no forrajeadas, llenas y viables, tomando como factores de análisis el manejo forestal (BP, RA, RDI y RD) en los 11 años de estudio, el manejo forestal en años de diferente productividad anual (alta, media y baja), y la combinación de ENSOxSAM para cada tipo de manejo forestal.

Resultados

La producción anual de semillas varió entre sitios aprovechados y no aprovechados, siendo el promedio

1 Laboratorio de Recursos Agroforestales (CADIC-CONICET). Contacto: j.rodriguez@conicet.gov.ar

2 Laboratorio de Recursos Agroforestales (CADIC-CONICET).

3 Laboratorio de Investigaciones en Maderas (LIMAD-UNLP).

4 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA); CONICET.

5 Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA-CONICET)

del período estudiado de 9,35 mill.ha-1.año-1 para BP; 7,16 mill.ha-1.año-1 para RA; 2,25 mill.ha-1.año-1 para RDI y 1,08 mill.ha-1.año-1 para RD. Las semillas vacías representaron la mayor proporción (Figura 1), seguida de las viables. En dicho período, las categorías de calidad mostraron diferencias entre tratamientos, excepto para semillas forrajeadas por insectos. Al analizar la calidad de las semillas en años de distinta producción (Tabla 1), se encontraron diferencias para llenas y viables en años de alta producción, siendo mayor en BP y RA. En cambio, la categoría no forrajeadas presentó diferencias solo en años de baja producción, siendo también mayor en BP. Cuando se incorporó la variabilidad del clima a los análisis (Tabla 2), la combinación PxP presentó mayores valores y diferencias significativas en llenas y viables, especialmente en BP y RA. Por su parte, NxP presentó valores mayores de semillas no forrajeadas, con diferencias significativas excepto para BP.

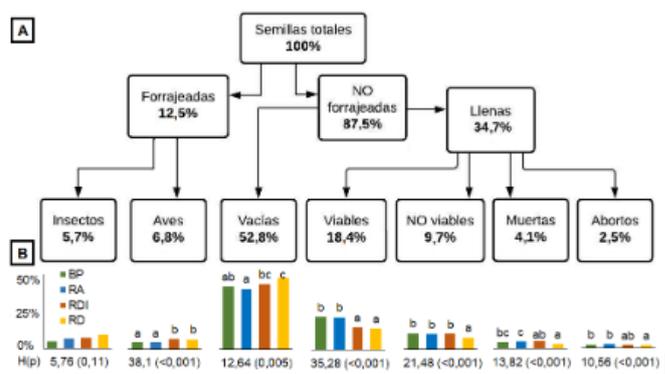


Figura 1. (A) Clasificación y porcentuales promedios para todo el período estudiado de calidad de semillas. (B) Valores porcentuales de las categorías finales analizados mediante Kruskal-Wallis, donde letras diferentes muestran diferencias significativas por el test U de Mann-Whitney ($p < 0.05$). H(p): estadístico de Kruskal-Wallis y probabilidad asociada.

Tabla 1. ANDEVA para producción anual de semillas (Total=todos los años; Años con Alta; Media y Baja producción) por tratamiento (BP, RA, RDI, RD) analizando: %No forrajeadas, %Llenas, %Viables. F: test de Fisher, p: probabilidad. Letras diferentes muestran diferencias significativas.

Cantidad	Tratamiento	%No forrajeadas	%Llenas	%Viables
Total	BP	91,0 c	39,2 bc	22,5 b
	RA	89,1 bc	40,3 c	22,9 b
	DRI	86,3 ab	33,1 ab	15,4 a
	DR	84,1 c	27,1 a	14,1 a
	F (p)	5,87 (<0,001)	11,51 (<0,001)	9,24 (<0,001)
Alta (>12 mill. ha ⁻¹ .año ⁻¹)	BP	92,5	59,0 b	44,4 b
	RA	90,2	55,9 b	36,6 b
	DRI	87,8	44,4 a	24,4 a
	DR	87,7	36,3 a	21,8 a
	F (p)	2,22 (0,086)	13,96 (<0,001)	16,38 (<0,001)
Media (4-12 mill. ha ⁻¹ .año ⁻¹)	BP	91,1	47,4 b	23,4
	RA	89,3	39,8 ab	21,1
	DRI	87,1	32,4 a	17,5
	DR	87,9	29,1 a	16,1
	F (p)	0,84 (0,473)	7,36 (<0,001)	1,81 (0,1469)
Baja (<4 mill. ha ⁻¹ .año ⁻¹)	BP	93,4 b	21,1	7,1
	RA	84,9 ab	34,8	11,4
	DRI	86,1 ab	33,7	5,8
	DR	78,2 a	24,8	7,4
	F (p)	4,93 (0,002)	2,68 (0,051)	2,13 (0,097)

Tabla 2. ANDEVA por tipo de bosque (Tr) y combinación de eventos climáticos (ENSOxSAM, N = negativo, P = positivo) analizando porcentaje de semillas: %No forrajeadas, %Llenas, %Viables. F: test de Fisher, p: probabilidad. Letras diferentes muestran diferencias significativas.

Tr	ENSOxSA		%No forrajeadas	%Llenas	%Viables
	M	N			
BP	NxP		92,1	32,1 b	14,1 b
	PxN		89,1	17,6 a	5,3 a
	PxP		90,9	60,7 c	38,4 c
	F (p)		0,94 (0,625)	97,64 (<0,001)	47,78 (<0,001)
RA	NxP		91,8 b	35,1 a	17,8 a
	PxN		86,1 a	30,3 a	15,4 a
	PxP		88,9 b	55,2 b	33,3 b
	F (p)		9,61 (<0,001)	25,01 (<0,001)	18,58 (<0,001)
RD	NxP		90,1 b	32,1 a	14,5
	PxN		82,2 a	30,8 a	15,7
	PxP		86,2 a	42,8 b	19,7
	F (p)		9,61 (0,007)	3,77 (0,025)	1,79 (0,170)
RD	NxP		93,1 b	28,8 ab	3,2
	PxN		82,1 a	22,5 a	4,4
	PxP		81,6 a	36,3 b	17,6
	F (p)		15,07 (<0,001)	3,80 (0,024)	0,50 (0,605)

Discusión

Nuestros resultados indican que la calidad de las semillas de *N. pumilio* se ve afectada tanto por el manejo forestal como por la producción anual de las mismas, en interacción con eventos climáticos regionales. Las áreas aprovechadas se ven afectadas al presentar mayores proporciones de semillas vacías y con una menor viabilidad, pudiendo esto estar relacionado con incompatibilidades genéticas, o por la proporción entre flores masculinas y femeninas producidas (Soler et al. 2009). Varios procesos ecológicos, como el establecimiento de la regeneración en el límite altitudinal de *N. pumilio* y variaciones en el ancho de los anillos en *Araucaria araucana* (Hadad & Roig 2016) han sido vinculados a fases de SAM positivo en Patagonia norte (Srur et al. 2018), como así también a eventos ENSO positivos con máximas producciones de semillas (Fletcher 2015). Por otra parte, Torres et al. (2015) encontraron relaciones entre variables climáticas y la producción anual de semillas en bosques con diferentes grados de aprovechamiento en Tierra del Fuego, pudiendo ser también moldeadas por los eventos climáticos estudiados. Específicamente, un evento ENSO positivo y SAM negativo se vinculan a anomalías positivas de temperaturas y negativas de precipitaciones. De todos modos, las interacciones entre ambos eventos no han sido muy estudiadas en Tierra del Fuego, aunque sí se ha demostrado su influencia en variabilidad climática general en el hemisferio Sur (Silvestri & Vera 2009). Este trabajo constituye una primera aproximación al estudio del efecto sobre procesos ecológicos como la producción anual de semillas, la calidad de las mismas, y las potenciales consecuencias para el manejo forestal.

Conclusiones

La calidad de semillas se ve influenciada por los eventos climáticos que afectan en diferente grado de acuerdo con el nivel de aprovechamiento de los bosques, siendo esto importante para estimar la proporción de semillas viables disponibles por año, considerando a su vez la cantidad de semillas producidas. Este aspecto resulta prioritario para garantizar el éxito del manejo forestal, ya que de esto depende la generación del banco de plántulas que regenerará los rodales cosechados.

Bibliografía Citada

Fletcher M. 2015. Mast seeding and the El Niño-Southern Oscillation: a long-term relationship? *Plant Ecol.* 216(4): 527-533.

Hadad MA, Roig Juárez FA. 2016. Sex-related climate sensitivity of *Araucaria araucana* Patagonian forest-steppe ecotone. *For. Ecol. Manage.* 362: 130-141.

Martínez Pastur G, Rosas YM, Toro Manríquez M, Huertas Herrera A, Miller JA, Cellini JM, Barrera MD, Peri PL, Lencinas MV. 2019. Knowledge arising from long-term research of variable retention harvesting in Tierra del Fuego: Where do we go from here? *Ecol. Proc.* 8: e24.

Moore RP. 1985. Handbook on Tetrazolium Testing. International Seed Testing Association.

Silvestri G, Vera C. 2009. Nonstationary impacts of the Southern Annular Mode on Southern Hemisphere climate. *J. Climate* 22(22): 6142-6148.

Soler RM, Martínez Pastur G, Lencinas MV, Peri PL. 2010. Flowering and seeding patterns in primary, secondary and silvopastoral managed *Nothofagus antarctica* forests in South Patagonia. *NZ J. Bot.* 48(2): 63-73.

Srur AM, Villalba R, Rodríguez-Catón M, Amoroso MM, Marcotti E. 2018. Climate and *Nothofagus pumilio* establishment at upper treelines in the Patagonian Andes. *Front. Earth Science* 6(57):1-11

Torres AD, Cellini JM, Lencinas MV, Barrera MD, Soler RM, Díaz-Delgado R, Martínez Pastur G. 2015. Seed production and recruitment in primary and harvested *Nothofagus pumilio* forests: Influence of regional climate and years after cuttings. *For. Syst.* 24(1): 1-11.