

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

Autora: Tamara Inostrosa

Directora: Dra. Patricia Boeri

Co-directora: Lic. Daniela Dalzotto



Universidad Nacional de Río Negro
Sede Atlántica

Licenciatura en Ciencias del Ambiente
2022

Título: Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

Datos de la Estudiante: Tamara Dariana Inostrosa, Licenciatura en Ciencias del Ambiente. Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro (UNRN).

Datos de la Directora: Dra. Boeri Patricia, Universidad Nacional de Río Negro, Centro de Investigación y Transferencia (CIT- RÍO NEGRO-CONICET).

Datos de la Co-directora: Lic. Dalzotto Daniela, Universidad Nacional de Río Negro, Centro de Investigación y Transferencia (CIT-RÍO NEGRO-CONICET).

Año: 2022

Índice

Lista de abreviaturas y/o símbolos	1
Resumen	2
Agradecimientos	3
Introducción.....	4
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos	5
Hipótesis	5
1.Marco Teórico.....	6
1.1. Situación actual de la problemática asociada a los incendios frente al cambio climático global.....	6
1.2. Efectos del fuego sobre la vegetación	7
1.3. Especies bajo estudio	8
1.3.1 <i>Características de Prosopis flexuosa var. depressa</i>	8
1.3.2 <i>Características de Larrea divaricata Cav. (Zygophyllaceae)</i>	9
2. Materiales y métodos.....	10
2.1 Recolección de semillas y sitio de muestreo	10
2.2 Tratamiento a altas temperaturas	10
2.3 Evaluación de la germinación	12
2.4 Determinación del contenido de humedad (CH) de las semillas	13
2.5 Viabilidad de las semillas	13
2.6 Tratamiento estadístico de los datos	13
3. Resultados y discusión	14
3.1 Evaluación de la germinación bajo condiciones de altas temperaturas.....	14
3.1.1. <i>Prosopis flexuosa var depressa</i>	21
3.1.2. <i>Larrea divaricata</i>	23
3.2 Evaluación del contenido de humedad de las semillas bajo los diferentes tratamientos térmicos (temperatura-tiempo)	25
3.3 Determinación del efecto de las altas temperaturas sobre la viabilidad de las semillas de <i>P. flexuosa</i> y <i>L. divaricata</i>	28
3.4. Temperatura mínima letal de las semillas de <i>P. flexuosa</i> y <i>L. divaricata</i>	30
4. Conclusiones.....	32
5. Bibliografía	34
Anexo 1	42

Lista de abreviaturas y/o símbolos

CG	Capacidad germinativa
cm	Centímetro
CH	Contenido de Humedad
°C	Grados centígrados
h	Horas
ha	Hectárea/s
IVG	Índice de velocidad de germinación
m	Metro/s
mm	Milímetro/s
min	Minuto/s
Nº	Número
O	Oeste
%	Porcentaje
p/v	Peso/Volumen
SAyDS	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable
SM	Semillas muertas
SNV	Semillas no viables
SNVT	Total de semillas no viables
S	Sur
SV	Semillas viables
SVT	Total de semillas viables
TG	Tasa de germinación
t	Tratamiento
TTC	Cloruro de 2-3-5 trifeniltetrazolio

Resumen

Como gran parte de la superficie de la tierra, el noreste patagónico enfrenta los desafíos que impone el cambio climático global, como el avance de la desertificación, la degradación de la tierra, cambios en los regímenes hídricos, modificaciones de la biodiversidad y aumentos de la ocurrencia y superficie afectada por incendios. Por ello, se analizó la influencia de las altas temperaturas sobre la germinación y supervivencia de dos especies representativas de esta región de monte xerofítico: *Prosopis flexuosa* var. *depressa* y *Larrea divaricata*. Para ello, se evaluó el proceso germinativo, las variaciones del contenido de humedad, la viabilidad y letalidad luego que las semillas (escarificadas y sin escarificar) fueron sometidas a un rango de temperaturas (25-170°C) y tiempos de exposición (5-50min). El calor tuvo un efecto positivo sobre la germinación de las semillas no escarificadas de ambas especies, con incrementos de 2,86 (a 90°C, 25 min) y 4,3 veces (a 90°C, 50min) superiores al control, para *P. flexuosa* y *L. divaricata*, respectivamente; además, la duración del mismo influyó significativamente sobre la germinación. *L. divaricata* demostró mayor supervivencia frente a una situación de disturbios más intensa y prolongada (79% a 90°C, 50min no escarificadas y 77%, a 140°C, 5min escarificadas) mientras que *P. flexuosa* presentó mayor viabilidad y porcentajes de germinación durante exposiciones breves (98-100%, a 140°C y 5min). Sin embargo, luego de alcanzar los máximos porcentajes, la germinación disminuyó notablemente hasta incluso verse completamente inhibida en las mayores temperaturas y tiempos de exposición. Del análisis de el índice de velocidad germinativa, de la tasa de germinación y de la capacidad germinativa, se concluye que las semillas no escarificadas presentaron una velocidad de germinación baja como consecuencia de la irregularidad del proceso germinativo, mientras que las semillas tratadas lo hicieron de manera más rápida y homogénea. Los mayores porcentajes de germinación obtenidos en las semillas escarificadas sugieren una acción sinérgica entre determinadas temperaturas y la escarificación mecánica. De esta manera, las respuestas germinativas observadas y la supervivencia demostrada ante condiciones de estrés térmico severo, sugieren que estas especies podrían ser capaces de mitigar los efectos del cambio climático global.

Palabras clave: *Prosopis flexuosa*, *Larrea divaricata*, fuego, escarificación, tiempos de exposición.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Río Negro, por brindarme la oportunidad de estudiar y formarme como profesional.

A mis directoras de tesis, Patricia y Daniela, por su acompañamiento, dedicación y paciencia. Gracias a ambas por enseñarme tanto y por confiar en mí.

A Patricio Solimano, quien siempre estuvo predispuesto para ayudarme.

A todos los profesores que durante todo este trayecto colaboraron en mi formación. Gracias por hacer crecer mi entusiasmo y amor por esta hermosa carrera.

A todos mis compañeros, por la ayuda brindada a lo largo de estos años y tantas horas de estudio compartidas.

A mi gran compañero Luis, por el apoyo incondicional y no dejarme rendir nunca cuando esto parecía tan lejano. Gracias por tanta paciencia y por hacer mis días más lindos con tu compañía.

Quiero agradecer de manera especial a mis padres, quienes con gran esfuerzo me dieron la posibilidad de estudiar y confiaron siempre en mí. Por su amor y apoyo incondicional. Los amo infinitamente ¡Gracias!

A mis hermanas, por estar siempre a pesar de la distancia y alentarme a seguir. Son lo mejor de este mundo.

A mis abuelos, Carmen y Vicente, por recibirme con los brazos llenos de amor en cada vuelta a casa.

A mis queridos abuelos, Muñeca y Maximino, quienes me enseñaron lo más importante, el valor de la vida. Sé que estarían muy orgullosos de mí, los extraño todos los días.

Y a todos lo que de alguna manera fueron parte de este proceso. Nada de esto hubiera sido posible sin ustedes, ¡GRACIAS!

Introducción

La degradación de las tierras en el noreste patagónico es el resultado de uno o más procesos simultáneos que ocasionan la pérdida total o parcial de los servicios ecosistémicos de los suelos, su biodiversidad y productividad. Entre los más frecuentes, se encuentran las erosiones hídricas y eólicas, y los procesos físicos, químicos o biológicos que impactan negativamente sobre éstos, como los incendios (SAyDS, 2018). Por otra parte, se prevé que estas problemáticas se acentúen producto de los efectos del cambio climático proyectados para el siglo XXI, como el aumento de tierras secas a nivel mundial, cambios en la composición de especies e inclusive, en las frecuencias de disturbios, como los incendios naturales. En los últimos años, en las regiones áridas y semiáridas del noreste patagónico, el fuego ha sido un fenómeno recurrente tanto por acción antrópica como por tormentas eléctricas, que se propagan fácilmente por la intensidad del viento característico de la región (INTA Río Negro, 2021). Además, las restricciones ambientales propias de la región, hacen que estos ecosistemas sean altamente susceptibles a la degradación y tengan una recuperación natural lenta luego de los disturbios (Busso y Fernández, 2018).

El fuego tiene una gran influencia en el mantenimiento de muchas comunidades vegetales en todo el mundo, especialmente en ambientes áridos y semiáridos, debido a que no sólo afecta al suelo sino también al reservorio de semillas (Herranz *et al.*, 1998; Avila *et al.*, 2010). Después del fuego, la mayoría de las especies son capaces de regenerarse vegetativamente, pero hay algunas otras que lo hacen exclusivamente a partir de sus semillas (Trabaud, 1987; Casal, 1987; Tárrega *et al.*, 1992). Así, las respuestas de las plantas frente a este disturbio, varían según las especies, grupos funcionales y sus estrategias de regeneración, como aquellas vinculadas a los procesos germinativos, entre los que se encuentra la dormición física causada por la presencia de tegumentos seminales duros e impermeables, la cual debe ser eliminada para que la germinación sea exitosa (Pausas *et al.*, 2004).

En el Monte del noreste patagónico, el fuego sucede, fundamentalmente, luego de una serie de condiciones que propician el desarrollo de pastizales y la aparición de incendios, como la alternancia entre años húmedos y secos y las tormentas eléctricas. Esto ocurre entre los meses de diciembre y marzo, periodo durante el cual las plantas del lugar pueden encontrarse con sus semillas recién formadas (aún latentes), o ya maduras y dispersadas, por lo que las respuestas post-fuego podrían variar. Sin embargo, y a pesar de la incidencia del fuego sobre la estructura de los ecosistemas, aún es escasa la información existente acerca de la ecología de las semillas en el marco del cambio climático, fundamentalmente en lo que respecta a especies nativas de ambientes áridos y semiáridos.

El conocimiento de los rasgos de germinación, como la dormición y la capacidad de germinar bajo condiciones de estrés, permite predecir el comportamiento de las semillas e incluso los nichos de germinación de un ecosistema (Jimenez-Alfaro *et al.*, 2016) y con ello, mejorar la comprensión sobre los procesos de restauración de los bancos existentes de semillas del suelo (Merritt y Dixon, 2011).

En este contexto, ante la recurrencia de incendios en los ecosistemas norpatagónicos, resulta indispensable generar información sobre el rol que éstos ejercen sobre la germinación de dos especies nativas del monte: *Neltuma flexuosa* DC. var. *depressa* FA Roig (sinónimo: *Prosopis flexuosa* DC. var. *depressa*) (“algarrobo dulce”), y *Larrea divaricata* Cav. (“jarilla hembra”), son dos arbustos representativos de esta ecorregión que integran el banco de semillas del suelo. Estas especies presentan importantes diferencias desde el punto de vista germinativo, la

morfología de sus semillas y los mecanismos de dispersión. Sin embargo, aún se desconoce la respuesta de éstas frente a situaciones de incendio y si éste es capaz de inducir la ruptura de latencia y posterior germinación o bien, provocar la muerte de las mismas y afectar, así, las poblaciones naturales en el futuro. De esta manera, este estudio permitió generar los primeros conocimientos sobre la incidencia del fuego en la germinación de estas dos especies características del monte rionegrino, aspecto clave para la restauración de los ecosistemas degradados y para comprender las posibles respuestas de estas plantas frente al calentamiento global.

Cabe destacar que este trabajo cuenta con un componente de transferencia al “Espacio Municipal de Valoración del Monte”, el cual, a través del proyecto “Senderos del Monte” promueve la valoración y conservación de este ecosistema en el Partido de Adolfo Alsina (Provincia de Río Negro). Así, las plantas obtenidas durante la ejecución de este trabajo formaron parte, junto con otras especies nativas producidas en ese espacio municipal, del banco de plantines de flora nativa que fueron y serán utilizadas para repoblar sitios previamente seleccionados en el Balneario El Cóndor (Viedma, Río Negro).

Finalmente, dado los recientes cambios nomenclaturales producidos en el género *Prosopis* y su relevancia e impacto social, si bien se menciona aquí la nueva nomenclatura botánica vigente, se decidió denominar la especie a través de su sinónimo actualmente aceptado: *Prosopis flexuosa* var. *depressa* (sinónimo de *Neltuma flexuosa* var. *depressa*).

Objetivo General

Evaluar el efecto de temperaturas semejantes a las de un incendio sobre la germinación y supervivencia de las semillas en dos especies representativas de las regiones áridas y semiáridas norpatagónicas: *Prosopis flexuosa* var. *depressa* y *Larrea divaricata*.

Objetivos Específicos

1. Evaluar la germinación de las semillas de *P. flexuosa* var. *depressa* y *L. divaricata* luego de someterlas a un rango de temperaturas y tiempos de exposición semejantes a los de un incendio.
2. Analizar la sensibilidad térmica observada según el contenido de humedad y estado de latencia de las semillas de estas especies.
3. Determinar el efecto de las altas temperaturas sobre la viabilidad de las semillas estudiadas.
4. Establecer la temperatura mínima letal para las semillas de ambas especies.

Hipótesis

- El fuego actúa como agente físico modelador de la respuesta germinativa de *Prosopis flexuosa* var. *depressa* y *Larrea divaricata*.
- Este disturbio afecta de manera diferente a ambas especies, dado que éstas presentan distintas estrategias de dispersión y tipos de semillas.

1. Marco Teórico

1.1. Situación actual de la problemática asociada a los incendios frente al cambio climático global

Como consecuencia del cambio climático global, en los próximos años, se prevé un impacto sustancial sobre los regímenes de incendios futuros en muchas regiones del planeta, con un aumento general de la superficie afectada y la ocurrencia de los mismos.

Los incendios forestales representan una de las principales amenazas tanto para la pérdida de la biodiversidad como de los bienes y servicios ecosistémicos y sociales que esa vegetación brinda. En Argentina, de un total de 688.282,10 ha afectadas durante el año 2019, un 25,45% correspondió a bosque nativo, el 17,71% a pastizales, el 12,56% a arbustales, y el 0,73% a bosque cultivado (Programa Nacional de Estadística Forestal de la Dirección Nacional de Bosques, Min. de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación).

Por otra parte, las zonas áridas y semiáridas del noreste patagónico, son sistemas muy vulnerables al fuego y a los efectos de la erosión del suelo, la desertificación y el cambio climático. En este sentido, Antonio-Bautista *et al.* (2020) indicaron a los incendios como una de las principales causas que produce la disminución de las poblaciones naturales de especies forestales no maderables, en las regiones áridas.

La región de Monte del noreste rionegrino ha sido históricamente afectada por incendios anuales que, a partir de la década del '70, fueron extendiéndose hacia el oeste, ocurriendo en lugares cada vez más áridos, y cuya frecuencia varió con la alternancia de períodos secos y húmedos, característica de la región (Cecchi y Kropfl, 2002). Así, en estos sistemas naturales, la mayor frecuencia de incendios ocurre en verano, cuando la vegetación acumulada durante la primavera comienza a secarse, hay presencia de tormentas eléctricas, altas temperaturas y baja humedad relativa, situaciones que ponen en condición de alto riesgo la región (Devesa *et al.*, 2022a;b). Esta situación se ve reflejada en el mapa actualizado, elaborado por el Servicio Nacional de Manejo del Fuego (Figura N°1).

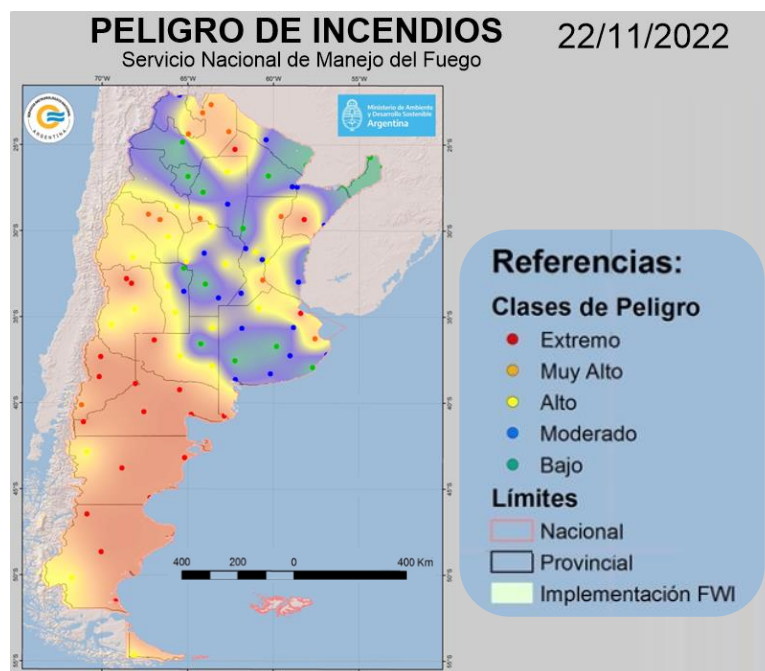


Figura N°1. Estimaciones de riesgo de incendios en el país actualizadas. Tomado del Servicio Meteorológico Nacional y modificado (https://www.smn.gob.ar/indices_peligro_fuego).

1.2. Efectos del fuego sobre la vegetación

La severidad de los incendios y las condiciones climáticas posteriores a ellos (particularmente las lluvias) afectan la evolución de la vegetación luego del fuego (Cecchi y Kropfl, 2003). El principal efecto directo de este sobre la vegetación es la eliminación de la parte aérea, por lo que su evolución posterior dependerá tanto de la capacidad de rebrote y posterior crecimiento vegetativo, como de la producción de nuevas plantas a partir de las semillas (Pausas *et al.*, 2004), por lo que los bancos de semillas son cruciales para la regeneración de las especies vegetales.

Los efectos sobre la germinación pueden influir tanto en la regeneración y composición de las especies, como en la dinámica poblacional y estructura de las comunidades vegetales y, de esta manera, alterar severamente la estabilidad de los ecosistemas (Walck *et al.*, 2011; Ooi, 2012).

Las semillas suelen estar adaptadas para sobrevivir al paso del fuego y para regenerarse en respuesta a las señales asociadas con los regímenes históricos de este disturbio. En este sentido, los incendios pueden impedir, retrasar o mejorar la regeneración a través de las semillas. Por ello, bajo estas condiciones, es frecuente que las plantas desarrollen estrategias como la dormición física de sus semillas, que puede ser eliminada por la acción del calor (Pausas *et al.*, 2022). Dicha estrategia permite la regulación espacial y temporal de la germinación (asincronía) y ello constituye una ventaja adaptativa en ambientes impredecibles como los de las regiones áridas y semiáridas de la Patagonia, donde más del 80% de las especies de arbustos nativos presentan dormición (Hernandez *et al.*, 2020). Además, los cambios de temperatura, la humedad y los incendios en los hábitats naturales pueden influir sobre la dormición, el momento de la germinación y la persistencia y viabilidad de las semillas en el suelo. Por otra parte, existen otros factores que afectan la capacidad de dispersión, establecimiento y posterior germinación dentro del banco de semillas del suelo, como el tamaño y la morfología de las semillas (Hanley *et al.*, 2003; Poschlod *et al.*, 2013). Por ejemplo, se conoce que las semillas con menor masa alcanzan mayores valores de germinación post-fuego, respecto de semillas más pesadas (Hanley *et al.*, 2003). De esta manera, pueden encontrarse una gran diversidad de estrategias germinativas y, a la vez, de variaciones intraespecíficas como el estado de latencia, que parecen estar más influenciadas por la aridez, la altitud y la latitud, que por el tipo de semilla o la tasa germinativa (Cochrane *et al.*, 2014).

En el Monte del este rionegrino, donde la comunidad vegetal está representada por especies de los géneros *Prosopis* y *Larrea* (Bertiller *et al.*, 2004) se ha informado una elevada tolerancia de las gramíneas perennes al fuego y alta susceptibilidad de los arbustos (Cecchi y Kropfl, 2003). De esta manera, la respuesta de las plantas post-fuego es muy variable, con diversas tolerancias específicas al calor del fuego, probablemente influidas por una serie de rasgos físicos, fisiológicos y morfológicos de las semillas, que además pueden diferir entre estaciones (Tangney *et al.*, 2018). Sin embargo, a pesar de esta diversidad de respuestas, de la mayor vulnerabilidad de las especies arbustivas a los efectos del fuego, y de la recurrencia de los incendios, aún no han sido evaluados los efectos de éstos sobre las especies características de la región. Cabe destacar que la identificación de los diferentes tipos de tolerancias y de las estrategias adaptativas relacionadas con la germinación, frente a la recurrencia de estos disturbios, puede servir de base para abordar estudios de predicción y emprender, entonces,

acciones tendientes a la regeneración exitosa con especies nativas y la recuperación de estos ecosistemas vulnerables.

1.3. Especies bajo estudio

1.3.1 Características de *Prosopis flexuosa* var. *depressa*

Como se mencionó antes, actualmente la nomenclatura botánica del género *Prosopis* ha sido revisada y modificada a *Neltuma flexuosa* (DC.) C.E. Hughes & G.P. Lewis var. *depressa* (F.A. Roig) C.E. Hughes & G.P. Lewis (sinónimo de *Prosopis flexuosa* var. *depressa*) (Fabaceae, Mimosoideae).

Esta especie presenta una considerable variabilidad del tamaño y forma del árbol/arbusto entre poblaciones e individuos debido a la variabilidad genética e influencias ambientales (Duff *et al.*, 1994; Cony y Trione, 1996). Se caracteriza por sus ramas arqueadas o semipéndulas, flexuosas y nudosas, con espinas geminadas y fuertes. Las hojas son bipinnadas, con 1-3 yugas, glabras o muy poco pubérulas, las pinnas presentan 5-13cm de largo, con 12 a 29 folíolos lineares por pinna, opuestos, de 4-15mm de largo y de 1-2mm de ancho, subcoriáceos (Burkart, 1976).

El fruto es una vaina recta subfalcada de 5 a 28cm de largo por 0,7-1,2cm de ancho, subcomprimida, submoniliforme (márgenes ondulados) color amarillo apagado con manchas violeta o violeta oscuro (Figura N°2). Las semillas son ovaladas, duras e impermeables, requieren altas temperaturas para germinar (Roig, 1987). La alta variabilidad anual en la producción de semillas puede responder a múltiples factores como la pérdida de una gran cantidad de inflorescencias durante eventos de lluvia y granizo (Alvarez y Villagra, 2009). Las semillas de *P. flexuosa* miden entre 5-6mm y presentan dormición física debida a la cubierta seminal impermeable (Catalán y Balzarini, 1992). Esta cubierta, sumada al mesocarpo nutritivo, constituye una adaptación a la endozoocoria (Peinetti *et al.*, 1993; Campos y Ojeda, 1997).

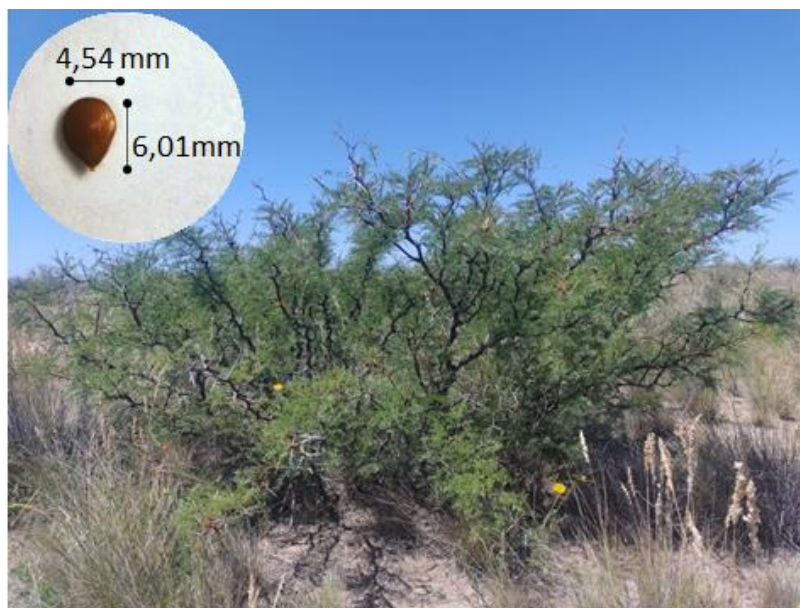


Figura N°2: Morfología general de un individuo adulto de *Prosopis flexuosa* del noreste patagónico, y de su semilla. Autores: Biol. Mauricio Failla y Lic. Daniela Dalzotto.

Así, diversas técnicas de escarificación han sido desarrolladas para favorecer la germinación y el posterior cultivo de esta especie, entre las que se encuentran la escarificación mecánica, química o tratamientos en agua caliente (Catalán y Macchiavelli, 1991; Vilela y Ravetta, 2001). Presenta rapidez tanto en el proceso de germinación como en el crecimiento inicial (2-4 días para la emergencia radicular y 8-10 días para la aparición de las hojas) (Cony, 1996; Vilela y Ravetta, 2001). La capacidad de esta especie para sobrevivir en ambientes de extrema aridez radica principalmente en la posibilidad de alcanzar los niveles acuosos subterráneos, independizándose de las condiciones externas del ambiente desértico (Roig, 1985).

1.3.2 Características de *Larrea divaricata* Cav. (Zygophyllaceae)

Larrea divaricata Cav. es un arbusto ramificado representativo del monte xerofítico, que alcanza una altura de hasta 3m (Figura N°3). Sus tallos son leñosos y cilíndricos, y sus hojas son bifoliadas, con los folíolos soldados por sus bases. Presenta flores solitarias y amarillas que florecen desde octubre hasta fines de noviembre (Vilela *et al.*, 2009). Su fruto es una cápsula con abundante pilosidad, de 10mm de diámetro, y a la madurez se separa fácilmente en cinco mericarpos, cada uno de ellos con una semilla, que se dispersan por el viento. Las semillas son lisas de alrededor de 4mm (Correa, 1998; Gandullo, 2004) y presentan dormición física. *L. divaricata* es una especie que cumple un rol clave en la protección de los suelos contra la erosión, dada su aptitud para colonizar el suelo (Bertiller *et al.*, 2004), además, al producir un microambiente debajo de su follaje, actúa como planta nodriza, favoreciendo la emergencia y supervivencia de pastizales y arbustos (Bonvissuto y Busso, 2013).



Figura N°3. Morfología general de un individuo adulto de *Larrea divaricata* Cav. del noreste patagónico, y de su semilla. Autores: Biol. Mauricio Failla y Lic. Daniela Dalzotto.

2. Materiales y métodos

2.1 Recolección de semillas y sitio de muestreo

Los frutos se recolectaron en el noreste de la provincia de Río Negro, Departamento de Adolfo Alsina, correspondiente a la ecorregión de Monte de Transición (Figura N°4). La colecta se llevó a cabo entre los meses de febrero y abril de 2021. Allí, se seleccionaron, al azar, al menos 20 individuos de ambos arbustos. Las semillas fueron aisladas manualmente con la ayuda de una pinza, se revisaron y se descartaron aquellas que presentaron signos visibles de deterioro, como la presencia de orificios en las vainas de *P. flexuosa*, causados por brúquidos. Posteriormente, fueron almacenadas en condiciones de baja humedad, a 20°C, y oscuridad, hasta el inicio de los experimentos.

Cabe destacar que este trabajo fue realizado con el permiso de acceso y uso de la biodiversidad nativa, a través de la Resolución N°781/2022 emitida por la Secretaría de Ambiente y Cambio Climático de la Provincia de Río Negro (Ley N°2600, 1992), dentro de la normativa del Protocolo de Nagoya (2015) y el Convenio de Diversidad Biológica (1992).



Figura N°4. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

Sitio 1: 41°05'01"S 63°55'54"O; Sitio 2: 41°00'21"S;64°09'49"O; Sitio 3: 41°03'24"S;63°41'1"O; Sitio 4: 40°98'18"S;63°21'06"O.

2.2 Tratamiento a altas temperaturas

Las semillas fueron sometidas a 15 tratamientos que resultaron de la combinación de cinco temperaturas y tres períodos de exposición a éstas, de manera de simular la situación en el suelo durante un incendio (Tabla N°1). Se realizó un control (k) para cada tratamiento a 25°C, temperatura que ha sido definida dentro del rango óptimo de germinación en ambas especies (Cony y Trione, 1996; Fernández *et al.*, 2019). Además, cada tratamiento fue llevado a cabo con semillas escarificadas y sin escarificar y, en todos los casos, se realizaron 4 repeticiones de 25 semillas cada una (n=100). De esta manera, se utilizó un total de 3600 semillas por cada especie.

Tabla N°1. Tratamientos realizados en cada combinación de temperatura y tiempo.

Temperatura (°C) \ Tiempo (min)	25	75	90	110	140	170
5	k1	t1	t4	t7	t10	t13
25	k2	t2	t5	t8	t11	t14
50	k3	t3	t6	t9	t12	t15

Los efectos térmicos de un incendio fueron simulados de acuerdo a la metodología propuesta por Avila *et al.* (2010), con algunas modificaciones (Figura N°5). Brevemente, las semillas fueron dispuestas en un tubo de vidrio entre dos capas de suelo, dentro de un frasco cerrado que contenía agua precalentada a la temperatura correspondiente, en su interior, de modo de favorecer un ambiente de aire saturado. Luego, los frascos fueron colocados en una estufa de laboratorio con la temperatura de cada tratamiento (Figura N°6). De acuerdo a estos autores, la metodología propuesta permite representar con mayor precisión las condiciones del banco de semillas del suelo durante un incendio debido a que el agua es uno de los principales productos de degradación térmica y combustión. Así, se espera que el agua liberada en forma de vapor a nivel de la superficie, ingrese al suelo por diferencia de gradiente y luego condense en objetos algo más fríos, como las semillas (Martin y Cushwa, 1966).

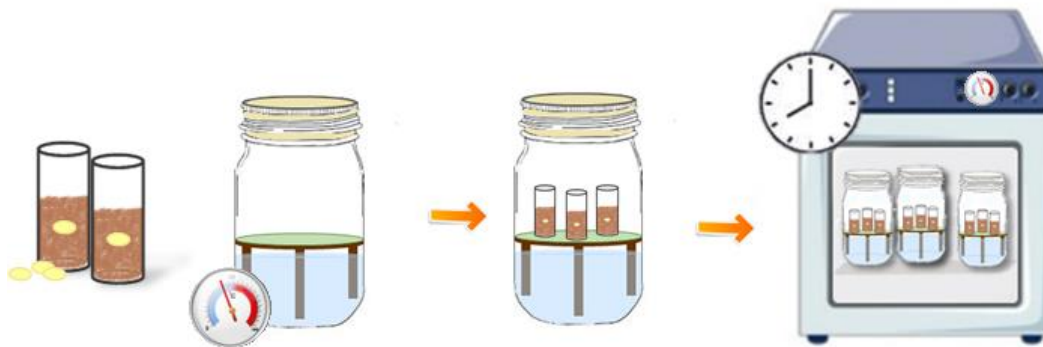


Figura N°5. Esquema del procedimiento llevado a cabo en los diferentes tratamientos térmicos (tiempo-temperatura).

Los tratamientos térmicos fueron realizados con semillas aún latentes (sin escarificación) y escarificadas mecánicamente, de modo de simular el efecto del fuego en relación al momento en que éste se produzca y el estado en el que se encuentre la semilla. En la naturaleza, los incendios de diciembre afectan las semillas recién formadas, mientras que en febrero o marzo éstas ya han sido dispersadas y posiblemente escarificadas. Así, los tratamientos de escarificación de las semillas de *P. flexuosa* consistieron en la remoción parcial del borde del tegumento seminal de modo de no generar daños en el embrión, y en forma manual, con la ayuda de una pinza, mientras que en *L. divaricata* el desgaste del tegumento se realizó con papel de lija N°150.



Figura N°6. Tratamientos realizados (combinación tiempo-temperatura).

2.3 Evaluación de la germinación

Luego de la exposición a las temperaturas indicadas anteriormente, las semillas se dispusieron en placas de Petri con una base de algodón cubierta con papel de filtro humedecido con agua destilada. Las placas fueron distribuidas al azar en un cuarto de cultivo con temperatura y luz controlada ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ y fotoperíodo de 16 hs luz/8 hs oscuridad). Para este trabajo se consideró semilla germinada a aquellas que presentaron la radícula visible. Los controles se realizaron diariamente durante un período de 15 días, donde cada semilla germinada fue contabilizada y luego removida.

Se evaluaron los siguientes parámetros germinativos:

- **Capacidad Germinativa (CG):** porcentaje de germinación total, al finalizar el ensayo (Pece *et al.*, 2010).
- **Tasa de germinación (TG):** se calculó como el porcentaje de germinación ponderado según lo propuesto por Reddy *et al.* (1985). Este índice otorga un máximo a las semillas que germinan primero, disminuyendo la ponderación con el tiempo de germinación. Se basa en que la competencia de las plántulas post-fuego está influenciada por los patrones de germinación relacionados con el calor experimentado por las semillas, donde la tasa de germinación es una medida de la capacidad de germinar antes que sus competidores (Hanley y Lamont, 2000).
- **Índice de Velocidad de Germinación (IVG) o Índice de Maguire's:** es uno de los parámetros más utilizados y se expresa como número de semillas germinadas por día (Nakagawa, 1999). Su fórmula de cálculo es:

$$IVG = G_1/N_1 + G_2/N_2 + \dots + G_n/N_n = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{N_i}$$

Donde: N_i son los días necesarios para la germinación y G_i el número de semillas germinadas en el día i .

2.4 Determinación del contenido de humedad (CH) de las semillas

El CH de las semillas influye fundamentalmente en sus reacciones fisiológicas (Leopold y Vertucci, 1989) y permite tener una aproximación sobre la permeabilidad del tegumento seminal. Así, en aquellas semillas que aún poseen dormancia física, se espera que el CH no se modifique. Sin embargo, un aumento del mismo otorgará mayor sensibilidad a la temperatura (Tangney *et al.*, 2019). Por ello, mediante diferencia de peso, se determinó el CH de 25 semillas antes y después del tratamiento térmico correspondiente.

2.5 Efecto de las altas temperaturas sobre la viabilidad de las semillas

Se evaluó la viabilidad de las semillas que no germinaron al finalizar los tratamientos térmicos, mediante la prueba de tinción con Cloruro de 2-3-5 trifeniltetrazolio (TTC), de acuerdo al Procedimiento Standard para Tetrazolium (2007). Las semillas escarificadas que no germinaron luego de los tratamientos, fueron evaluadas con la prueba de TTC. Por otra parte, las semillas sin escarificar que no germinaron inicialmente, fueron escarificadas e incubadas nuevamente para su germinación. Aquellas que aún bajo esta instancia no lo hicieron, seguidamente se evaluaron a través de TTC. Para ello, se utilizó una solución de cloruro de 2,3,5-trifenol tetrazolio al 1% (p/v) en un buffer fosfato a pH 7,4. Las semillas fueron sumergidas en ésta durante 12 hs y luego se evaluó el patrón de tinción, según los patrones de color descritos por Craviotto *et al.* (2008).

Para calcular el número total de semillas viables (SVT) se realizó la suma de la capacidad germinativa (CG%), resultantes del ensayo de germinación, y del porcentaje de semillas viables (V), obtenidas en la prueba de tetrazolio.

$$\text{SVT (\%)} = \text{CG (\%)} + \text{SV (\%)}$$

Por otra parte, el número total de semillas no viables (SNVT) se calculó partir de la suma de los porcentajes de semillas muertas (SM), obtenidos del ensayo de germinación, sumado a las semillas no viables (SNV), identificadas mediante la prueba de tetrazolio.

$$\text{SNVT (\%)} = \text{SM (\%)} + \text{SNV (\%)}$$

2.6 Tratamiento estadístico de los datos

El diseño experimental del trabajo fue realizado completamente al azar. Las diferencias entre tratamientos (semillas con y sin escarificación, temperaturas y tiempos) se evaluaron mediante ANOVA. En aquellos casos donde no se cumplieron los supuestos estadísticos de normalidad requeridos para este análisis, se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, mediante el programa Infostat-Statistical Software libre (Di Rienzo *et al.*, 2020). La germinación de ambos tipos de semillas de *P. flexuosa* y aquellas escarificadas de *L. divaricata*, expuestas durante más de 5 minutos a las mayores temperaturas fue nula, en consecuencia, estos tratamientos no fueron incluidos en el análisis estadístico.

Para conocer la relación entre los parámetros germinativos evaluados se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Para ello, previamente se comprobó la normalidad del muestreo de David y Johnson (1954) y la homogeneidad de las varianzas mediante la prueba de análisis de la varianza de Cochran (1941). Para el análisis de los valores obtenidos de las

correlaciones entre los parámetros germinativos evaluados, se utilizaron las referencias de Schober *et al.* (2018), que establecieron los siguientes rangos:

- 0,00–0,10 Correlación muy baja
- 0,10–0,39 Correlación baja
- 0,40–0,69 Correlación moderada
- 0,70–0,89 Correlación fuerte
- 0,90–1,00 Correlación muy fuerte.

3. Resultados y discusión

3.1 Evaluación de la germinación bajo condiciones de altas temperaturas

La germinación de ambas especies varió significativamente según el tratamiento aplicado resultante de la combinación de las distintas temperaturas y tiempos de exposición. Por otra parte, la capacidad germinativa de las semillas no escarificadas fue considerablemente inferior a la de las semillas tratadas (Tabla N°2). Así, en estas últimas, los máximos valores de CG obtenidos para *P. flexuosa* y *L. divaricata* fueron de 100 y 75%, respectivamente, mientras que, en las semillas no tratadas, los mayores porcentajes fueron de 66% en *P. flexuosa*, y del 39% en *L. divaricata*. Estos resultados podrían indicar que el calor, sumado a la escarificación mecánica, podrían ejercer un efecto sinérgico que favorecería la germinación de estas semillas, dependiendo de la duración del calor y la temperatura alcanzada. Así, se observó que la germinación se incrementó ante condiciones prolongadas en las temperaturas más bajas, o bien, con breves periodos de tiempo en temperaturas superiores. El efecto sinérgico de las altas temperaturas y diversos mecanismos de escarificación ha sido estudiado en leguminosas herbáceas (Reino *et al.*, 2008; 2011). Además, de la comparación de estos valores con aquellos logrados a 25°C (controles) surge que, si bien el calor produjo un aumento significativo de la germinación a medida que incrementó la temperatura, este efecto no sería similar al obtenido luego de una escarificación mecánica. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Pausas *et al.* (2022), quienes indicaron que, si bien el calor *per se* no estimula la germinación, representa un mecanismo de ruptura de la latencia de muchas semillas que permite la germinación posterior.

Por otra parte, se observó que el mayor valor de CG se obtuvo a menor temperatura conforme aumentó el tiempo de exposición a los tratamientos térmicos. Sin embargo, esta tendencia no se observó en las semillas escarificadas de *P. flexuosa*, las cuales no presentaron diferencias significativas de CG entre los tratamientos térmicos evaluados (Tabla N°2).

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

Tabla N°2. Resultados de CG(%). Los valores representan un promedio de cuatro repeticiones con su Error Estándar.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	<i>P. flexuosa</i> no escarificada	<i>P. flexuosa</i> escarificada	<i>L. divaricata</i> no escarificada	<i>L. divaricata</i> escarificada
5	25 (k1)	14 ± 1,03 ab	91 ± 1,77 b	16 ± 0,65 a	51 ± 2,56 b
	75 (t1)	12 ± 1,96 c	94 ± 1,39 ab	15 ± 0,77 a	61 ± 0,77 ab
	90 (t4)	20 ± 0,92 ab	95 ± 0,40 ab	19 ± 1,37 a	63 ± 1,77 ab
	110 (t7)	23 ± 1,65 b	97 ± 0,40 ab	15 ± 1,37 a	71 ± 3,77 a
	140 (t10)	50 ± 0,80 a	100 ± 0 a	20 ± 1,73 a	75 ± 1,20 a
	170 (t13)	48 ± 0,65 a	100 ± 0 a	23 ± 2 a	19 ± 2,20 c
p-valor		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
25	25 (k2)	23 ± 0,77 c	97 ± 0,77 a	9 ± 0,77 bc	45 ± 2,20 b
	75 (t2)	28 ± 1,13 ab	97 ± 0,40 a	9 ± 1,51 bc	69 ± 1,01 a
	90 (t5)	66 ± 1,53 a	91 ± 1,77 a	14 ± 1,53 ab	70 ± 2,40 a
	110 (t8)	37 ± 1,89 b	65 ± 4,95 b	19 ± 1,20 a	41 ± 1,37 b
	140 (t11)	0 ± 0	0 ± 0	10 ± 0,46 bc	12 ± 1,96 c
	170 (t14)	0 ± 0	0 ± 0	5 ± 0,77 c	0 ± 0
p-valor		0,0001	0,015	0,0001	0,0001
50	25 (k3)	13 ± 1,77 b	95 ± 1,20 a	9 ± 0,77 ab	53 ± 1,65 a
	75 (t3)	42 ± 2,49 a	99 ± 0,40 a	15 ± 0,77 b	63 ± 1,77 a
	90 (t6)	21 ± 1,51 b	0 ± 0	39 ± 2,30 a	21 ± 1,51 b
	110 (t9)	0 ± 0	0 ± 0	15 ± 2,10 b	18 ± 2,12 b
	140 (t12)	0 ± 0	0 ± 0	3 ± 0,77 c	12 ± 1,96
	170 (t15)	0 ± 0	0 ± 0	3 ± 0,40 c	0 ± 0
p-valor		0,0065	0,0001	0,0001	0,0001

Superíndices con letras diferentes indican que hay diferencias significativas entre las medias, dentro de cada columna, para cada tiempo (p -valor < 0,05).

Como se desprende de la Figura N°7 para *P. flexuosa*, las temperaturas que determinaron los valores máximos de germinaciones diarias para semillas no escarificadas, fueron los tratamientos a 140°C (5 min), 90°C (25 min) y 75°C (50 min). Por el contrario, en las semillas escarificadas, estos valores se observaron en 170°C (5 min) y 75°C (25 y 50 min). En general, al tratarse de semillas escarificadas las germinaciones no solo ocurrieron dentro de los primeros días, sino que estos valores superaron a los de semillas no escarificadas.

De la comparación del proceso germinativo entre especies y tipos de semillas surge que *L. divaricata*, presentó mayor variación de la germinación diaria (Figura N°8). En las semillas no escarificadas, los valores máximos de germinación se alcanzaron, en general, a 140 y 170° (5 min), 110°C (25 min) y 90°C (50 min), tal como se observa en las curvas de la germinación. Sin embargo, cuando se trató de semillas previamente escarificadas, esta tendencia se observó a menores temperaturas (140°C-5 min, 75 y 90°C-25 min y 75°C-50 min). En términos generales se puede observar que, luego de alcanzarse los valores máximos de germinaciones, el número de semillas que germinaron a diario comenzó a disminuir.

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

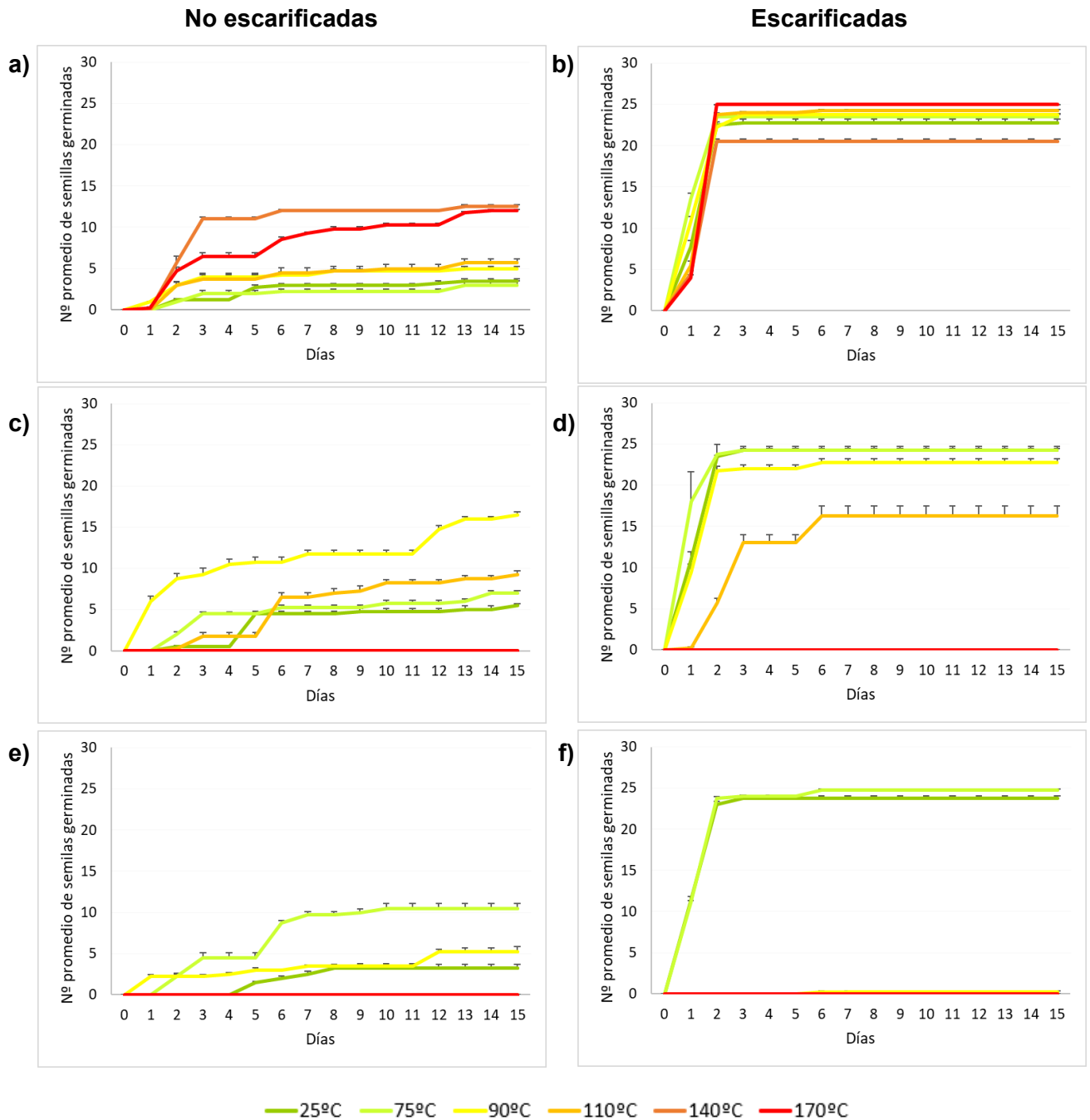


Figura N°7. Número de semillas de *P. flexuosa* germinadas acumuladas durante 15 días para cada tratamiento térmico durante a) 5 minutos no escarificadas, b) 5 minutos escarificadas, c) 25 minutos no escarificadas, d) 25 minutos escarificadas, e) 50 minutos no escarificadas, y f) 50 minutos escarificadas.

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

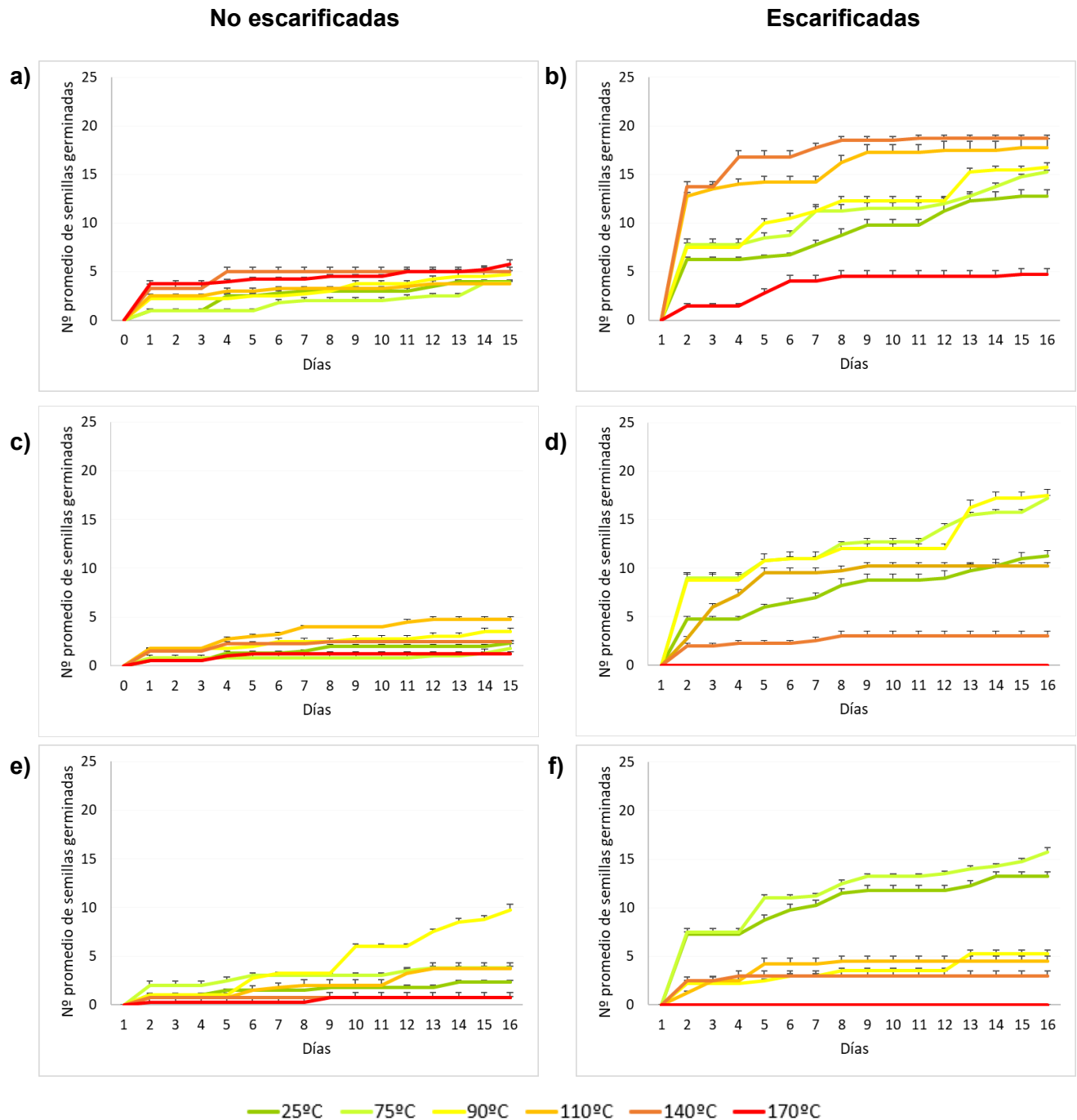


Figura N°8. Número de semillas de *L. divaricata* germinadas acumuladas durante 15 días para cada tratamiento térmico durante a) 5 minutos no escarificadas, b) 5 minutos escarificadas, c) 25 minutos no escarificadas, d) 25 minutos escarificadas, e) 50 minutos no escarificadas, y f) 50 minutos escarificadas.

El análisis estadístico reveló que una exposición breve (5 min) al calor, aún en las temperaturas más altas, no comprometió la germinación de las semillas, a pesar de que éstas se encontraran previamente escarificadas. Así, durante este tiempo la capacidad germinativa incrementó gradualmente hasta alcanzar valores 1,4 a 3,5 veces superior a los respectivos controles (Tabla N°2). A diferencia de lo observado en *P. flexuosa*, en semillas de *L. divaricata* a 170°C se observó la disminución de la CG.

A bajas temperaturas (75°C), las semillas escarificadas de *P. flexuosa*, no presentaron diferencias significativas de la germinación respecto del control, independientemente del tiempo de exposición al calor (Tabla N°2). Esta tendencia se observó también en las semillas no escarificadas de *L. divaricata*. Coincidentemente, estos resultados fueron reportados para semillas de siete especies leguminosas sometidas a tratamientos térmicos similares a los de este trabajo (Herranz *et al.*, 1998). En contraposición, a medida que se incrementó el tiempo de exposición a las mayores temperaturas (110, 140 y 170°C), la germinación se vio afectada de manera diferencial, según la especie y el tipo de semilla evaluado.

De esta manera, el efecto temperatura-tiempo observado en este trabajo presentó un comportamiento similar al modelo propuesto por Martin *et al.* (1975), con algunas diferencias, según se trate de *P. flexuosa* o *L. divaricata*. Dicho modelo incluye cuatro etapas: un rango de temperaturas que da lugar a una escasa ruptura de la dormición de las semillas (baja germinación); otro en el que las temperaturas rompen la latencia y la germinación aumenta rápidamente; un rango en el que se produce la máxima germinación; y un rango letal de las semillas. Este modelo de respuesta de la germinación al calor para especies con latencia física se ha determinado en varias leguminosas. En este sentido, Auld y O'Connell (1991) y Tangney *et al.* (2019), informaron estas variaciones del porcentaje de germinación, según la duración del calor y de la especie evaluada. Temperaturas superiores a 40°C pueden ser suficientes para romper la latencia de las semillas de algunas especies, sin embargo, otras, requieren de mayores temperaturas para lograrlo (Auld 1986; Auld y O'Connell 1991; Herranz *et al.*, 1998; Hanley, 2009).

A pesar de las diferencias observadas en CG durante el menor tiempo de exposición, la velocidad de germinación no presentó diferencias estadísticas en la mayoría de los casos, salvo a los 140 y 170°C, en *P. flexuosa*, donde se observó un incremento significativo del número de semillas no escarificadas germinadas, por día.

Respecto al índice de velocidad de germinación (IVG), el mayor valor obtenido en las semillas no escarificadas de *P. flexuosa* se produjo a los 90°C (25 min), mientras que en semillas tratadas ocurrió durante el mismo tiempo, pero a menor temperatura (75°C). Por el contrario, en *L. divaricata*, esta tendencia se observó en el menor tiempo de exposición, en donde el mayor valor se obtuvo a 140°C y 170°C, en las semillas escarificadas y sin escarificar, respectivamente (Tabla N°3).

Otro aspecto relevante que surge de la evaluación de la velocidad de germinación, demuestra que las semillas no tratadas presentaron un proceso de germinación más lento e irregular. En este sentido, se ha relacionado el desgaste del tegumento, y consecuente ruptura de la dormición, con la sincronización del proceso germinativo (Flores-Córdova *et al.*, 2016).

En términos generales, el IVG varió según lo hizo la CG, es decir, un aumento o disminución de los valores de CG fueron prácticamente correspondidos con la misma tendencia de la velocidad germinativa. Así, del mismo modo que la CG, el IVG de las semillas escarificadas fue superior al de aquellas no tratadas.

Los resultados sugieren que el incremento de las temperaturas tuvo un efecto positivo sobre la rapidez del proceso germinativo, siempre que éste no se viera afectado por los tratamientos. Sin embargo, los efectos de la velocidad de germinación podrían tener importantes consecuencias sobre el establecimiento y la supervivencia de las plántulas obtenidas. Esto se debe a que las especies cuyas plántulas emergen antes que sus competidores (mayores

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

valores de Tasa de Germinación) con frecuencia tienen menor tasa de mortalidad que las que lo hacen más tardíamente (Hanley y Lamont, 2000).

Tabla N°3. Resultados de IVG. Los valores representan un promedio de cuatro repeticiones con su Error Estándar.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	<i>P. flexuosa</i> no escarificada	<i>P. flexuosa</i> escarificada	<i>L. divaricata</i> no escarificada	<i>L. divaricata</i> escarificada
5	25 (k1)	1,01 ± 0,07 ^b	15,21 ± 0,53 ^{ab}	1,53 ± 0,16	7,05 ± 0,27 ^b
	75 (t1)	0,93 ± 0,16 ^b	18,5 ± 0,47 ^a	1,29 ± 0,17	8,73 ± 0,53 ^b
	90 (t4)	2,46 ± 0,14 ^{ab}	17 ± 0,35 ^{ab}	2,53 ± 0,38	8,13 ± 0,21 ^b
	110 (t7)	1,99 ± 0,26 ^b	14,75 ± 0,31 ^b	2,71 ± 0,21	13,8 ± 0,49 ^a
	140 (t10)	4,82 ± 0,17 ^a	14,75 ± 0,17 ^b	3,69 ± 0,43	15,05 ± 0,48 ^a
	170 (t13)	3,77 ± 0,14 ^{ab}	14,5 ± 0,18 ^b	3,99 ± 0,24	2,15 ± 0,28 ^c
p-valor		0,0001	0,0314	0,1190	0,0001
25	25 (k2)	1,17 ± 0,09 ^b	17,5 ± 0,44 ^{ab}	0,8 ± 0,08	8,66 ± 1,31 ^a
	75 (t2)	2,52 ± 0,16 ^b	21,04 ± 0,34 ^a	1,57 ± 0,35	10,1 ± 0,42 ^a
	90 (t5)	8,37 ± 0,28	15,83 ± 0,68 ^b	1,84 ± 0,22	9,89 ± 0,64 ^a
	110 (t8)	1,69 ± 0,16 ^b	5,88 ± 0,45 ^c	2,55 ± 0,18	6,58 ± 0,57 ^b
	140 (t11)	0 ± 0	0 ± 0	1,72 ± 0,18	2,2 ± 0,28 ^b
	170 (t14)	0 ± 0	0 ± 0	0,68 ± 0,13	0 ± 0
p-valor		0,0001	0,0001	0,2187	0,044
50	25 (k3)	0,55 ± 0,07 ^b	17,38 ± 0,35	1,2 ± 0,12 ^{ab}	8,24 ± 0,29 ^a
	75 (t3)	2,81 ± 0,18 ^a	17,58 ± 0,12	2,29 ± 0,38 ^b	8,88 ± 0,31 ^a
	90 (t6)	2,63 ± 0,23 ^a	0 ± 0	2,05 ± 0,16 ^b	2,63 ± 0,23 ^b
	110 (t9)	0 ± 0	0 ± 0	1,13 ± 0,32 ^{ab}	2,35 ± 0,31 ^b
	140 (t12)	0 ± 0	0 ± 0	0,5 ± 0,12 ^a	2,67 ± 0,39 ^b
	170 (t15)	0 ± 0	0 ± 0	0,32 ± 0,09 ^a	0 ± 0
p-valor		0,0086	0,9999	0,047	0,0001

Superíndices con letras diferentes indican que hay diferencias significativas entre las medias, dentro de cada columna, para cada tiempo (p -valor < 0,05).

Otro parámetro evaluado en este trabajo fue la Tasa de Germinación (TG), la cual presentó la misma tendencia que la observada entre CG e IVG, con valores máximos alcanzados en las mismas temperaturas y tiempos de exposición (Tabla N°4; Figuras N°9-12).

Coincidentemente con los otros parámetros, la TG de las semillas no tratadas, en ambas especies, fue más baja que la de las escarificadas, donde se obtuvieron valores significativamente superiores, aspecto que denota la impermeabilidad de los tegumentos seminales de estas dos especies. Además, las semillas de *P. flexuosa* presentaron mayores TG que las de *L. divaricata* (Tabla N°4). Dado que este parámetro pondera a las semillas que germinan primero, estas diferencias podrían deberse a los distintos tamaños de las semillas de ambas especies, puesto que las semillas de *P. flexuosa* son consideradas mayores que las de *L. divaricata*.

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

Tabla N°4. Resultados de TG(%). Los valores representan un promedio de cuatro repeticiones con su Error Estándar.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	<i>P. flexuosa</i> no escarificada	<i>P. flexuosa</i> escarificada	<i>L. divaricata</i> no escarificada	<i>L. divaricata</i> escarificada
5	25 (k1)	10,2 ± 0,66 ^b	82,29 ± 1,78 ^a	11 ± 0,76 ^{ab}	37,13 ± 1,85 ^b
	75 (t1)	8,47 ± 1,30 ^b	88,29 ± 1,39 ^a	7,87 ± 0,98 ^b	44,93 ± 1,84 ^b
	90 (t4)	16,87 ± 0,86 ^b	86,72 ± 0,65 ^a	13,07 ± 1,28 ^{ab}	47,34 ± 1,46 ^b
	110 (t7)	17,34 ± 1,93 ^b	85,57 ± 0,72 ^a	12,87 ± 0,95 ^{ab}	63,73 ± 2,85 ^a
	140 (t10)	42,74 ± 0,75 ^a	88,29 ± 0,20 ^a	18,6 ± 1,69 ^a	70,27 ± 1,64 ^a
	170 (t13)	34,2 ± 0,77 ^a	88 ± 0,21 ^a	18 ± 0,83 ^a	15 ± 2 ^b
p-valor		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
25	25 (k2)	14,4 ± 1,09 ^b	89 ± 0,59 ^a	6,14 ± 0,29 ^a	31,87 ± 1,93 ^b
	75 (t2)	19,67 ± 1,05 ^b	93,15 ± 0,44 ^a	2,27 ± 1,27 ^a	50,4 ± 0,71 ^a
	90 (t5)	47,47 ± 1,45 ^a	81,57 ± 2,12 ^a	10 ± 1,11 ^{ab}	49,94 ± 2,37 ^a
	110 (t8)	22,47 ± 1,51 ^a	44,29 ± 3,28 ^b	14,33 ± 0,59 ^b	36,34 ± 1,49 ^b
	140 (t11)	0 ± 0	0 ± 0	8,93 ± 0,57 ^{ab}	8 ± 0,92 ^c
	170 (t14)	0 ± 0	0 ± 0	4,33 ± 0,70 ^b	0 ± 0
p-valor		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
50	25 (k3)	8,53 ± 1,10 ^b	87,43 ± 1,15 ^a	6,53 ± 0,42 ^{ab}	42,74 ± 1,68 ^a
	75 (t3)	31,2 ± 1,55 ^a	89,29 ± 0,22 ^a	12 ± 1,08 ^{bc}	48,97 ± 0,97 ^a
	90 (t6)	14,33 ± 0,76 ^b	0 ± 0	18,4 ± 0,71 ^c	14,33 ± 0,76 ^b
	110 (t9)	0 ± 0	0 ± 0	8,67 ± 1,69 ^{ab}	15,87 ± 1,96 ^b
	140 (t12)	0 ± 0	0 ± 0	3 ± 0,77 ^a	11,73 ± 1,87 ^b
	170 (t15)	0 ± 0	0 ± 0	2,07 ± 0,33 ^a	0 ± 0
p-valor		0,0001	0,0001	0,0012	0,0001

Superíndices con letras diferentes indican que hay diferencias significativas entre las medias, dentro de cada columna, para cada tiempo (p -valor < 0,05).

En general, el tamaño de la semilla ha sido correlacionado con la tolerancia de las plántulas a varios estreses abióticos y puede afectar las características juveniles y adultas de la progenie. Así, las especies que producen semillas de mayor tamaño se establecen de inmediato sobre un amplio rango de condiciones ambientales, mientras que las especies de semillas pequeñas son más dependientes (Kitajima y Fenner, 2000). Sin embargo, las semillas de menor tamaño presentan ciertas ventajas relacionadas con la dispersión, la tasa de germinación, el escape a herbívoros y la perduración en el banco de semillas (Wulff, 1995; Kitajima y Fenner, 2000; Longas, 2018).

Como se observa en la Tabla N°4 y Figuras N°9-12, en general, la similitud obtenida en la respuesta de los parámetros germinativos (CG, IVG y TG) en los diferentes tratamientos térmicos y tiempos evaluados fue alta. En *P. flexuosa*, se obtuvo una correlación lineal de fuerte a muy fuerte, de acuerdo a las referencias tomadas de Schober *et al.* (2018), entre CG, TG e IVG conforme aumentó la temperatura ($r = 0,85-1$) mientras que en *L. divaricata* ésta fue de moderada a muy fuerte ($r = 0,58-0,98$). Ya que la TG pondera en mayor medida a aquellas semillas que germinan antes, la correlación de este parámetro con la velocidad de germinación (IVG) y con la CG adquiere mayor relevancia en este estudio.

3.1.1. *Prosopis flexuosa* var. *depressa*

Como se mencionó anteriormente, la germinación de las semillas no escarificadas de esta especie fue estimulada por cada incremento de temperatura, incluso en los máximos valores, siempre que éstas se produjeran durante 5 minutos, o bien, a temperaturas inferiores en mayores tiempos de exposición (75 y 90°C, durante 25 minutos y 75°C, 50 minutos). En este sentido, se ha informado que las leguminosas presentan semillas capaces de tolerar altas temperaturas y aumentar su germinación bajo los efectos de éstas, debido a que el calor vuelve permeable las cubiertas duras características de este grupo de plantas, como es el caso de *P. flexuosa* (Burrows *et al.*, 2018). Además, el mayor valor de germinación alcanzado en las semillas sin escarificar (66%) fue semejante al menor obtenido en las escarificadas (65%) (t5 y t8, respectivamente) (Tabla N°2). Por ello, y debido a la capacidad del calor de eliminar la dormición, es posible que los tratamientos térmicos evaluados en este trabajo, no hayan incluido los tiempos de exposición, o las temperaturas ideales como para escarificar la mayoría de las semillas de esta especie. En este sentido se observó que un período de calor entre 25 y 50 minutos, fue capaz de interrumpir la dormición y lograr porcentajes de germinación similares a los de las semillas escarificadas, tal como fue indicado por Lamont *et al.* (2022).

Se ha observado que diversas especies vegetales poseen semillas capaces de tolerar altas temperaturas y aumentar su germinación bajo los efectos de las mismas. Es probable que las semillas más tolerantes al calor presenten una dormición provocada por la presencia de un tegumento impermeable al agua, dado que la hidratación de las semillas las hace más susceptibles a sufrir daños por calentamiento (Madueño-Molina *et al.*, 2006). Cabe destacar que el máximo valor de germinación de las semillas no escarificadas se obtuvo luego de 25 minutos, a 90°C, por lo que un incendio de estas características, producido hacia fines del verano, podría representar una ventaja adaptativa para esta especie y favorecer la regeneración luego del disturbio. Sin embargo, a partir de allí, un incremento de la temperatura y/o del tiempo de exposición afectaría negativamente la germinación (t6 y t8) hasta incluso inhibirla completamente (t9, t11, t12, t14 y t15). Por otra parte, en cada periodo de tiempo, los valores más altos de CG de las semillas no escarificadas, se obtuvieron a una temperatura inferior (Tabla N°2).

Respecto a las semillas tratadas, éstas presentaron valores similares, y próximos a la máxima CG (100%) en los diferentes períodos de tiempo, salvo en aquellos tratamientos en los que las temperaturas comenzaron a afectar negativamente las germinaciones (t8), hasta la ausencia de las mismas (t6, t9, t11, t12, t14 y t15). Estos resultados sugieren que, con una duración del calor que alcance o supere los 25 minutos, con temperaturas iguales o mayores a 110°C se afectará negativamente la germinación de esta especie, independientemente del momento del año en el que se produzca este disturbio.

Cabe destacar que los porcentajes de germinación obtenidos en las semillas escarificadas coinciden con los publicados por Cony y Trione (1996) para esta misma especie bajo condiciones similares a nuestro control (25°C). Sin embargo, estos autores indican una disminución de la germinación a 5% cuando las semillas fueron sometidas a 45°C, valor muy inferior al obtenido en este trabajo a los 75°C (12-42%). Esta diferencia podría deberse a la procedencia de las plantas semilleras debido a que las características ambientales de las plantas madres influyen sobre la respuesta germinativa de la progenie, y a que esta variabilidad ha sido detectada en diferentes especies de *Prosopis* (Solbrig y Cantino, 1975; Cony y Trione, 1996). Por otro lado, los porcentajes de germinación informados para las

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

semillas no escarificadas son inferiores a los de nuestro trabajo, siempre que se trate de aquellas temperaturas que no afectaron negativamente la germinación (Catalan y Balzarini, 1992). Estas discrepancias podrían estar asociadas con la influencia que ejercen diversos factores ambientales como la aridez, la altitud y la latitud, sobre el estado de dormición de las semillas (Cochrane *et al.*, 2014).

Como se detalló anteriormente, los parámetros germinativos IVG y TG de semillas no escarificadas presentaron una tendencia similar de la capacidad germinativa (Figura N°9), con correlaciones de fuerte a muy fuerte.

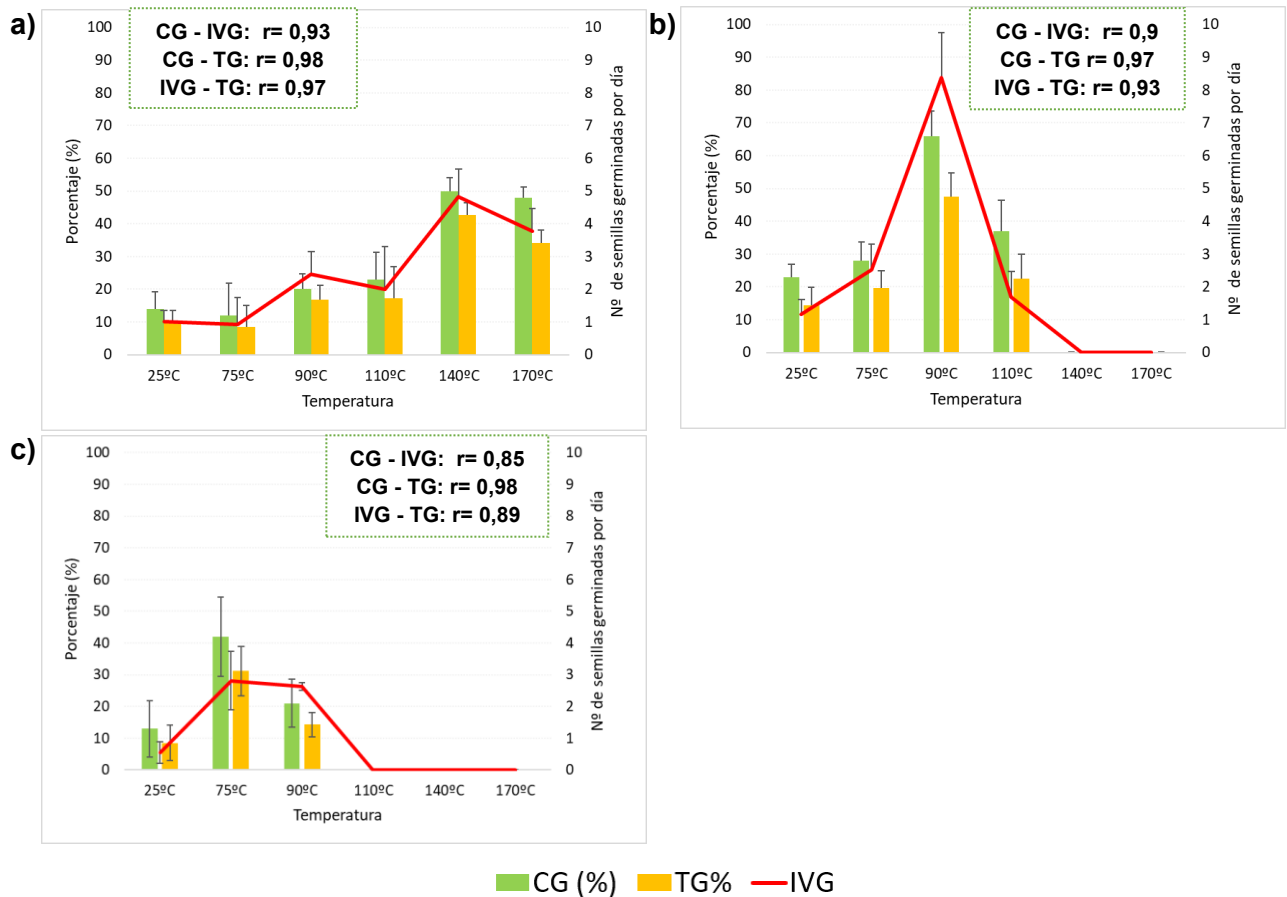


Figura N°9. Correlación de Pearson entre IVG, CG y TG para *P. flexuosa* no escarificada para cada tratamiento térmico durante a) 5 minutos b) 25 minutos c) 50 minutos.

Sin embargo, las semillas escarificadas sometidas a 5 minutos de calor, presentaron una correlación entre CG-IVG baja ($r = 0,18$), mientras que de IVG-TG fue moderada ($r = 0,65$). Es decir que, a pesar de lograr el 100% de germinación en las mayores temperaturas, y próximos a ésta, en las temperaturas inferiores (94-97%), la mayor parte de las germinaciones no se produjeron durante el primer día. Estos resultados podrían deberse a que, a diferencia de CG y TG, el IVG presentó una tendencia a disminuir a partir de los 75°C hasta alcanzar un valor constante desde los 110°C, valor similar al obtenido en el control escarificado (Figura N°10).

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

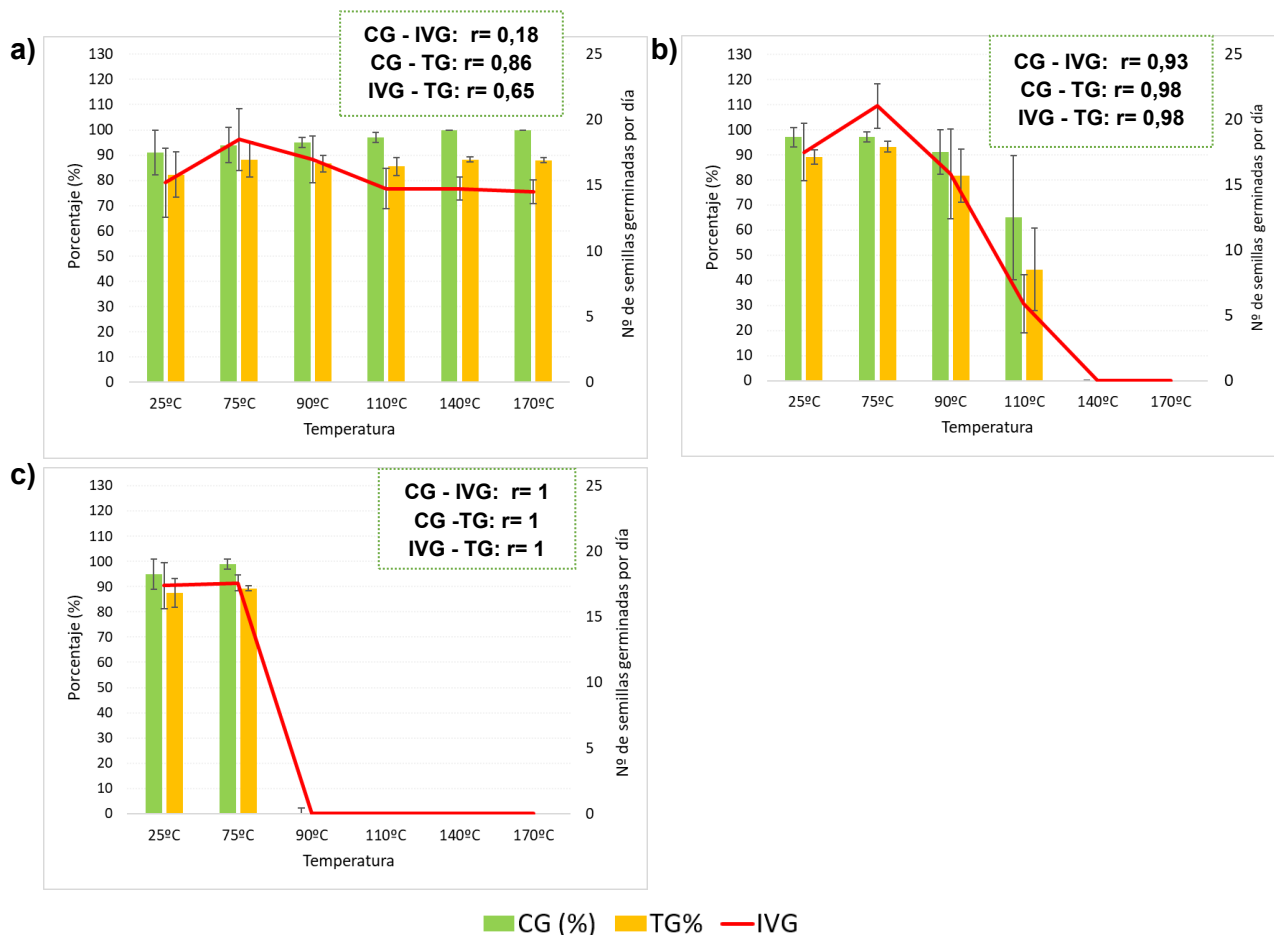


Figura N°10. Correlación de Pearson entre IVG, CG y TG para *P. flexuosa* escarificada para cada tratamiento térmico durante a) 5 minutos b) 25 minutos c) 50 minutos.

3.1.2. Larrea divaricata

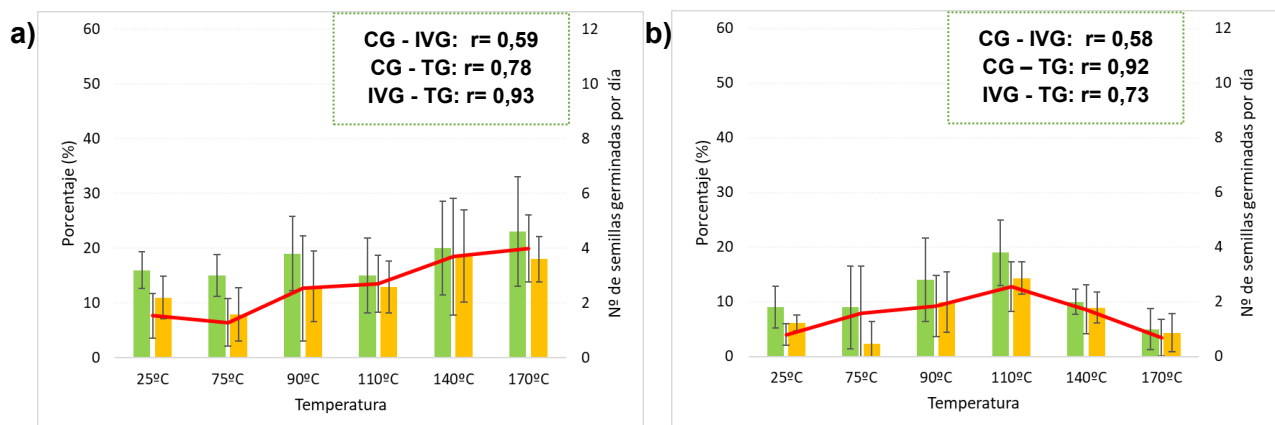
Como se observa en la Tabla N°2, cuando las semillas no escarificadas de esta especie fueron sometidas durante 5 minutos a las distintas temperaturas, no se observaron diferencias significativas del porcentaje de germinación entre los tratamientos térmicos y su control. Además, cuando el tiempo aumentó a 25 minutos, las temperaturas de 75,90,110 y 140°C se comportaron de forma similar al control y sólo se observó una CG significativamente inferior los 170°C. No obstante, con un incremento del tiempo a 50 minutos la CG aumentó junto con la temperatura, hasta los 90°C (t6) donde se alcanza la mayor CG (39%), para luego disminuir significativamente hasta el valor mínimo obtenido (3%). Este comportamiento también ha sido observado en ciertas especies en las cuales la germinación aumenta con la combinación de temperatura y tiempo de exposición, luego decae debido a las temperaturas elevadas, por la duración de la exposición que provoca la muerte de las semillas o por la falta de respuestas (Hanley y Lamont, 2000; Hanley *et al.*, 2003; Tsuyuzaki y Miyoshi, 2009). De esta manera, a diferencia de lo que ocurrió en las semillas no escarificadas de *P. flexuosa*, las de *L. divaricata* requirieron un mayor tiempo de exposición a 90°C para alcanzar su máximo porcentaje de CG (Tabla N°2). Por otra parte, si bien en *P. flexuosa*, la germinación de las semillas se vio negativamente afectada a partir de los 25 minutos y 110°C, en *L. divaricata* esto se observó en el menor tiempo de exposición y mayor temperatura evaluada (t13) cuando se trató de semillas escarificadas, o bien, a partir de 25 y 50 minutos, a 140 y 110°C, respectivamente, en aquellas no tratadas (t9 y t11).

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

Cabe destacar que el mayor porcentaje de germinación obtenido en este trabajo para *L. divaricata* (75%) luego que las semillas escarificadas mecánicamente fueron sometidas a 140°C, por 5 minutos, superó el 60-67% informado por Hernández *et al.* (2020) en este mismo tipo de semillas, quienes destacaron que el porcentaje logrado fue el más alto informado para la especie. De esta manera, los resultados obtenidos corroboran la idea de una acción sinérgica ejercida entre determinadas temperaturas y la escarificación mecánica de las semillas. Por otra parte, estos autores informaron un porcentaje de germinación para las semillas no tratadas del 35%, valor que duplica el obtenido en nuestros controles. Esta diferencia podría deberse a la edad y la procedencia de las plantas madres dado que, en especies perennes, como *L. divaricata*, la edad de éstas puede influenciar la germinabilidad de su progenie (Gutterman, 2000) y el fenotipo de su progenie, más allá de la contribución genética ejercida por cada progenitor (Roach y Wulff, 1987). En concordancia, esta variabilidad ha sido detectada en diferentes especies de *Prosopis* (Solbrig y Cantino, 1975; Cony y Trione, 1996).

Como se observa en las Tablas N°2,3 y 4, en general, el aumento de los tres parámetros germinativos cuando las semillas escarificadas fueron expuestas a mayores temperaturas y menores tiempos de exposición (t_7 y t_{10}) muestra que esta especie podría beneficiarse con pulsos de calor producidos por el fuego, al finalizar el verano, cuando la posibilidad de que las semillas se encuentren escarificadas es mayor. En contraposición, incendios de mayor duración, pero de menores temperaturas no afectarían significativamente la germinación de estas semillas.

Las figuras N°11 y 12 muestran los resultados obtenidos de la correlación de Pearson entre IVG, CG y TG. De este modo, en *L. divaricata*, se observó que las semillas escarificadas presentaron, en general, una correlación muy fuerte ($r= 0,86-0,98$), mientras que en aquellas no tratadas ésta fue de moderada a muy fuerte ($r= 0,57-0,93$). En este último caso, la correlación entre CG-IVG fue moderada ($r= 0,57-0,59$) lo cual podría explicarse por la falta de uniformidad de los eventos germinativos en las temperaturas más bajas (75 y 90°C). De esta manera, un alto porcentaje de CG no siempre fue acompañado con una rápida velocidad de germinación, y viceversa.



Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

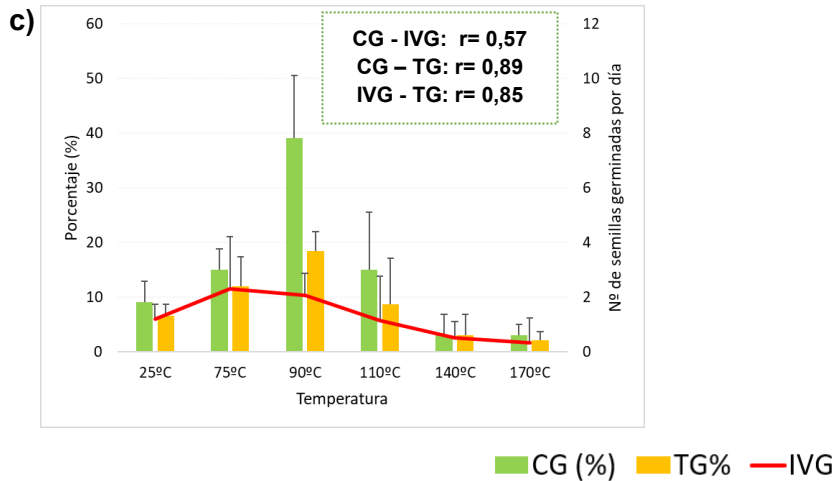


Figura N°11. Correlación de Pearson entre IVG, CG y TG para *L. divaricata* no escarificada para cada tratamiento térmico durante a) 5 minutos b) 25 minutos c) 50 minutos.

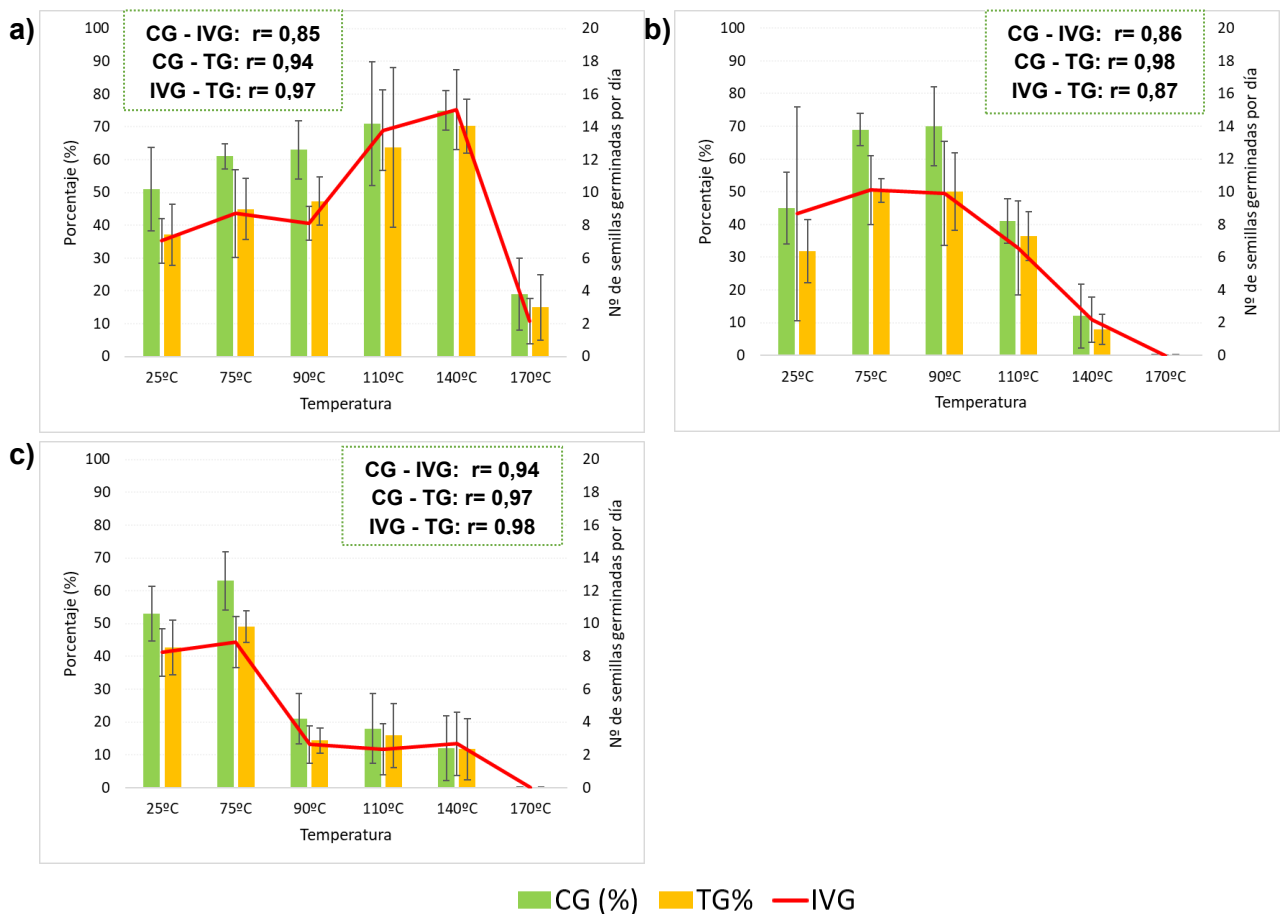


Figura N°12. Correlación de Pearson entre IVG, CG y TG para *L. divaricata* escarificada para cada tratamiento térmico durante a) 5 minutos b) 25 minutos c) 50 minutos.

3.2 Determinación del contenido de humedad (CH) de las semillas

Es sabido que la dormición física, es decir, la presencia de un tegumento duro e impermeable, informada para las semillas de ambas especies (Baskin y Baskin, 2004; Hernández *et al.*, 2020) mantiene bajos los niveles de humedad internos y con ello, aumenta la longevidad de

las semillas y su tolerancia al calor (Considine y Considine, 2016). Por otra parte, las semillas hidratadas son más susceptibles a sufrir daños al calentarse (Madueño-Molina *et al.*, 2006). Sin embargo, como se observa en las figuras N°13 y 14, una exposición de 5, 25 y 50 minutos a 75 y 25°C (control), provocó un leve incremento del CH en ambas especies y tipos de semillas, no obstante, éste no fue estadísticamente significativo. En el caso de *P. flexuosa*, dicho incremento no superó el 1%, por lo que el CH se mantuvo relativamente constante (Figura N°13).

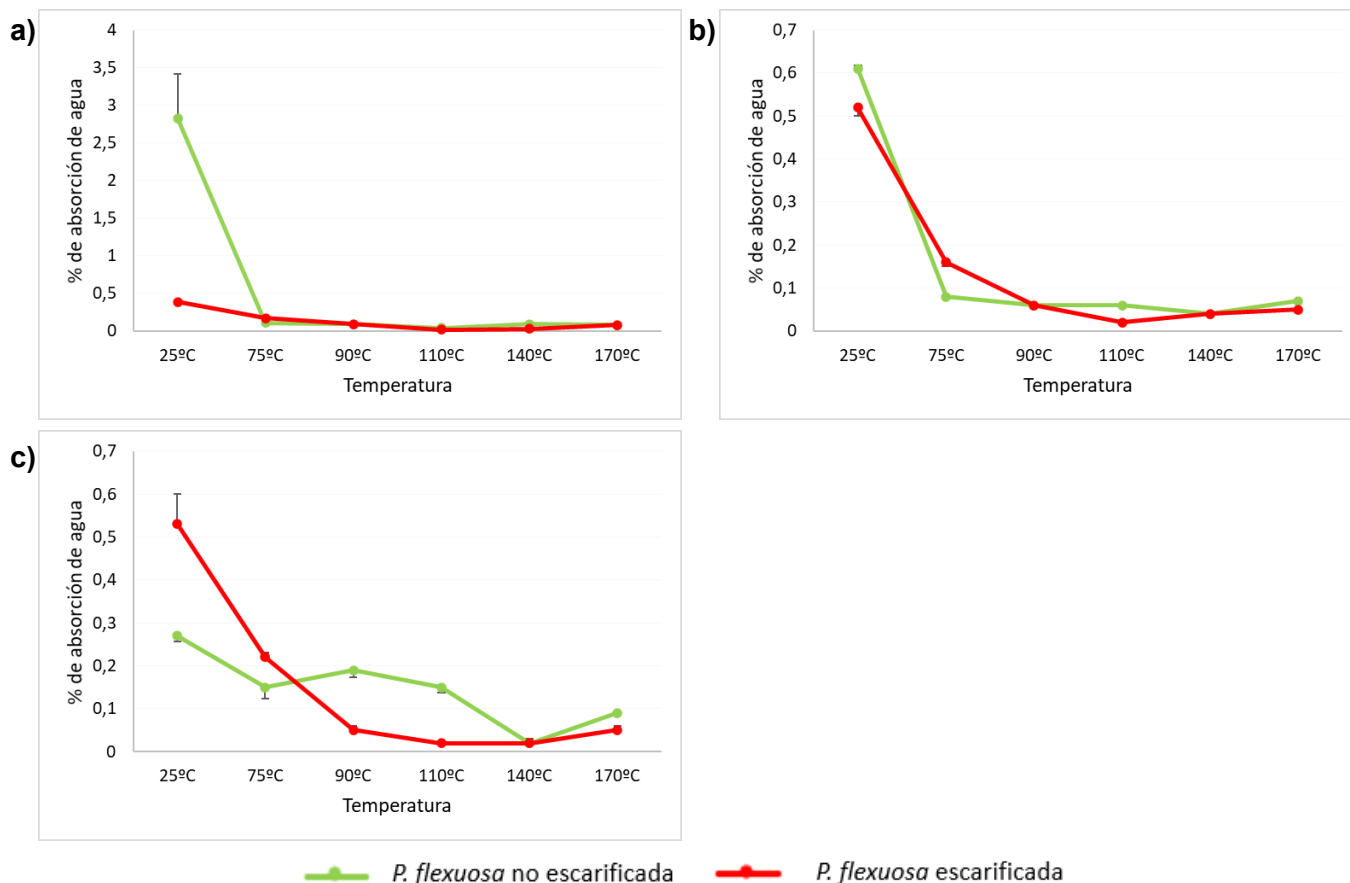


Figura N°13. Porcentaje de absorción de agua para semillas no escarificadas y escarificadas de *P. flexuosa* durante a) 5 minutos, b) 25 minutos y c) 50 minutos.

Por su parte, las semillas escarificadas de *L. divaricata*, registraron un máximo aumento del 5% del CH en el mayor tiempo evaluado, mientras que, en las semillas no tratadas, fue 2,7%, en el mismo tiempo evaluado (Figura N°14), aunque, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas respecto al control (Tabla N°7 de Porcentaje de absorción de agua, Anexo 1). Cabe destacar que las semillas de las especies de zonas áridas y semiáridas se caracterizan por presentar un conjunto de estrategias que le permiten sobrevivir a las condiciones de estrés ambiental a las que se ven sometidas. Como se mencionó anteriormente, entre ellas, se encuentra la dormición exógena, producida principalmente por las propiedades físicas y químicas de las cubiertas seminales (Baskin y Baskin, 2004), o la endógena, determinada por las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas del embrión, que impide el paso de agua para iniciar el proceso de germinación (Doria, 2010).

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

Por otro lado, la imbibición depende, entre otros aspectos, de las relaciones hídricas de la semilla y la relación entre la semilla y el suelo (Bewley y Black, 1983), cuyas características también influyen en dicho proceso. Además, Martin y Cushwa (1966), indicaron que el agua liberada en forma de vapor, ingresaría al suelo por diferencia de gradiente para luego condensar en las semillas. No obstante, los procedimientos llevados a cabo en este estudio incluyeron el uso de una reducida capa de suelo seco y posterior incubación bajo un ambiente de aire saturado, en diferentes combinaciones de temperatura/tiempo. Así, estas condiciones experimentales pudieron influir sobre la falta de imbibición de agua y consecuente cambio en el contenido de humedad de las semillas, observados en este estudio.

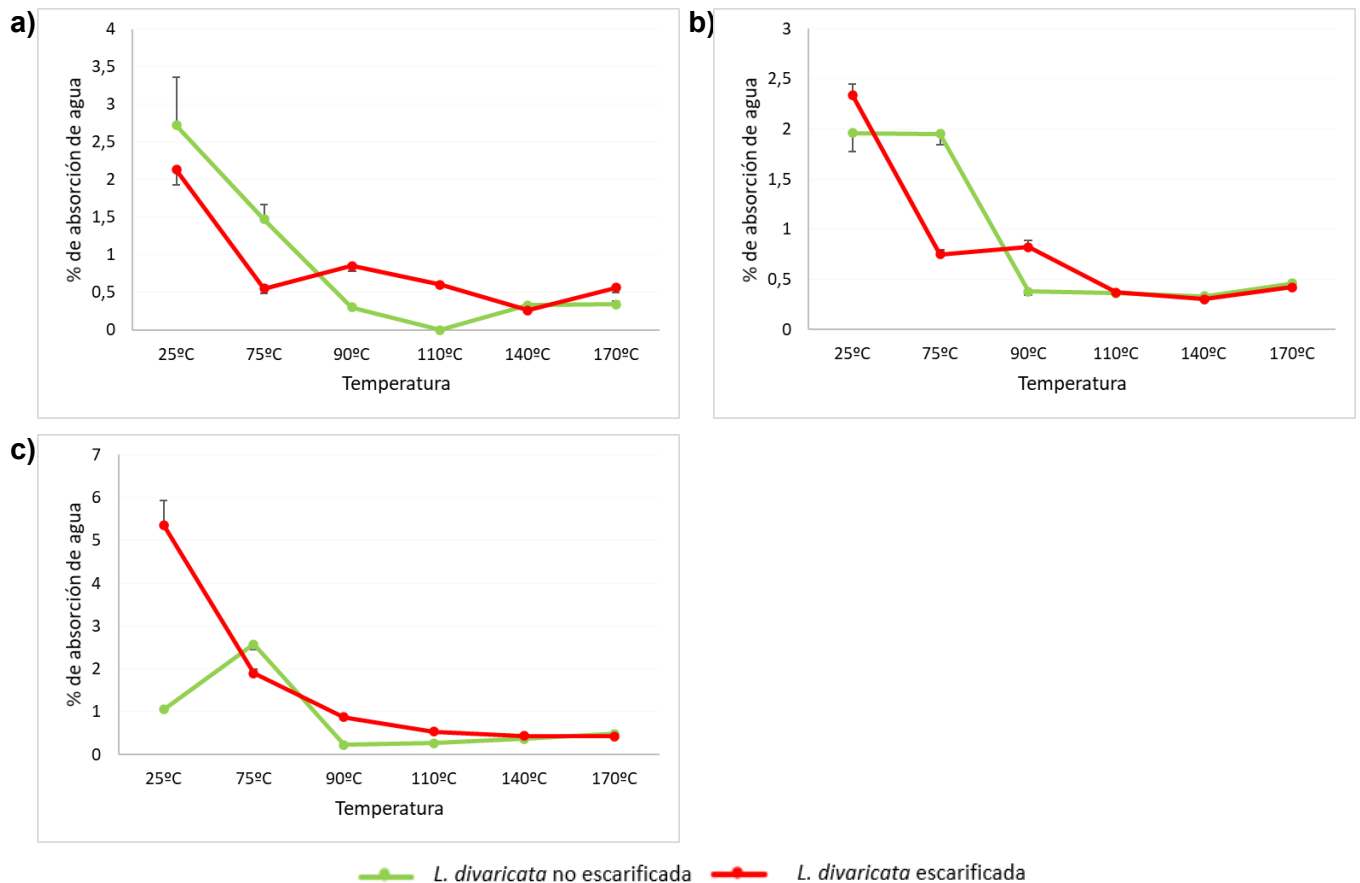


Figura N°14. Porcentaje de absorción de agua para semillas no escarificadas y escarificadas de *L. divaricata* durante a) 5 minutos, b) 25 minutos y c) 50 minutos.

Generalmente, los suelos de ambientes áridos y semiáridos se encuentran a niveles de contenido en agua relativamente bajos y el movimiento del agua se vuelve más complejo, producto de la combinación de procesos de transporte que tienen lugar tanto en forma líquida como gaseosa. Sin embargo, el vapor de agua (proveniente, por ejemplo, del aire saturado de este sistema experimental) impide el transporte de iones, y con ello, el suministro de nutrientes y agua en los suelos, por lo que éstos alcanzan un contenido en agua próximo al punto de marchitez permanente (Rose, 1968; Gálvez, 2010). Además, las semillas absorben o pierden humedad dependiendo de sus características, la temperatura y la humedad relativa del aire circundante (González *et al.*, 2012), hasta establecer un equilibrio entre el contenido de humedad de la semilla (presión del vapor en la semilla) y la humedad relativa de la atmósfera (presión del vapor de la humedad atmosférica). En este equilibrio el intercambio

entre la semilla y el ambiente se iguala de tal forma que no hay ni ganancia ni pérdida neta en el contenido de humedad (Burbano-Orjuela, 1991). Asimismo, luego de un período de tiempo determinado en condiciones de temperatura y humedad relativa, las semillas alcanzan el contenido de humedad de equilibrio o equilibrio higroscópico (Mahecha-Godoy, 2011). De esta manera, la falta de un gradiente adecuado de potenciales hídricos para que se inicie la absorción de agua por las semillas podría explicar las pequeñas variaciones del contenido de humedad observadas en este estudio.

3.3 Evaluación del efecto de las altas temperaturas sobre la viabilidad de las semillas

En términos generales, para ambas especies y tipos de semillas, la viabilidad disminuyó en las mayores temperaturas y tiempos de exposición evaluados. En relación a los parámetros germinativos, se observó que luego de haberse alcanzado el máximo valor de CG, ésta comenzó a disminuir como consecuencia de la pérdida de viabilidad por los efectos del calor sobre las semillas. Cabe destacar que los porcentajes de viabilidad obtenidos en este trabajo para *L. divaricata* se encuentran dentro del rango publicado para la especie por Barbour (1968).

En general, las semillas de *L. divaricata* presentaron una mayor viabilidad respecto de las de *P. flexuosa* frente a un disturbio prolongado de este tipo, con altas temperaturas (Tabla N°5). No obstante, cuando el tiempo de exposición fue de 5 minutos, la viabilidad de ambos tipos de semillas de esta especie no se vio afectada, a pesar de no haber alcanzado el 100% de viabilidad en todos los tratamientos. La existencia de semillas viables sin germinar luego de los tratamientos térmicos, sugiere que otros efectos, como la combinación tiempo/temperatura, podrían desencadenar la germinación, tal como ha sido observado en diversas especies herbáceas y arbustivas (Avila *et al.*, 2010).

Por otra parte, en los ensayos de germinación realizados a 25°C se observó que entre el 5 y el 8% de las semillas de *P. flexuosa* fueron colonizadas por insectos (datos no informados). Coincidentemente, se ha informado que los escarabajos de la familia *Bruchidae* consumen las semillas de las especies de *Prosopis* y pueden dañar hasta el 5% de éstas durante la etapa de la predispersión (Velez *et al.*, 2018). En este sentido, cabe destacar que los brúquidos completan su desarrollo en 4 semanas a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, temperatura experimental de este estudio en la que se observaron dichos patógenos (Parra *et al.*, 2020). No obstante, la presencia de éstos en las semillas de otros tratamientos pudo haber ocurrido sin haber sido identificados, debido a que estos insectos mueren a temperaturas superiores a 52°C (Mazzuferi *et al.*, 1994), y con ello, se pudo haber evitado el avance del daño y posterior muerte del embrión. Dado que la herbivoría por brúquidos puede reducir la viabilidad de las semillas de *Prosopis* spp, hasta incluso impedir la germinación (Kingsolver *et al.*, 1977; Johnson, 1983), las semillas en las cuales se determinó la presencia de estos insectos fueron consideradas como no viables en este trabajo, a pesar de que la pérdida de viabilidad no estuvo relacionada con las temperaturas y los tiempos de exposición evaluados.

Germinación post incendios: El efecto de las altas temperaturas en dos especies representativas del noreste patagónico.

Tabla N°5. Resultados de viabilidad. SVT: N° total de semillas viables; SNVT: N° total de semillas no viables.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	<i>P. flexuosa</i> no esscarificada		<i>P. flexuosa</i> esscarificada		<i>L. divaricata</i> no esscarificada		<i>L. divaricata</i> esscarificada	
		SVT	SNVT	SVT	SNVT	SVT	SNVT	SVT	SNVT
5	25 (k1)	92 ^b	8	91 ^b	9 ^a	68 ^a	32 ^{ab}	62 ^a	38 ^b
	75 (t1)	97 ^a	3	95 ^b	5 ^a	76 ^a	24 ^c	67 ^a	33 ^b
	90 (t4)	92 ^b	8	95 ^b	5 ^a	54 ^b	46 ^b	67 ^a	33 ^b
	110 (t7)	92 ^b	8	98 ^{ab}	2 ^{ab}	36 ^c	64 ^a	74 ^a	26 ^b
	140 (t10)	98 ^a	2	100 ^a	0 ^b	29 ^c	71 ^a	77 ^a	23 ^b
	170 (t13)	98 ^a	2	100 ^a	0 ^b	24 ^c	76 ^c	19 ^b	81 ^a
<i>p-valor</i>		0,0014	0,1223	0,0011	0,0431	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
25	25 (k2)	95 ^{ab}	5 ^c	98 ^a	2 ^b	57 ^b	43 ^c	56 ^b	44 ^b
	75 (t2)	97 ^a	3 ^c	97 ^{ab}	3 ^b	77 ^a	24 ^c	73 ^a	27 ^e
	90 (t5)	95 ^{ab}	5 ^c	93 ^{ab}	7 ^{ab}	63 ^{ab}	37 ^c	72 ^a	28 ^d
	110 (t8)	41 ^{bc}	59 ^b	65 ^{bc}	36 ^{ab}	29 ^c	71 ^b	41 ^c	59 ^c
	140 (t11)	0 ^c	100 ^a	0 ^c	100 ^a	10 ^d	90 ^a	12 ^d	88 ^b
	170 (t14)	0 ^c	100 ^a	0 ^c	100 ^a	5 ^d	95 ^a	0 ^d	100 ^a
<i>p-valor</i>		0,0008	0,0001	0,0005	0,0010	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
50	25 (k3)	87 ^{ab}	13 ^b	96 ^a	4 ^b	62 ^{ab}	38 ^c	58 ^a	42 ^c
	75 (t3)	94 ^a	6 ^b	99 ^a	1 ^b	69 ^{ab}	31 ^c	66 ^a	34 ^c
	90 (t6)	31 ^b	69 ^{ab}	0 ^b	100 ^a	79 ^a	21 ^d	21 ^b	79 ^b
	110 (t9)	0 ^b	100 ^a	0 ^b	100 ^a	24 ^{bc}	76 ^b	18 ^b	82 ^b
	140 (t12)	0 ^b	100 ^a	0 ^b	100 ^a	3 ^c	97 ^a	12 ^{bc}	88 ^{ab}
	170 (t15)	0 ^b	100 ^a	0 ^b	100 ^a	3 ^c	97 ^a	0 ^c	100 ^a
<i>p-valor</i>		0,0004	0,0005	0,0003	0,0005	0,0011	0,0001	0,0001	0,0001

Superíndices con letras diferentes indican que hay diferencias significativas entre las medias, dentro de cada columna, para cada tiempo (*p*-valor < 0,05). No se incluyó el Error Estándar, ya que se trabajó sobre el 100% de las semillas. Datos de *P. flexuosa* analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Por otra parte, a diferencia de lo observado en *P. flexuosa* para los tratamientos de menor duración, la viabilidad de ambos tipos de semillas de *L. divaricata* se vio beneficiada, siendo significativamente mayor en esscarificadas, probablemente por el efecto sinérgico entre el pretratamiento y las temperaturas aplicadas. Sin embargo, a mayores exposiciones térmicas, el efecto se revierte y son éstas las semillas más afectadas con el incremento de las temperaturas, hasta incluso inhibir completamente la germinación (t14 y t15). Además, los porcentajes de viabilidad obtenidos para 25 y 50 minutos en las semillas esscarificadas fueron en todos los casos, inferiores a las semillas no tratadas, en las cuales ningún tratamiento produjo porcentajes de 0%. Asimismo, en éstas últimas, los valores de IVG informados anteriormente resultaron siempre inferiores, particularmente a los 5 minutos de exposición, donde la diferencia fue significativamente menor. En este sentido, una germinación más lenta prolonga el tiempo de incubación y deja a las semillas que no germinan rápidamente más propensas a ser colonizadas por microorganismos.

Con 25 minutos de calor, ambas especies y tipos de semillas presentaron una disminución significativa de la viabilidad en los 110°C. En *P. flexuosa*, se observó la pérdida total de viabilidad con el incremento de las temperaturas y tiempos de exposición (t6, t8, t9, t11, t12,

t14 y t15). Sin embargo, en *L. divaricata*, esta misma respuesta se observó solamente en las semillas escarificadas (t14 y t15). Resultados similares se han observado por Avila *et al.* (2010) para otra especie, donde la viabilidad de las semillas se redujo significativamente a los 120°C con 5 minutos de exposición, mientras que cuando el tratamiento térmico se prolongó por 10 o 20 minutos, no se observaron eventos germinativos.

En general, debido a las altas temperaturas, los tegumentos seminales presentaron una consistencia viscosa y signos evidentes de descomposición, como deshacerse al ser tocadas, exudación de líquidos y, en el caso particular de *P. flexuosa*, liberación de gomas que luego fueron colonizadas por microorganismos (Figura N°15). Coincidentemente, estos mismos resultados fueron observados en otras Fabáceas (Cruz-Medina y Orozco-Almanza, 2010) y en *Prosopis alata*, cuando las semillas fueron sumergidas en ácido sulfúrico durante 40-60 minutos (Boeri, 2017). Varios autores caracterizaron las gomas de las semillas de *Prosopis* spp y destacaron la composición mayoritaria de carbohidratos (Ibáñez y Ferrero, 2003; Rincón *et al.*, 2017). Estos compuestos, sumado a las condiciones asociadas al proceso de germinación, han sido relacionados con el crecimiento de hongos y bacterias que se encuentran dentro o fuera de la semilla (Buck *et al.*, 2003; Zhurbenko y Rodríguez-Martínez, 2009). Entonces, la capacidad de hidratación de estas gomas favorece la formación de soluciones viscosas o geles y con ello, la aparición de los microorganismos y la descomposición final de las semillas. Estos resultados permiten relacionar el efecto de las altas temperaturas con los daños observados en las semillas y la pérdida de su viabilidad.

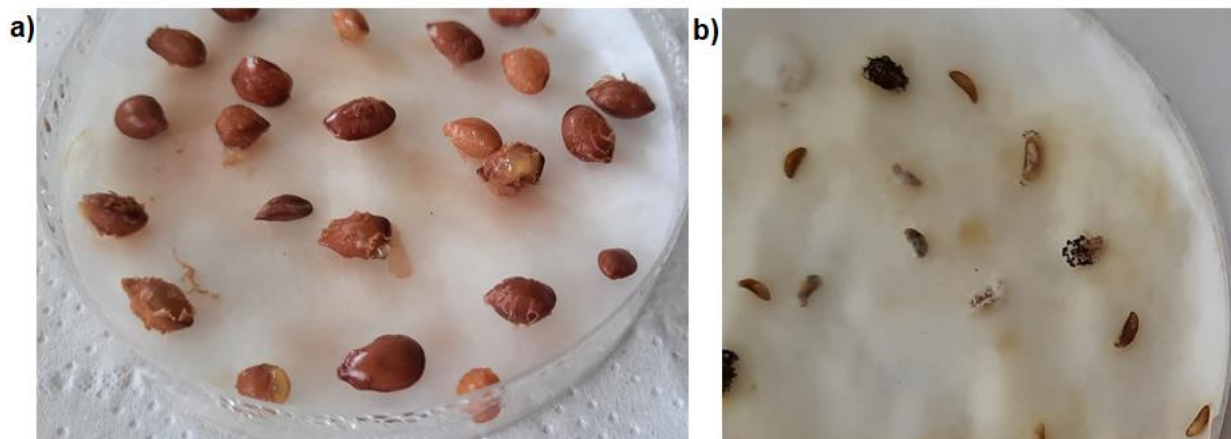


Figura N°15. Semillas afectadas por las temperaturas a) *P. flexuosa* b) *L. divaricata*.

3.3.4. Temperatura mínima letal de las semillas de *P. flexuosa* y *L. divaricata*

Las exposiciones breves a los diferentes tratamientos térmicos no produjeron eventos de letalidad de las semillas de ambas especies. Sin embargo, con el incremento del tiempo de exposición se evidenciaron algunos casos de mortalidad asociada a las mayores temperaturas evaluadas. Si bien *P. flexuosa* presentó siempre valores de viabilidad superiores a *L. divaricata*, esta última sólo registró mortalidad de sus semillas cuando éstas fueron escarificadas, y expuestas a los mayores tiempos de exposición y temperaturas (t14 y t15). Esta diferencia entre las semillas tratadas y sin tratar podría, nuevamente, estar relacionada con la dormición física de las mismas, dado que ésta impide que la semilla se embeba, evitando la desnaturalización de proteínas y el consecuente daño de la maquinaria celular por efecto de las altas temperaturas (Martiniat, 2012). Además, durante las últimas etapas del desarrollo embrionario y aproximadamente al mismo tiempo que las semillas adquieren la

dormición y tolerancia a la desecación, éstas acumulan proteínas de choque térmico capaces de protegerlas contra temperaturas extremadamente altas (Wehmeyer *et al.*, 1996). Por otro lado, en el caso de *P. flexuosa*, las semillas se vieron principalmente afectadas por las mayores temperaturas y tiempos de exposición (Tabla N°6). Así, tanto las semillas escarificadas como sin escarificar, presentaron comportamientos similares respecto a las temperaturas en las que se produjo letalidad. En este sentido, se pudo observar que cuando el tiempo de exposición fue de 25 minutos, la letalidad se produjo alrededor de los 140°C en ambos tipos de semillas. Sin embargo, con una mayor exposición al calor (50 min), la mortalidad de las mismas se observó a menor temperatura, de 110°C en semillas sin escarificar y a 90°C en escarificadas (Tabla N°6).

Tabla N°6. Temperaturas de letalidad según el tipo de tratamiento y especie.

Tiempo (min)	Temperaturas letales (°C)		
	<i>P. flexuosa</i>		<i>L. divaricata</i>
	No escarificadas	Escarificadas	Escarificadas
25	170	170	170
	140	140	-
50	170	170	170
	140	140	-
	110	110	-
	-	90	-

En general, las temperaturas que afectaron significativamente a *P. flexuosa* no lo hicieron sobre *L. divaricata*, las cuales evidenciaron letalidad en las mayores temperaturas (170°C) y tiempos de exposición, únicamente en las semillas previamente escarificadas. En este sentido, se ha descrito que las semillas pequeñas son más tolerantes a las temperaturas más altas, dado que éstas suelen encontrarse en las capas superficiales del suelo (Hanley *et al.*, 2003). Así, las condiciones experimentales de este trabajo (donde los tratamientos se efectuaron con las semillas dispuestas en una capa fina de suelo seco), pudieron haber puesto en ventaja a las semillas más pequeñas, en detrimento de las de *P. flexuosa*. De esta manera, del mismo modo que el fuego afecta de manera diferencial a los distintos grupos funcionales afectados (herbáceas o arbustivas), tal como lo informó Bran *et al.* (2007), también lo hace sobre las distintas especies.

En concordancia con nuestros resultados, diferentes estudios han indicado que las semillas de menor masa toleran mejor las altas temperaturas que las de mayor masa (Hanley *et al.*, 2003). Sin embargo, en condiciones naturales ello está determinado, no solo por la duración o intensidad del incendio, sino también por la profundidad en la que se encuentren las semillas en el suelo. Si bien las semillas de menor tamaño son menos sensibles a las temperaturas, las mismas suelen encontrarse en capas más superficiales del suelo, por lo tanto, se encuentran más susceptibles a ser dañadas por un incendio. Así, los resultados obtenidos en este estudio sugieren que un incendio de igual intensidad podría afectar de distinto modo, según se produzca en un periodo reciente a la formación y maduración de las semillas (primeros meses del verano) o luego de un periodo en el que pudieran estar escarificadas por eventos naturales (febrero-marzo).

Por otra parte, las diferencias observadas entre las especies coinciden con lo expuesto por Hanley *et al.* (2003) quienes evaluaron varias especies de leguminosas e informaron, que las

semillas de mayor tamaño presentaron una mayor mortalidad a altas temperaturas, incluyendo tratamientos a 120°C. A diferencia de lo observado en nuestro trabajo, estos autores relacionaron ese comportamiento con mayores valores de capacidad germinativa de las semillas pequeñas en relación a la tolerancia térmica. De esta manera, otros factores relevantes en este tipo de respuestas, como los diferentes tamaños, las características propias de la semilla, el contenido de humedad y el tipo de embrión (Liyanage y Ooi, 2018; Tangney *et al.*, 2019), podrían explicar estas discrepancias.

4. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en este trabajo se logró determinar que:

- El calor tuvo un efecto positivo en el aumento de la CG de las semillas no escarificadas, lo cual indica que un incendio estival podría romper la dormición de las semillas de *P. flexuosa* y *L. divaricata*.
- La capacidad de las semillas de *P. flexuosa* y *L. divaricata* de sobrevivir al fuego depende de varios factores, tales como el estado de dormición y tamaño de las semillas, la temperatura alcanzada a nivel del suelo y/o del grado de penetración del calor a través del mismo, entre otros.
- Se observó un efecto sinérgico entre las semillas previamente escarificadas y los tratamientos térmicos aplicados debido a que éstas presentaron porcentajes de germinación superiores al de las no escarificadas, en ambas especies.
- La duración de los tratamientos térmicos influyó significativamente sobre la germinación de ambos tipos de semillas y especies, debido a que, a medida que aumentó el tiempo de exposición al calor, los valores máximos de CG, TG e IVG se obtuvieron a temperaturas menores.
- En términos generales, la tasa de germinación y la velocidad de germinación de las semillas de ambas especies, tratadas y sin tratar, presentaron correlaciones altas en relación a la capacidad germinativa.
- Las semillas no escarificadas presentaron una velocidad de germinación baja como consecuencia de la irregularidad del proceso germinativo. En cambio, las semillas tratadas germinaron más rápidamente y de manera más homogénea.
- En los menores tiempos evaluados, las semillas de *P. flexuosa* presentaron mayor viabilidad y germinación. Sin embargo, *L. divaricata* demostró mayor supervivencia frente a una situación de disturbio más intensa y prolongada.
- Las condiciones ambientales y el tipo de suelo presentes en el noreste patagónico podrían dificultar la imbibición y el consecuente aumento del contenido de humedad de las semillas independientemente de su tamaño.
- Las temperaturas que provocaron letalidad en las semillas de *P. flexuosa* no lo hicieron sobre *L. divaricata*, que sólo se vio afectada en las mayores temperaturas y tiempos de exposición, al tratarse de semillas previamente escarificadas.
- En general, las respuestas germinativas observadas y la supervivencia demostrada ante condiciones de estrés térmico severo, sugiere que estas especies podrían ser capaces de adaptarse frente al inminente escenario de cambio climático global.
- Es posible que las plantas de *P. flexuosa* y *L. divaricata* transferidas al “Espacio Municipal de Valoración del Monte”, presenten mayor tolerancia al estrés térmico resultando una ventaja adaptativa.

- Los resultados de las investigaciones realizadas en esta tesis constituyen las primeras bases de conocimiento sobre los efectos de las temperaturas semejantes a las de un incendio sobre la germinación y supervivencia en las semillas de *P. flexuosa* y *L. divaricata*.

5. Bibliografía

Antonio-Bautista, A., Vázquez-Badillo, M. E., Reyes-Valdés, M. H., Flores-López, C., Cruz-Gutiérrez, E. J., & González-Uribe, D. U. (2020). Equilibrio higroscópico en semillas forestales de zonas áridas y su efecto en la calidad fisiológica. *Polibotánica*, 50: 67-81.

Auld, T. D. (1986). Population dynamics of the shrub *Acacia suaveolens* (Sm.) Willd.: fire and the transition to seedlings. *Australian Journal of Ecology*, 11: 373–385.

Auld T. D., & O'Connell, M. A. (1991). Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian *Fabaceae*. *Australian Journal of Ecology*, 16: 53–70. doi:10.1111/J.1442-9993.1991.TB01481.X

Alvarez, J. A., Villagra, P. E., Rossi, B. E., & Cesca, E. (2009). Spatial and temporal litterfall heterogeneity generated by woody species in the Central Monte desert. *Plant Ecology*, 205: 295-303.

Avila, P. L., Kin, A. G., & Morici, E. F. A. (2010). Influencia de la temperatura y el tiempo de exposición sobre la germinación y la emergencia de *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack. *Revista de la Facultad de Agronomía-UNLPam*, 21: 3-15.

Barbour, M. G. (1968). Germination requirements of the desert shrub *Larrea divaricata*. *Ecología*, 49(5): 915-923.

Baskin, C., & Baskin, J. M. (2004). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination* (A. Press, Ed.). San Diego and London.

Bertiller, M. B., Bisigato, A. J., Carrera, A. L., & del Valle, H. F. (2004). Estructura de la vegetación y funcionamiento de los ecosistemas del Monte Austral. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 39(3-4): 139 - 158.

Bewley, J. D., & Black, M. (1983). *Physiology and Biochemistry of Seeds in relation to germination. Volume 1: Development, germination, and growth. Second edition.* Berlin, Germany. Springer-Verlag, pp. 306.

Bran, D. E., Cecchi, G. A., Gaitán, J. J., Ayesa, J. A., & López, C. R. (2007). Efecto de la severidad de quemado sobre la regeneración de la vegetación en el Monte Austral. *Ecología Austral*, 17: 123-131.

Boeri, P. A. (2017). *Bioprospección química y propagación de plantas nativas del monte patagónico como estrategias de conservación y uso sustentable.* Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

Bonvissuto, G. L., & Busso, C. A. (2013). Establecimiento de plántulas en microambientes del Monte Austral Neuquino. *Rehabilitación en la Diagonal Árida de la Argentina.* Pérez, D., Rovere, A. E., y Rodríguez-Araujo, M. E. (Eds). Buenos Aires: Vázquez Mazzini, pp. 96-111.

Buck, J. W., Walcott, R. R., & Beuchat, L. R. (2003). Recent Trends in Microbiological Safety of Fruits and Vegetables. *Plant Health Progress*, 4(1): 25.

- Burbano-Orjuela, E. A.** (1991). Alternativas para estimar el contenido de humedad del grano de frijol en el campo (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 50 p. (Documento de trabajo no. 105)
- Burkart, A.** (1976). A monograph of the genus *Prosopis* (*Leguminosae* subfam. *Mimosoideae*). Journal of the Arnold Arboretum, 57: 219-249;450-455.
- Burrows, G. E., Alden, R., & Robinson, W. A.** (2018). The lens in focus – lens structure in seeds of 51 Australian *Acacia* species and its implications for imbibition and germination. Australian Journal of Botany, 66: 398–413
- Busso, C. A., & Fernández, O. A.** (2018). Arid and Semiarid Rangelands of Argentina. In: Gaur, MK & Squires VR (Eds.). Climate variability impacts on land use and livelihoods in drylands. Cham, Switzerland, Springer International Publishing.
- Casal, M.** (1987). Post-fire dynamics of shrublands dominated by *Papilionaceae* plants. Influence of fire on the stability of Mediterranean forest ecosystems. Ecología Mediterránea, 8(4): 87-98.
- Catalán, L. A., & Macchiavelli, R. E.** (1991). Improving germination in *Prosopis flexuosa* D.C. and *Prosopis alba* Griseb. with hot water treatments and scarification. Seed Science and Technology, 19: 253- 262.
- Catalán, L. & Balzarini, M.** (1992). Improved laboratory germination conditions for several *Prosopis* species: *P. chilensis*, *P. flexuosa*, *P. nigra*, *P. alba*, *P. caldenia* y *P. affinis*. Seed Science and Technology, 20: 293-298.
- Campos, C. M., & Ojeda, R. A.** (1997). Dispersal and germination of *Prosopis flexuosa* (Fabaceae) seeds by desert mammals in Argentina. Journal of Arid Environments, 35: 707-714.
- Cecchi, G., & Kropfl, A.** (2002). Lo nuevo y lo viejo en los campos de monte. 3era parte: Los campos de monte luego de la sustitución del ovino por el bovino. Comunicaciones Año 2002. Publicación del Valle Inferior, 40: 16-18.
- Cecchi, G., & Kropfl, A.** (2003). Lo nuevo y lo viejo en los campos de monte. Última parte: El rol del fuego en el monte. Comunicaciones Año 2003. Publicación del Valle Inferior, 43:16-18.
- Cochran, R. G.** (1941). Discussion of Statistical Methods for Seed Analysts. In Proceedings of the Association of Official Seed Analysts. The Association of Official Seed Analysts, pp. 60-63.
- Cochrane, A., Yates, C. J., Hoyle, G. L., & Nicotra, A. B.** (2014). Will among-population variation in seed traits improve the chance of species persistence under climate change? Global Ecology and Biogeography, 24: 12-24.
- Cony, M. A.** (1996). Genetic variability in *Prosopis flexuosa* D. C., a native tree of the Monte phylogeographic province, Argentina. Forest Ecology and Management, 87: 41-49.

Cony, M. A., & Trione, S. O. (1996). Germinación bajo estrés hídrico y salino de dos especies nativas de algarrobo. Su variabilidad genética. Actas XXI Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Mendoza, pp. 130-131.

Considine, M. J., & Considine, J. A. (2016). On the language and physiology of dormancy and quiescence in plants. *Journal of Experimental Botany*, 67: 3189-3203.

Correa, M. N. (1998). Flora patagónica. Colección Científica I.N.T.A., Bs As, 8: 1-5.

Craviotto, R. M., Arango-Perearnau, M. R., & Gallo, C. (2008). Prueba Topográfica por Tetrazolio en soja. Suplemento Especial. Análisis de Semillas. ISSN,1851-9615. N° 1, pp 96.

Cruz-Medina, J., & Orozco-Almanza, M. S. (2010). Germinación de ocho especies de la familia *Fabaceae*, bajo diferentes regímenes de temperatura. VII Simposio internacional sobre la flora silvestre en zonas áridas, Zaragoza, México, pp. 197-214.

David, F. N., & Johnson, N. (1954). Statistical treatment of censored data part I. Fundamental formulae. *Biometrika*, 41(1/2): 228-240.

Devesa, A., Echevarria, D., & Olmedo, G. (2022a). Análisis de temporada de incendios Temporada 2021-2022. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/12330/INTA_CRPATAGNORTE_EEAVALLEINFERIOR_ECHEVARRIA_DC_INCENDIO_IT_.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Devesa, A., Echevarria, D., Olmedo, G., Marinzalta, M., Musi-Saluj, C., Bolla, D., & Carriac, G. (2022b). Alerta de incendios 2021-2022 para el Noreste rionegrino Temporada 2021-2022. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-alerta_de_incendios_2021-2022.pdf

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada M., & Robledo, C. W. (2020). InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1): 74-85.

Duff, A. B., Meyer, J. M., Pollock, C., & Felker, P. (1994). Biomass production and diameter growth of nine half-sib families of mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) and a fast growing *Prosopis alba* half-sib family grown in Texas. *Forest Ecology and Management*, 67: 257-266.

Fernández, M. E., Cony, M. A., & Passera, C. B. (2019). Temperaturas de germinación y dormición de semillas de dos especies de *Larrea* (*Zygophyllaceae*) del desierto del Monte, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51(2): 235-247.

Flores-Córdova, M. A., Sánchez-Chávez, E., Balandrán-Valladares, M. I., & Márquez-Quiroz, C. (2016). Effectiveness of treatments in pre-germ dormancy breakdown in feed and weed seeds. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(9): 427-432.

Gálvez, J. F. (2010). El recurso suelo-agua en medios áridos y semiáridos. JL González Rebollar, y A. Chueca Sancho (Edits.), C4 y CAM. Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semi-áridas, pp. 143-149.

Gandullo, R., Gastiazoro, J., Bünzli, A., & Coscaron-Arias, C. (2004). Flora típica de las bardas del Neuquén y sus alrededores. Petrobrás, pp 246.

González, J. D., Benítez, B., & Soto, F. (2012). Influencia de diferentes métodos de conservación en la germinación de semillas de Palma Areca (*Dyopsis lutescens*, H. Wendel). Cultivos Tropicales, 33(2): 56-60.

Gutterman, Y. (2000). Environmental factors and survival strategies of annual plant species in the Negev Desert, Israel. Plant Species Biology, 15: 113-125.

Hanley, M. E., & Lamont, B. B. (2000). Heat pre-treatment and the germination of soil- and canopy-stored seeds of south-western Australian species. Acta Oecologica (Montrouge, France), 21(6): 315-321.

Hanley, M., Unna, J., & Darvill, B. (2003). Seed size and germination response: a relationship for fire-following plant species exposed to thermal shock. Oecologia, 134(1): 18-22.

Hanley, M. E. (2009). Thermal shock and germination in North-West European *Genisteae*: implications for heathland management and invasive weed control using fire. Applied Vegetation Science, 12(3): 385-390.

Hernandez, J. A., Pérez, D. R., & Busso, C. A. (2020). Germination of *Larrea divaricata* Cav., an important shrub species to restore desertified arid ecosystems. Journal of Arid Environments. (Vol. 179). doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104175

Hernandez, J. A., & Pérez, D. R. (2021). Tratamientos germinativos para restauración ecológica en gran escala en tierras secas: avances en *Larrea cuneifolia* Cav. Semiárida, 31(1): 45-54.

Herranz, J. M., Ferrandis, P., & Martínez-Sánchez, J. J. (1998). Influence of heat on seed germination of seven Mediterranean Leguminosae species. Plant Ecology, 136(1): 95-103.

Ibañez, M. C., y Ferrero, C. (2003). Extraction and characterization of the hydrocolloid from *Prosopis flexuosa* DC seeds. Food Research International (Ottawa, Ont.), 36(5): 455-460.

INTA, Río Negro. (2021). Superficies de incendios ocurridos en el verano 2020-2021 en el Este de Río Negro. Recuperado el 20/11/2022, de Gobierno de Río Negro: http://ide.extranet.rionegro.gov.ar/search/?title__icontains=incendios&limit=100&offset=0

Jiménez-Alfaro, B., Silveira, F. A., Fidelis, A., Poschlod, P., & Commander, L. E. (2016). Los rasgos de germinación de las semillas pueden contribuir mejor a la ecología de la comunidad vegetal. Revista de Ciencia de la Vegetación, 27(3): 637-645.

Johnson, C. D. (1983). Manual sobre insectos que infectan las semillas de *Prosopis*. Roma: FAO.

Kingsolver, J. M., Johnson, C. D., Swier, S. R., & Teran, A. (1977). Prosopis fruits as a resource for invertebrates. In Simpson, B. B. (Ed.), *Mesquite: its biology in two desert scrub ecosystems*. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson y Ross, pp. 108-122.

Kitajima, K., & Fenner, M. (2000). Ecology of seedling regeneration. Fenner, M. (ed.). *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. CAB International, pp. 331-359.

Lamont, B. B., Barreiro, P. G., & Newton, R. J. (2022). Seed-coat thickness explains contrasting germination responses to smoke and heat in *Leucadendron*. *Seed Science Research*, 32(2): 70-77.

Leopold, A. C., & Vertucci, C. W. (1989). Moisture as a regulator of physiological reaction in seeds. *Seed Moisture*, 14: 51-68.

Liyanage, G. S., & Ooi, M. K. J. (2018). Seed size-mediated dormancy thresholds: A case for the selective pressure of fire on physically dormant species. *Biological Journal of the Linnean Society*, 123(1): 135-143.

Longás, M. D. L. M. (2018). Efecto materno sobre características morfo-fisiológicas de semillas y plántulas de *Buglossoides arvensis* L. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur.

Madueño-Molina, A., García-Paredes, D., Martínez-Hernández, J., Rubio-Torres, C., Navarrete-Valencia, A., & Bojórquez-Serrano, J. (2006). Germinación de semillas de frijolillo, *Rhynchosia minima* (L.) DC., luego de someterla a tratamientos pregerminativos. *Bioagro*, 18: 101-105.

Martin, R. E., & Cushwa, C. T. (1966). Efectos del calor y la humedad en semillas de leguminosas. En *Actas de la Conferencia Anual de Ecología de Incendios de Tall Timbers* (Vol. 5), pp. 159-175.

Martin, R. E., Miller, R. L., & Cushwa, C. T. (1975). Germination response of legume seeds subjected to moist and dry heat. *Ecology*, 56: 1441–1445. doi:10.2307/1934712

Martinat, J. E. (2012). Efecto del choque térmico simulando la acción del fuego en la germinación de Fabáceas y Poáceas forrajeras de las Sierras Chicas de Córdoba. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

Mahecha-Godoy, J. C. (2011). Simulación Matemática del Proceso de Deshidratación de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.). M.Sc. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

Mazzuferi, V., Ingaramo, P., & Joseau, J. (1994). Tratamiento de calor para el secado de frutos y el control de insectos en *Prosopis chilensis*. *Agriscientia*, 11: 49-53.

Merritt, D. J., & Dixon, K. W. (2011). Restoration seed banks—a matter of scale. *Science*, 332: 424-425.

Nakagawa, J. (1999). En: *Teste de vigor baseados no desempenho das plântulas*. Nakagawa, J., F.C. Krzyzanowski, R.D. Vieira y J.D.B. França Neto (Eds.). Londrina: Abrates, (2): 1-21.

- Ooi, M. K. J. (2012). Seed bank persistence and climate change. *Seed Science Research*, 22 (Supplement S1), S53-S60.
- Parra-Gil, P. J., Baltazar-Meneses, K., Romero-Nápoles, J., Martínez-Morales, M. A., & Cid-Becerra, J. A. (2020). Preferencia y depredación de semillas de mezquite por escarabajos (*Coleoptera: Bruchidae*). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91: e912855.
- Pausas, J. G., Bradstock, R. A., Keith, D. A., & Keeley, J. E. (2004). Plant functional traits in relation to fire in crown-fire ecosystems. *Ecology*, 85: 1085-1100.
- Pausas, J. G., Lamont, B. B. (2022). Fire-released seed dormancy - a global synthesis. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 97(4): 1612–1639.
- Pece, M., Gaillard, C., Acosta, M., Bruno, C., & Saavedra, S. (2010). Tratamientos Pregerminativos para Tipa Colorada (*Pterogyne nitens* Tul.) Recursos Genéticos Forestales. México. *Foresta Veracruzana*, 12(1): 17-25.
- Peinetti, R., Pereyra, M., Kin, A., & Sosa, A. (1993). Effects of cattle ingestion on viability and germination rate of caldén (*Prosopis caldenia*) seeds. *Journal of Range Management*, 46: 483-486.
- Poschlod, P., Abedi, M., Bartelheimer, M., Drobnik, J., Rosbakh, S., & Saatkamp, A. (2013). Ecología de semillas y reglas de ensamblaje en comunidades vegetales. *Ecología de la vegetación*, 2: 164-202.
- Procedimiento Standard para Tetrazolium. (2007). Cap. 6, *Seed Science & Technology. Rules*.
- Reddy, L. V., Metzger, R. J., & Ching, T. M. (1985). Effect of temperature on seed dormancy of wheat. *Crop Science*, 25: 455-458.
- Reino, J., González, Y., & Sánchez, J. A. (2008). Temperatura óptima de germinación y patrones de imbibición de las semillas de *Albizia lebbbeck*, *Gliricidia sepium* y *Bauhinia purpurea*. *Pastos y Forrajes*, 31(3): 209-216.
- Reino, J., Sanchez, J. A., Munoz, B., Gonzalez, Y., & Montejo, L. (2011). Combined effect of scarification and temperature on the germination of herbaceous legume seeds. *Pastos y Forrajes*, 34(2): 179-184.
- Rincón, F., Clamens, C., Beltrán, O., Guerrero, R., & Sanabria, L. (2017) Caracterización fisicoquímica de la goma de semilla de *Prosopis juliflora* obtenida por precipitación con etanol. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad del Zulia, Venezuela*. (Vol. 51, N°3), pp 185.
- Roach, D. A., & Wulff, R. D. (1987). Maternal effects in plants. *Annual review of ecology and systematics*, 18(1): 209-235.
- Roig, F. A. (1985). Árboles y bosques de la región árida centro oeste de la Argentina (Provincias de Mendoza y San Juan) y sus posibilidades silvícolas. *Forestación en zonas*

áridas y semiáridas. Segundo encuentro regional CIID. América Latina y el Caribe. CIID., Santiago-Chile, pp.145-188.

Roig, F. A. (1987). Árboles y arbustos de *Prosopis flexuosa* y *P. alata*. Parodiaria, 5: 49-64.

Rose, D. A. (1968). Water movement in dry soils. I. Physical factors affecting sorption of water by dry soils. Journal of Soil Science, 19(1): 81-93.

Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable (SAyDS). (2018). [Región Patagonia Norte] La Pampa, Neuquén y Río Negro. Guía de prácticas de manejo sustentable de tierras y conservación de suelos https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/patagonia_norte_guias_buenas_practicas_.pdf

Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado el 22/11/22 de https://www.smn.gob.ar/indices_peligro_fuego

Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. Anesthesia & Analgesia, 126(5): 1763-1768.

Solbrig, O. T., & Cantino, P. D. (1975). Reproductive adaptations in *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). Journal of the Arnold Arboretum. Arnold Arboretum, 56(2): 185-210.

Tangney, R., Issa, N. A., Merritt, D. J., Callow, J. N., & Miller, B. P. (2018). A method for extensive spatiotemporal assessment of soil temperatures during an experimental fire using distributed temperature sensing in optical fibre. International Journal of Wildland Fire, 27(2): 135-140.

Tangney, R., Merritt, D. J., Fontaine, J. B., & Miller, B. P. (2019). Seed moisture content as a primary trait regulating the lethal temperature thresholds of seeds. Journal of Ecology, 107(3), 1093-1105.

Tárrega, R., Calvo, L., & Trabaud, L. (1992). Effect of high temperatures on seed germination of two woody Leguminosae. Vegetatio, 102: 139-147.

Trabaud, L. (1987). Fire and survival traits of plants. In: L. Trabaud (ed.), The role of Fire in Ecological Systems: 65-89. SPB Academic Publishing. The Hague.

Tsuyuzaki, S., & Miyoshi, C. (2009). Effects of smoke, heat, darkness and cold stratification on seed germination of 40 species in a cool temperate zone in northern Japan. Plant Biology, 11: 369-378.

Velez, S., Chacoff, N. P., & Campos, C. M. (2018). Pre-dispersal seed loss in two *Prosopis* species (Fabaceae: Mimosoideae) from the Monte Desert, Argentina. Ecología Austral, 28: 361-373.

Vilela, A. E., & Ravetta, D. A. (2001). The effect of seed scarification and soil-media on germination growth, storage, and survival of seedlings of five species of *Prosopis* L. (Mimosaceae). Journal of Arid Environments, 48(2): 171-184.

Vilela, A., Bolkovic, M., Carmanchahi, P., Cony, M., De Lamo, D., & Wassner, D. (2009). Past, present and potential uses of native flora and wildlife of the Monte Desert. *Journal of Arid Environments*, 73(2): 238-243.

Walck, J. L., Hidayati, S. N., Dixon, K. W., Thompson, K., & Poschlod, P. (2011). Climate change and plant regeneration from seed: Climate change and plant regeneration. *Global Change Biology*, 17(6): 2145-2161.

Wehmeyer, N., Hernandez, L. D., Finkelstein, R. R., & Vierling, E. (1996). Synthesis of small heat-shock proteins is part of the developmental program of late seed maturation. *Plant Physiology*, 112: 747-757. <https://doi.org/10.1104/pp.112.2.747>

Wulff, R. D. (1995). Environmental maternal effects on seed quality and germination. In Kigel, J. and G. Galilli (eds.). *Seed development and germination*. Marcel - Dekker Inc., New York, USA, pp.491-506.

Zhurbenko, R., & Rodríguez-Martínez, C. (2009). Bases nutritivas para el cultivo de los microorganismos: parte 2-Principales indicadores de la calidad. *Salud (i) ciencia (Impresa)*, 645-651.

Anexo 1

Tabla N°7. Resultados del Porcentaje de absorción de humedad. Los valores representan un promedio de cuatro repeticiones con su Error Estándar.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	<i>P. flexuosa</i> no escarificada	<i>P. flexuosa</i> escarificada	<i>L. divaricata</i> no escarificada	<i>L. divaricata</i> escarificada
5	25 (k1)	2,83 ± 0,59 ^a	0,39 ± 0,01 ^a	2,72 ± 0,64 ^a	2,13 ± 0,20 ^a
	75 (t1)	0,11 ± 0,01 ^a	0,17 ± 0,01 ^a	1,47 ± 0,19 ^a	0,55 ± 0,06 ^a
	90 (t4)	0,09 ± 0 ^a	0,09 ± 0,02 ^a	0,30 ± 0,01 ^a	0,85 ± 0,07 ^a
	110 (t7)	0,04 ± 0 ^a	0,02 ± 0 ^a	0,27 ± 0,03 ^a	0,60 ± 0,03 ^a
	140 (t10)	0,09 ± 0 ^a	0,03 ± 0 ^a	0,33 ± 0,01 ^a	0,26 ± 0,03 ^a
	170 (t13)	0,08 ± 0 ^a	0,08 ± 0 ^a	0,34 ± 0,04 ^a	0,56 ± 0,07 ^a
25	25 (k2)	0,61 ± 0,01 ^a	0,52 ± 0,02 ^a	1,96 ± 0,19 ^a	2,34 ± 0,11 ^a
	75 (t2)	0,08 ± 0 ^a	0,16 ± 0,01 ^a	1,95 ± 0,11 ^a	0,75 ± 0,05 ^a
	90 (t5)	0,06 ± 0 ^a	0,06 ± 0,01 ^a	0,38 ± 0,04 ^a	0,82 ± 0,06 ^a
	110 (t8)	0,06 ± 0 ^a	0,02 ± 0 ^a	0,36 ± 0,01 ^a	0,37 ± 0,02 ^a
	140 (t11)	0,04 ± 0 ^a	0,04 ± 0 ^a	0,33 ± 0,04 ^a	0,30 ± 0,01 ^a
	170 (t14)	0,07 ± 0 ^a	0,05 ± 0,01 ^a	0,46 ± 0,03 ^a	0,42 ± 0,01 ^a
50	25 (k3)	0,27 ± 0,01 ^a	0,53 ± 0,01 ^a	1,05 ± 0,04 ^a	5,36 ± 0,58 ^a
	75 (t3)	0,15 ± 0,03 ^a	0,22 ± 0 ^a	2,57 ± 0,12 ^a	1,90 ± 0,10 ^a
	90 (t6)	0,19 ± 0,02 ^a	0,05 ± 0 ^a	0,22 ± 0,01 ^a	0,87 ± 0,04 ^a
	110 (t9)	0,15 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0 ^a	0,26 ± 0,02 ^a	0,53 ± 0,02 ^a
	140 (t12)	0,02 ± 0 ^a	0,02 ± 0 ^a	0,36 ± 0,04 ^a	0,43 ± 0,01 ^a
	170 (t15)	0,09 ± 0 ^a	0,05 ± 0 ^a	0,48 ± 0,01 ^a	0,42 ± 0,03 ^a

Superíndices con letras diferentes indican que hay diferencias significativas entre las medias dentro de cada columna, para cada tiempo (p -valor < 0,05).