

Influencia de la temperatura y el tiempo de exposición sobre la germinación y la emergencia de *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack.

Influence of temperature and the exposure time on the germination and seedling emergence of *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack.

Avila, P.L.¹, A.G. Kin^{2*} & E.F.A. Morici²

Fecha de presentación: 27/11/2009

Fecha de aceptación: 06/06/2010

RESUMEN

El fuego no sólo afecta a la vegetación sino también al suelo donde se encuentra el banco de semillas, principal reservorio de propágulos con que cuenta *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack. ("flechilla negra") para su mantenimiento y regeneración. A pesar de ser una especie forrajera estudiada, es escasa la información del efecto de las temperaturas alcanzadas durante un incendio sobre la germinación de las semillas y la emergencia de plántulas de flechilla negra. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de la germinación y la emergencia de esta gramínea a diferentes temperaturas y tiempos de exposición simulando los efectos de un fuego. Las semillas fueron expuestas a diferentes tratamientos que resultaron de la combinación de seis temperaturas (20°C, 70°C, 90°C, 120°C, 140°C y 170°C) y tres tiempos de exposición (5, 10 y 20 min.). Los resultados mostraron que las temperaturas de 70°C y 90°C estimularon la germinación y la combinación temperaturas altas-tiempos de exposición de 10 y 20 min. redujeron la viabilidad de las semillas, afectaron la emergencia y la producción de biomasa de las plántulas de *P. napostaense*. De los resultados obtenidos podría concluirse que el éxito de la germinación de las semillas de *P. napostaense* dependerá de la combinación temperatura-tiempo.

Palabras clave: *Piptochaetium napostaense*, emergencia, dormición, calor, fuego, biomasa

ABSTRACT

Fire affects not only the vegetation but also the seedbank, the main propagule reservoir of *Piptochaetium napostaense*. Despite being a well-known species, there is little information of the effect of fire temperatures on the germination and emergence of *P. napostaense* seeds. In this study, we evaluated the germination and emergence of *P. napostaense* in response to temperatures and exposure times similar to those observed during a fire. Seeds of *P. napostaense* were exposed to different treatments that resulted from the combination of six temperature levels (20°C, 70°C, 90°C, 120°C, 140°C and 170°C) and three exposure times (5, 10 and 20 minutes). Results showed that moderate temperatures

¹ pavila79@yahoo.com.ar

² Facultad de Agronomía-UNLPam – CC 300 – (6300) Santa Rosa –La Pampa – Argentina.

* kin@agro.unlpam.edu.ar

(70°C, 90°C) stimulated the germination of *P. napostaense* and the combination of high temperatures and prolonged exposure times reduced seed viability, and affected seedlings emergence and biomass. Results indicate that germination success of *P. napostaense* seeds depends on both temperature and exposure time.

Key words: *Piptochaetium napostaense*, emergence, dormancy, heat shock, fire, biomass

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas semiáridos la dinámica está condicionada, entre otros factores, por la aparición de fuegos esporádicos cuya acción no afecta sólo a la vegetación sino también al suelo y por lo tanto al reservorio de semillas. El banco de semillas puede ser afectado por las elevadas temperaturas y/o por los constituyentes químicos del humo y cenizas. La posibilidad de las semillas de sobrevivir a las altas temperaturas depende del grado de penetración del calor a través del suelo, de su tolerancia y de la profundidad de enterrado (Auld *et al.*, 2000).

La tolerancia de las semillas a elevadas temperaturas varía con la especie analizada. El estímulo observado por el calor en la germinación de ciertas especies aumenta con la combinación de temperatura y tiempo de exposición, luego decae, ya sea por las temperaturas elevadas, porque la duración de la exposición cause la muerte de las semillas (Hanley & Lamont, 2000; Hanley *et al.*, 2001; Keeley *et al.*, 2005; Gleadow & Narayan, 2007; Reyes & Trabaud, 2009); o que no se observen respuestas (Luna *et al.*, 2007; Tsuyuzaki & Miyoshi, 2009).

Por otra parte, cambios en el tiempo de emergencia de las plántulas, relacionados con las temperaturas a las que están expuestas las semillas durante un fuego, tendrían importantes consecuencias sobre la dinámica de la vegetación. Esto se debe a que las especies cuyas plántulas emergen antes que sus competidores con frecuencia tienen menor tasa de mortalidad que las que lo hacen más tardíamente (Hanley & Lamont, 2000). En un área del Distrito Fitogeográfico del Caldén (Caldenal), Estelrich *et al.*, (2005) no observaron diferencias en el banco de semillas de las especies forrajeras luego de una quema controlada realizada durante el otoño

(abril). Mientras que Ernst *et al.*, (2007), trabajando con el banco de semillas germinable de un arbustal de *Larrea divaricata* (jarilla) encontraron en áreas que soportaron incendios de distintas severidad, una reducción significativa en la germinación de las gramíneas perennes, pero no así en las gramíneas anuales y herbáceas.

Piptochaetium napostaense (flechilla negra) se distribuye en sistemas semiáridos propensos a fuegos, siendo su principal vía de reproducción la germinación de las semillas, la que podría verse afectada por la acción del calor. *Piptochaetium napostaense* se caracteriza por tener una alta proporción de semillas con dormición (Cabeza, 1989; Mayor *et al.*, 2003). Esta condición está relacionada con la presencia de las glumelas (Cabeza, 1989; Distel *et al.*, 1992; Mayor *et al.*, 2007), ya que al eliminarlas los porcentajes de germinación pasan del 51 al 92% (Cabeza, 1989). Como el banco de semillas de esta especie tiene semillas dormidas y no dormidas, el comportamiento de ambos grupos podría resultar diferencial frente a las temperaturas que se registran durante la ocurrencia de un fuego. La existencia de parches de vegetación característicos de sistemas semiáridos (Sala & Aguiar, 1995; Morici *et al.*, 2009), con distintas cantidades y calidades de combustibles (Morici *et al.*, 2008) podrían determinar temperaturas y tiempos de exposición diferentes. Además, si se tiene en cuenta que las semillas de esta especie se encuentran en el suelo hasta unos 4 cm de profundidad (Mayor *et al.*, 2007), la germinación de las mismas a partir del banco no necesariamente podría ser afectada por el fuego.

Si bien se han estudiado diferentes aspectos sobre *P. napostaense* (Cabeza, 1989; Distel *et al.*, 1992; Mayor *et al.*, 2007; Peláez *et al.*, 2009), se desconoce el efecto de las altas temperaturas alcanzadas en un fuego accidental o con-

trolado sobre la germinación de sus semillas y si las mismas inducen la ruptura de su dormición. Se ha observado reclutamiento de nuevos individuos de *P. napostaense* luego de quemas controladas o incendios accidentales en algunos sitios del Caldenal (Maquieyra *et al.*, 1985; Ernst *et al.*, 2009). El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de distintas temperaturas y tiempos de exposición sobre la germinación y/o ruptura de la dormición de las semillas. Además, en condiciones de invernáculo, se evaluó la emergencia de las plántulas provenientes de semillas expuestas a distintas temperaturas por diferentes períodos de tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas de *P. napostaense* fueron colectadas en diciembre en un área del Caldenal que se encuentra en la región semiárida central de la provincia de La Pampa-Argentina (36° 28' 48" S, 64° 35' 03" W). Dichas semillas se seleccionaron por su color y tamaño, descartándose las muy claras y de tamaño pequeño. También se desecharon las que no presentaron consistencia al ejercerles una ligera presión. Las semillas fueron almacenadas en condiciones de baja humedad y a una temperatura aproximada de 20°C hasta el comienzo de los experimentos.

Tratamientos

Las semillas fueron expuestas a diferentes tratamientos que resultaron de la combinación de seis temperaturas y tres períodos de exposición. Las temperaturas elegidas fueron: 20 °C (control), 70 °C, 90 °C, 120°C, 140°C y 170 °C, y los tiempos de exposición: 5, 10 y 20 min. Esta elección se hizo de manera de simular la situación en el suelo durante un fuego. Para cada combinación temperatura-tiempo se utilizaron 5 repeticiones de 60 semillas cada una. Para aplicar los tratamientos, cada repetición de semillas fue colocada en una caja de Petri abierta, en una estufa de circulación forzada, la cual se dejó estabilizar a la temperatura seleccionada por 10 min., para luego colocar las semillas.

Germinación

Para evaluar la germinación de las semillas expuestas a los distintos tratamientos se tomaron 20 semillas por repetición, se las colocaron en cajas de Petri, sobre una base de algodón y papel previamente esterilizados y humedecidos con agua destilada. Las cajas de Petri se distribuyeron al azar en una cámara en condiciones controladas de 20°C/10°C (día/noche) y un fotoperíodo de 9 hs. Este es el rango de temperaturas requeridas para lograr el óptimo de germinación (Mayor *et al.*, 2007). Las semillas se consideraron germinadas cuando se visualizó la aparición de la radícula. Las cajas fueron examinadas cada 2 días durante 2 meses y cada semilla germinada fue contabilizada y removida.

Tasa de germinación

La tasa de germinación (TG) se calculó como el porcentaje de germinación ponderado. Este índice otorga un máximo a las semillas que germinan primero, disminuyendo la ponderación con el tiempo de germinación (Reddy *et al.*, 1985).

$$TG = \frac{(t_{final} * n_1 + t_{final-1} * n_2 + t_{final-2} * n_3 + \dots + 1 * n_{final})}{t_{final} * N} 100$$

Donde:

$n_1, n_2, n_3, \dots, n_{final}$: número de semillas que germinan en el 1°, 2°, 3° hasta el día final del tratamiento.

$t_{final}, t_{final-1}, t_{final-2}, \dots, 1$: ponderación (expresada como números de días) dada a las semillas que germinan en diferentes momentos.

N : es el número total de semillas puestas a germinar en cada caja de Petri.

Esta determinación se basa en que la competencia de las plántulas post-fuego es 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 & Lamont, 2000).

Viabilidad de semillas

Para el test de viabilidad se utilizaron un total de 10 semillas por tratamiento. Las mismas fueron embebidas con agua destilada durante 20 horas y posteriormente se procedió a seccionarlas longitudinalmente a nivel del embrión y a sumergirlas en una solución de Cloruro de 2-3-5 trifeniltetrazolio (TTC) al 1% durante 2 horas a 30°C (Standard procedure for Tetrazolium Testing, 2007). Luego se observó la tinción del embrión a través de lupa binocular determinándose así la viabilidad de las semillas.

Emergencia de plántulas

Con el objeto de estimar el porcentaje de emergencia de plántulas se distribuyeron 30 semillas en 6 macetas plásticas (5 semillas por maceta), para cada uno de los tratamientos. Las macetas contenían suelo proveniente del área de recolección de las semillas, las cuales fueron sembradas a 1 cm de profundidad y cubiertas con el mismo suelo. Las macetas se distribuyeron al azar en un invernáculo donde se mantuvieron con riego a capacidad de campo y se examinaron periódicamente durante dos meses.

Biomasa área y radical

A los 3 meses de la siembra se procedió a la extracción de las plántulas emergidas para la determinación de su biomasa aérea y radical. Se cortó la parte aérea y se lavaron las raíces eliminando restos de suelo. Luego el material se colocó en sobres de papel, se llevó a estufa a 65°C hasta peso constante, determinándose el peso seco.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante un ANOVA doble y dado que la interacción fue significativa, se realizó un ANOVA simple para analizar el efecto del tiempo de exposición en cada temperatura. En el caso de los datos de germinación y viabilidad se usaron las transformaciones raíz cuadrada y arco seno de x.

Para la separación de las medias se utilizó el test de Tuckey al 5%.

La germinación de las semillas expuestas a 170°C durante 5, 10 o 20 min. fue nula, en consecuencia, estos tratamientos no fueron incluidos en el análisis estadístico. Tampoco fueron incluidos en el análisis los datos del test de viabilidad de los tratamientos a 140°C y 170°C, ya que todas las semillas resultaron no viables, como así también los correspondientes a emergencia.

RESULTADOS

Germinación

La germinación de *Piptochaetium napostaense* (Fig. 1) se modificó, dependiendo de los tratamientos aplicados resultantes de la combinación de las distintas temperaturas y tiempos de exposición (interacción significativa, $p < 0.01$).

El porcentaje máximo de germinación (64%) se alcanzó cuando las semillas fueron sometidas a 90°C por 10 min, mientras que en el control fue del 36%. A 70°C y sometidas a 5 min y 10 min de exposición, las semillas respondieron de manera similar al grupo testigo, no obstante, cuando la exposición al calor se prolongó durante 20 min., los tratamientos de 70°C y 90 °C tendieron a estimular la germinación en un 53 y 39% respecto del control respectivamente.

Las temperaturas elevadas inhibieron significativamente la germinación de *P. napostaense*, especialmente con los tiempos de exposición más prolongados. Así, la misma se redujo significativamente ($p < 0.01$) en los tratamientos sometidos a 120°C; cuando el tiempo de exposición se prolongó por 10 min. la disminución fue del 86% respecto del control, mientras que no se observó germinación con 20 min de exposición.

De igual manera, la germinación presentó valores muy bajos a 140°C y 5 min. de exposición, haciéndose nula a 10 y 20 min. En tanto que el tratamiento de 170°C (independientemente del tiempo de exposición) inhibió totalmente la germinación de esta especie, por lo que los datos no fueron incluidos en la Figura 1.

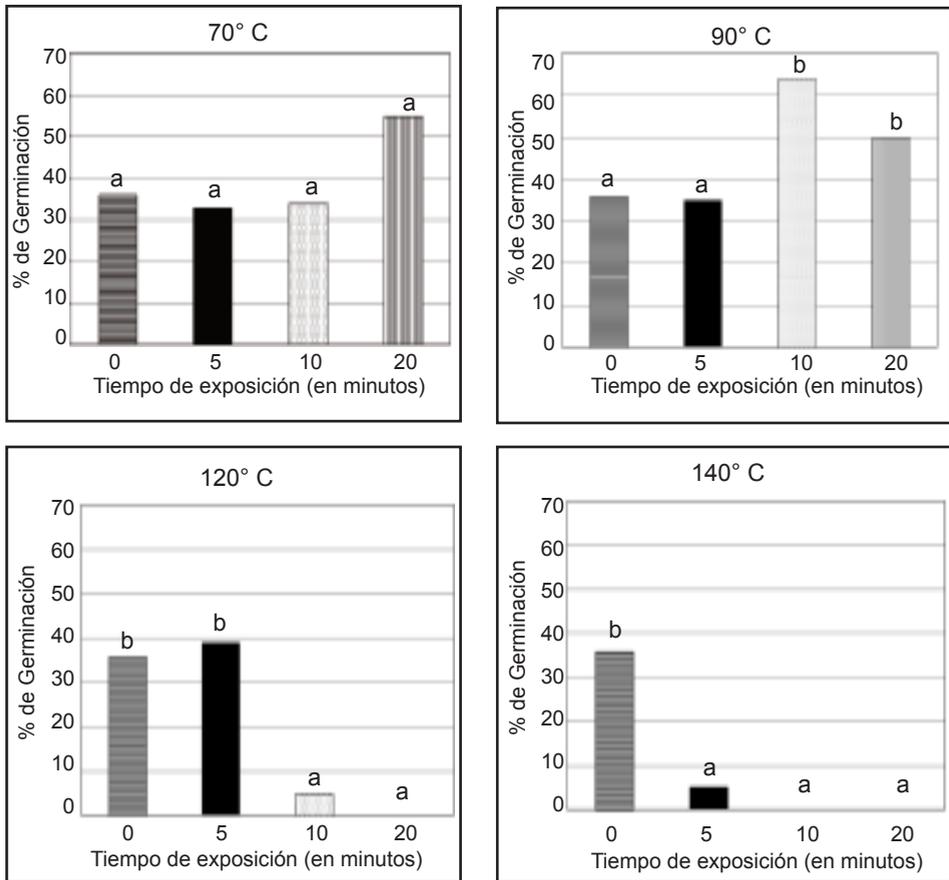


Figura 1. Porcentaje de germinación total de las semillas de *P. napostaense* en función del tiempo de exposición para cada temperatura: 70°C, 90°C, 120°C y 140°C. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tasa de germinación

En la Figura 2 se presentan los valores de la tasa de germinación, excepto para las temperaturas de 140°C y 170°C por ser menores del 1% o no registrarse germinación.

La interacción temperatura-tiempo de exposición resultó significativa ($p < 0.01$). Se encontró que si bien la tasa de germinación tendió a aumentar en un 53% al exponer las semillas a 70°C durante 20 min. respecto al control, ésta no difirió debido a la variabilidad (CV: 35%); de manera similar, en los tratamientos a 90°C no se detectaron diferencias ($p = 0.21$), si bien se regis-

tró un aumento del 50% con respecto al control para el tratamiento 90°C-10 min. En lo que respecta a la tasa de germinación con temperaturas de 120°C, ésta resulta afectada negativamente ($p < 0.01$) cuando la exposición es de 10 o 20 min. con valores del 3.2% o cero respectivamente.

Viabilidad de semillas

Se pudo observar que, la viabilidad de las semillas de *P. napostaense* se redujo (interacción significativa, $p < 0.01$) a medida que aumentó la temperatura o la duración de la exposición a la misma.

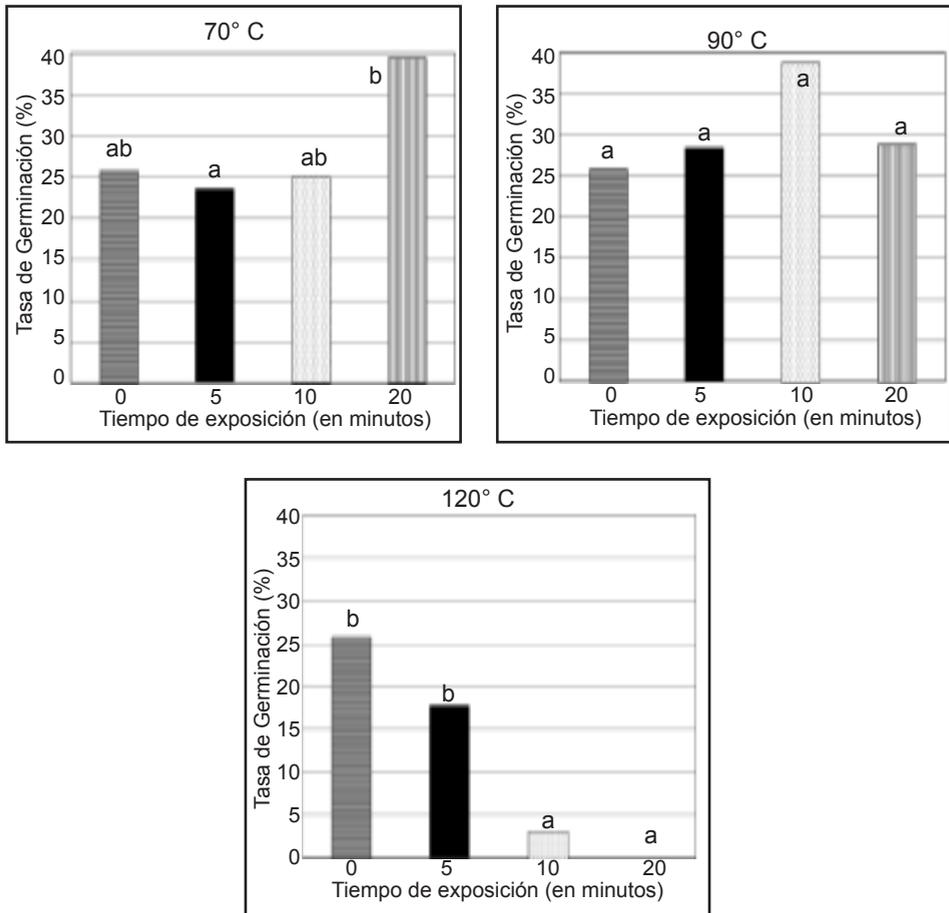


Figura 2. Tasa de germinación de las semillas de *P. napostaense*, en función del tiempo de exposición para cada temperatura: 70°C, 90°C y 120°C. Se calculó como el porcentaje de germinación ponderado. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Los máximos porcentajes de viabilidad de las semillas se obtuvieron en el control y a 70°C, independientemente del tiempo de exposición, con valores mayores al 95% (Fig. 3). Las semillas sometidas a 90°C no presentaron diferencias significativas con el control, cuando el tiempo fue de 5 min., sin embargo, con 20 min. la viabilidad de las semillas se redujo significativamente ($p < 0.05$). En tanto que, con una temperatura de 120°C y 5 min. de exposición, la viabilidad disminuyó al 68%, pero al aumentar el tiempo de exposición los valores fueron del 28% y nulo cuando el tratamiento al calor se prolongó por 10 ó 20 min. respectivamente

($p < 0.01$).

Emergencia de plántulas

El porcentaje promedio total de plántulas establecidas fue del 10.9% (sin considerar los tratamientos a 140°C y 170°C).

Cuando las semillas fueron previamente expuestas a 70°C o 90°C (independientemente del tiempo de exposición), los resultados no mostraron diferencias ($p > 0.05$) en el número de plántulas promedio emergidas por maceta res-

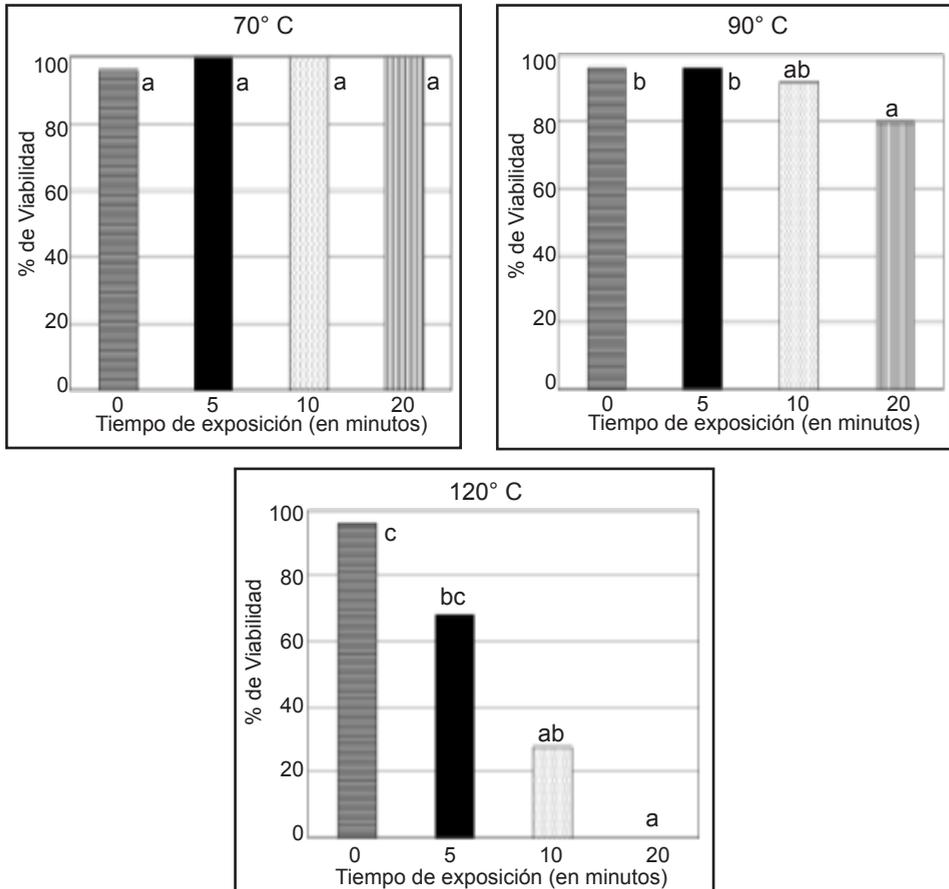


Figura 3. Porcentaje de viabilidad de las semillas de *P. napostaense*, en función del tiempo de exposición para cada temperatura: 70°C, 90°C y 120°C. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

pecto al control (Fig. 4). Cuando se emplearon semillas expuestas a 120°C-5 min. se contabilizó el mayor número de plántulas (1.2 plántulas/maceta), sin manifestar diferencias significativas con los controles (0.5 plántulas/maceta).

Biomasa

Al momento de la cosecha de las plántulas, la producción de biomasa tanto de la parte aérea como radical de *P. napostaense* resultaron afectados por los tratamientos (tiempo-temperatura) aplicados (Fig. 5a y b). Los resultados que se muestran corresponden a las plántulas prove-

nientes de las semillas previamente sometidas a temperaturas de 70°C y 90°C para los tres tiempos considerados (5, 10 y 20 min.), y a 120°C-5 min. En los restantes tratamientos no hubo emergencia o sólo un muy bajo número de plántulas con escasa producción de biomasa. Con respecto al peso seco de la parte aérea de las plántulas (Fig. 5a) cabe destacar que el valor máximo se registró para aquellas expuestas a 70°C-5 min., que no difirió significativamente del control ($p > 0.05$). Sin embargo, al aumentar el tiempo de exposición a 10 y 20 min. la biomasa disminuyó significativamente ($p < 0.01$) en un 24 y 59% respecto al control. Asimismo, la biomasa aérea de

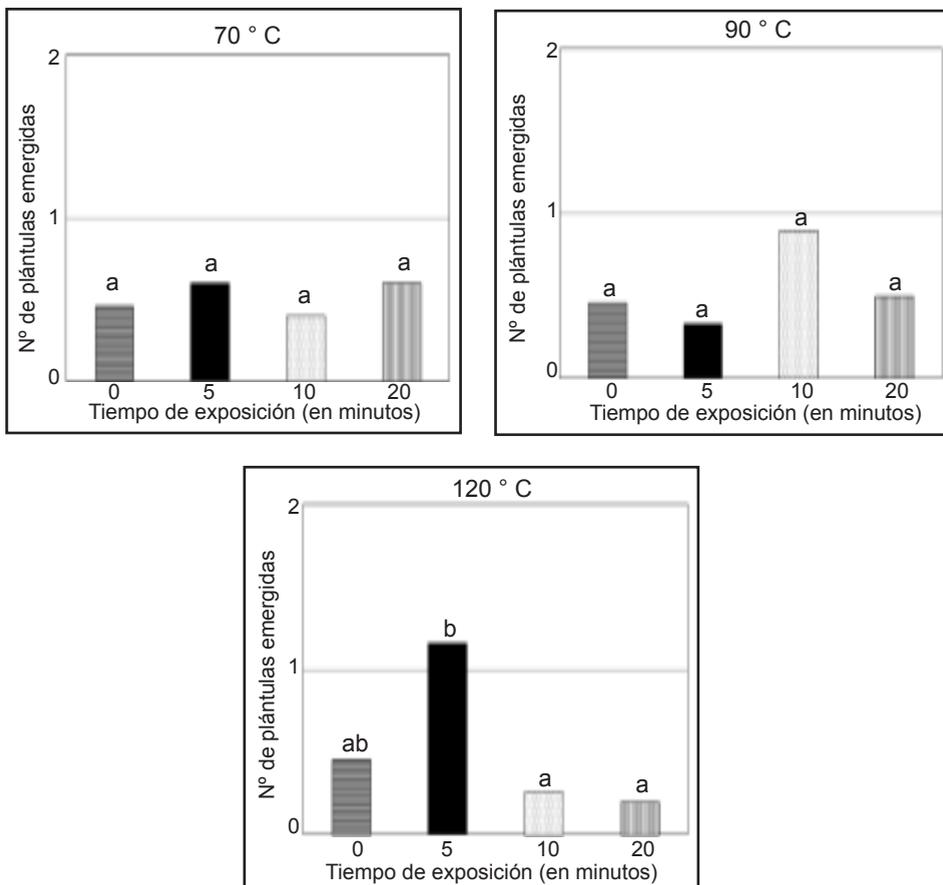


Figura 4. Número promedio de plántulas emergidas por maceta de *P. napostaense*, en función del tiempo de exposición para cada temperatura: 70°C, 90°C y 120°C. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

las plántulas provenientes de semillas expuestas a 90°C disminuyó significativamente con respecto al control ($p < 0.01$) en todos los tiempos de exposición. Una respuesta similar se comprobó para el tratamiento de 120°C-5 min. con un peso de 92 mg/plántula.

A partir del análisis de la biomasa radical de las plántulas de esta gramínea forrajera, también se pudo comprobar una respuesta diferencial dependiendo de la temperatura y duración de la exposición (Fig. 5b). La biomasa de las raíces de las plántulas provenientes de las semillas expuestas a 70°C durante 5 y 10 min, mos-

traron valores similares al control, mientras que en las expuestas durante 20 min. se redujo en un 52%.

La biomasa radical disminuyó marcadamente ($p < 0.01$) cuando las plántulas provinieron de las semillas que fueron expuestas a 90°C para los tres tiempos considerados y a 120°C-5 min. Estas respuestas son similares a lo observado para la biomasa de la parte aérea, con la excepción del tratamiento 70°C-10 min. Cuando se analizó el peso seco total (biomasa aérea más radical) de las plántulas, los resultados mostraron un comportamiento similar al correspondiente a

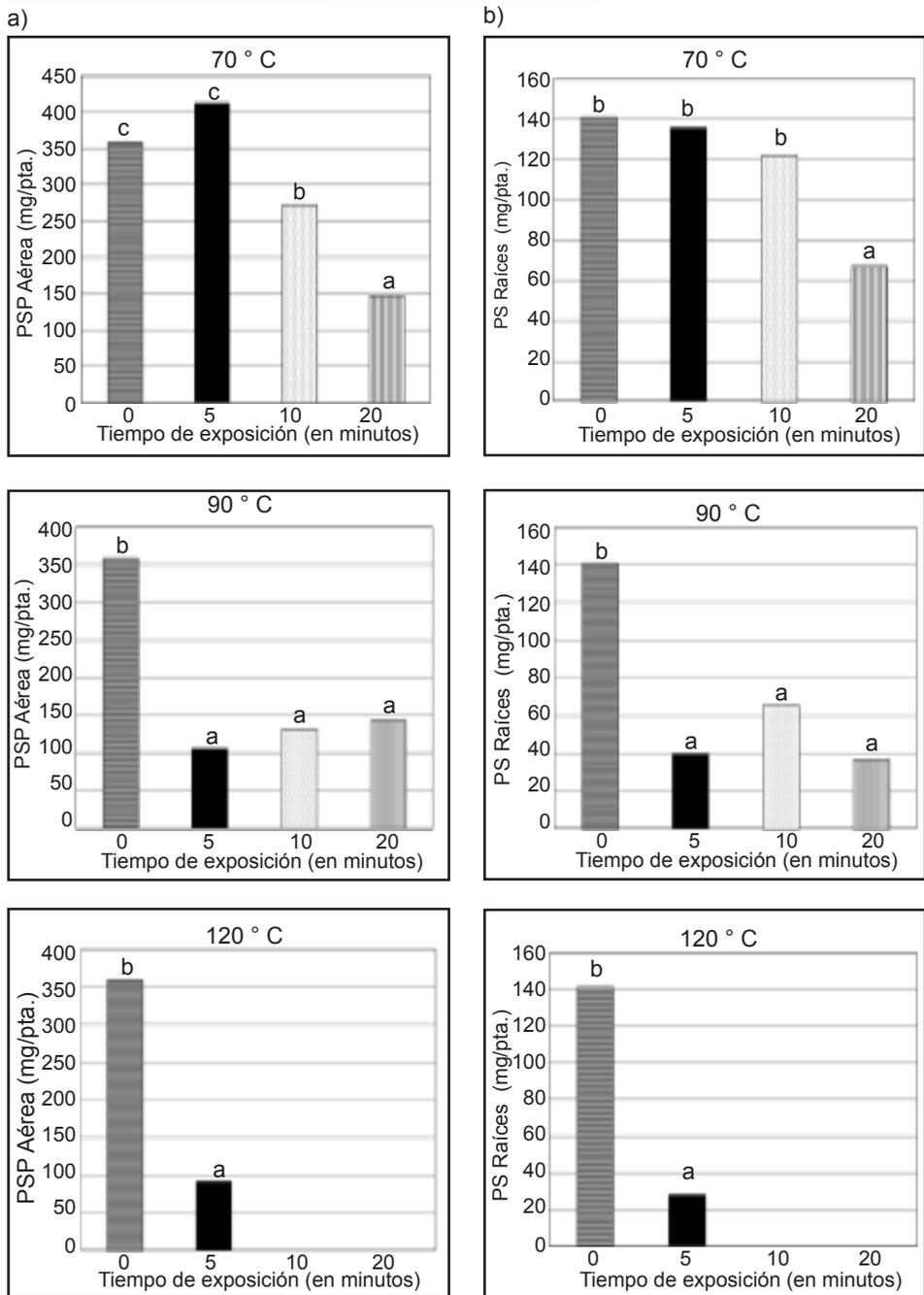


Figura 5. Peso seco de la parte aérea (a) y radicular (b) de las plántulas de *P. napostaense* a los 3 meses desde la siembra, en función del tiempo de exposición para cada temperatura: 70°C, 90°C y 120°C. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

la parte aérea, con valores que variaron entre 500 mg/pta para el grupo control y 120 mg para las plántulas expuestas al tratamiento 120°C-5 min.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La germinación de las semillas de esta gramínea forrajera resulta estimulada por la exposición a temperaturas de hasta 90°C por no más de 20 min. o de una menor duración a 120°C (5 min.). El aumento en la germinación a temperaturas relativamente bajas muestra que esta especie podría beneficiarse con pulsos de calor producidos por el fuego, como ha sido observado en otras gramíneas en Etiopía por Gashaw & Michelsen (2002). Asimismo, es interesante observar que las semillas tratadas experimentaron una elevada mortalidad después de ser sometidas a temperaturas de 140°C y 170°C, independientemente del tiempo de exposición. Es decir, que las semillas de esta especie no toleran estas temperaturas especialmente con los tiempos de exposición más prolongados. Estos resultados se corresponden con los obtenidos en otras especies (Hanley & Lamont, 2000; Hanley *et al.*, 2001; Gashaw & Michelsen, 2002; Clarke & French, 2005; Keeley *et al.*, 2005; Gleadow & Narayan, 2007; Reyes & Trabaud, 2009).

Al examinarse, los efectos de los tratamientos sobre la tasa de germinación se pudo detectar que los máximos de ambas variables ocurrieron a temperaturas y tiempos de exposición diferentes (tasa: 70°C-20 min., poder germinativo: 90°C-10 min.). Este comportamiento también ha sido observado en algunas de las especies estudiadas por Hanley & Lamont (2000). Así, cambios en la tasa de germinación relacionados a las temperaturas que experimentan las semillas durante un incendio, podrían afectar potencialmente el tiempo de emergencia de las plántulas. Dado que la germinación y posterior emergencia son etapas críticas en el establecimiento, el hecho de que la emergencia ocurra rápidamente después de una lluvia post-fuego mejoraría la capacidad de acceder a los recursos disponibles, principalmente agua en ambientes áridos y semiáridos, y así crecer más rápido. En este estudio no se evaluó el tiempo de emergen-

cia pero sí el número final de plántulas que emergieron, el cual resultó significativamente mayor en el tratamiento 120°C-5 min respecto al grupo control.

En lo que respecta a la producción de biomasa de las plántulas, ésta se vió favorecida cuando provienen de semillas expuestas a temperaturas inferiores a las óptimas para la germinación (90°C-10 min.). Es interesante notar que los mayores valores de biomasa al momento de la cosecha (control, 70°C-5 y 10 min.) no ocurrieron a la temperatura que indujo un incremento significativo en la germinación (90°C-10 min.) o en el número de plántulas (120°C-5 min.). Hanley *et al.*, (2001) encontraron un comportamiento similar de no correspondencia en plántulas de *Hippocrepis multisiliquosa* cosechadas a los 10 días, si bien el efecto del tratamiento desapareció en cosechas posteriores. Por su parte, Hanley & Fenner (1998) comprobaron una reducción en el peso seco de las plántulas debido a la interacción temperatura-tiempo de exposición.

Los resultados de este trabajo estarían indicando que la capacidad de las semillas de *P. napostaense* de sobrevivir al fuego dependería de la temperatura alcanzada a nivel del suelo y/o del grado de penetración del calor a través del mismo, el cual a su vez está influenciado por varios factores (Scifres, 1987; Bradstock *et al.*, 1992; Albanesi & Anriquez, 2003; Kunst & Bravo, 2003) y de la profundidad a la cual se encuentren las mismas (Auld *et al.*, 2000). Dadas las condiciones semiáridas de la región donde comúnmente esta especie se distribuye y, siendo el verano el periodo de mayores probabilidades de ocurrencia de incendios, es factible que el suelo tenga escasa disponibilidad hídrica. Esto reduciría la transmisión del calor hasta la profundidad de enterrado de las semillas, la cual puede ser de hasta de 4 cm (Mayor *et al.*, 2007) y de esta manera no estarían sometidas a temperaturas muy elevadas. En el caso de quemas controladas, éstas se realizan generalmente cuando el suelo se encuentra húmedo, por lo que la evaporación que se produce disminuiría el efecto de las altas temperaturas en las semillas que se encuentran enterradas (Behenna *et al.*, 2008). Dis-

tinto es el efecto sobre las semillas que permanecen en la broza que podrían resultar las más afectadas por el fuego, tal lo observado por Ernst *et al.*, (2009).

La existencia de semillas viables que permanecieron sin germinar después del tratamiento de calor sugiere que otros efectos diferentes del fuego podrían desencadenar la germinación, ya sea en combinación con calor o independientemente del mismo, como ha sido observado en numerosas especies. Estos efectos incluyen humo (Read *et al.*, 2000; Clarke & French, 2005; Keeley *et al.*, 2005; Thomas *et al.*, 2007), aumentos en los niveles de N y P (de Villalobos *et al.*, 2007) o cambios en las condiciones microambientales (Robberecht & Defossé, 1995; Mayor *et al.*, 2007). Por otra parte, dado el hecho de que *P. napostaense* presenta semillas dormidas y que por acción del calor se rompe la dormición de algunas, esto permitiría la persistencia de la población después del disturbio. Además, dada la alta variabilidad de las precipitaciones en estas regiones semiáridas, la respuesta a la acción del calor podría tener implicancias positivas, ya que si las condiciones ambientales posteriores a la estimulación de la germinación de las semillas son desfavorables, el estado de plántula se vería comprometido.

En ambientes propensos a la ocurrencia de fuegos, que son manejados con quemas controladas para reducir los riesgos de incendios accidentales, debe tenerse en cuenta la relación entre temperatura y tiempo de exposición al fuego y los efectos de éstos no solo sobre las plantas, sino también, sobre el banco de semillas, el cual permitirá en parte la recuperación del pastizal.

De los resultados obtenidos podría concluirse que el éxito de la germinación de las semillas de *P. napostaense* dependerá de la combinación temperatura-tiempo de exposición. Es de esperar que la continuación de estos ensayos (donde se incluyan, entre otros factores, el efecto del humo y de las cenizas) permita comprender mejor los efectos del fuego y generar información para la recuperación de los pastizales luego del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a C.C. Chirino, C.E. Suárez y R.D. Ernst por las sugerencias realizadas en la redacción del manuscrito. Los autores también agradecen a M.B. Mazzola por la revisión del resumen en inglés y a los revisores externos por las sugerencias realizadas durante la preparación de esta publicación.

BIBLIOGRAFÍA

- Albanesi, A. & A. Anriquez. 2003. El fuego y el suelo. en: Fuego en los ecosistemas argentinos. (C.R. Kunst; S. Bravo & J.L. Panigatti eds.). Ediciones INTA. Santiago del Estero. Argentina. pp. 47-59.
- Auld, T.; D.A. Keith & R.A. Bradstock. 2000. Patterns in longevity of soil seedbanks in fire-prone communities of south-eastern Australia. *Aust. J. Bot.* 48:539-548.
- Behenna, M.; S. Vetter & S. Fourie. 2008. Viability of alien and native seed banks after slash and burn: Effects of soil moisture, depth of burial and fuel load. *S. Afr. J. Bot.* 74:454-462.
- Bradstock, R.A.; T.D. Auld, M.E. Ellis & J.S. Cohn. 1992. Soil temperatures during bushfires in semiarid mallee shrublands. *Aust. J. Ecol.* 17:433-440.
- Cabeza, C.E. 1989. Efecto del déficit hídrico en la germinación, emergencia y crecimiento de plántulas de algunas gramíneas forrajeras nativas de Argentina, presentes en la provincia de La Pampa. Tesis de Magíster. UNS. 100 pp.
- Clarke, S. & K. French. 2005. Germination response to heat and smoke of 22 Poaceae species from grassy woodlands. *Aust. J. Bot.* 53:445-454.
- de Villalobos, A.E.; D.V. Peláez, R.M. Bóo, M.D. Mayor & O.R. Elía. 2007. Effect

- of a postfire environment on the establishment of *Prosopis caldenia* seedlings in central semiarid Argentina. *Austral Ecol.* 32:581-591.
- Distel, R.A.; D.V. Peláez & O.A. Fernández. 1992. Germination of *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hackel and *Stipa tenuis* Phil. and seedling survival under field conditions. *Rangeland J.* 14:49-55.
- Ernst, R.; C. Chirino, E. Morici, C. Suárez, A. Kin & A. Sosa. 2007. Recuperación a partir del banco de semillas del estrato herbáceo de un arbustal semiárido de La Pampa (Argentina). IV Congreso Nac., I Congreso del MERCOSUR sobre Manejo de Pastizales Naturales. Villa Mercedes, San Luis, Argentina. 9-11 de Agosto de 2007. pp. 38.
- Ernst, R.; W. Muiño, E.F.A. Morici, M.A. Berueta, P. Lerner, A. Urioste & E. Hepper. 2009. Efecto de una quema controlada sobre el banco de semillas germinable de las gramíneas forrajeras y no forrajeras. V Congreso Nacional, II Congreso del MERCOSUR, I Jornada Técnica de productores sobre Manejo de Pastizales Naturales. Corrientes, Argentina. 13 y 14 de Agosto de 2009. pp. 133.
- Esterlich, H.D.; B. Fernández, E.F. Morici & C.C. Chirino. 2005. Persistencia de los cambios provocados por los fuegos controlados en diferentes estructuras del bosque de caldén. *Rev. Fac. Agronomía-UNLPam* 16:23-30.
- Gashaw, M. & A. Michelsen. 2002. Influence of heat shock on seed germination of plants from regularly burnt savanna woodlands and grasslands in Ethiopia. *Plant Ecol.* 159:83-93.
- Gleadow, R.M. & I. Narayan. 2007. Temperature thresholds for germination and survival of *Pittosporum undulatum*: implications for management by fire. *Acta Oecol.* 31:151-157.
- Hanley, M.E. & M. Fenner. 1998. Pre-germination temperature and the survivorship and onward growth of Mediterranean fire-following plant species. *Acta Oecol.* 19:181-187.
- Hanley, M.E. & B.B. Lamont. 2000. Heat pre-treatment and the germination of soil- and canopy-stored seeds of south-western Australian species. *Acta Oecol.* 21:315-321.
- Hanley, M.E.; M. Fenner & G. Ne'eman. 2001. Pregermination heat shock and seedling growth of fire-following Fabaceae from four Mediterranean-climate regions. *Acta Oecol.* 22:315-320.
- Keeley, J.E.; C.J. Fotheringham & M. Baer-Keeleynie. 2005. Factors affecting plant diversity during post-fire recovery and succession of mediterranean-climate shrublands in Cal., USA. *Divers. Distrib.* 11:525-537.
- Kunst, C. & S. Bravo. 2003. Fuego, calor y temperatura. *en: Fuego en los ecosistemas argentinos.* (C.R. Kunst, S. Bravo & J.L. Panigatti eds.). Ediciones INTA. Santiago del Estero. Argentina. pp. 39-45.
- Luna, B.; J.M. Moreno, A. Cruz & F. Fernández-González. 2007. Heat-shock and seed germination of a group of Mediterranean plant species growing in a burned area: An approach based on plant functional types. *Environ. Exp. Bot.* 60:324-333.
- Maquieyra, C.; G. Schiavi, O. Zingaretti, V. Zorzi & A.E. Cano. 1985. Efecto de un fuego controlado en los estratos gramínicos y leñosos de un bosque de *Prosopis caldenia*. *Rev. Fac. Agronomía-UNLPam* 4:61-72.
- Mayor, M.D.; R.M. Boó, D.V. Peláez, O.R. Elía & M.A. Tomás. 2007. Influence of shrub cover on germination, dormancy and viability of buried and unburied seeds of *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hackel. *J. Arid*

- Environ. 68:509-521.
- Mayor, M.D.; R.M. Bóo, D.V. Peláez & O.R. Elía. 2003. Seasonal variation of the soil seed bank of grasses in central Argentina as related to grazing and shrub cover. *J. Arid Environ.* 53:467-477.
- Morici, E.F.A.; R. Ernst, W. Muiño, A. Urioste, E. Hepper, N. Sawczuk, M. Alvarez Redondo & M.A. Berrueta. 2008. Persistencia de las semillas presentes en la broza luego de una quema controlada. XXIII Reunión Argentina de Ecología (San Luis). pp. 205.
- Morici, E.F.A.; W. Muiño, R. Ernst, M.A. Berrueta, A. Urioste & E. Hepper. 2009. Respuesta del pastizal del caldenal a una quema controlada. V Congreso Nacional, II Congreso del MERCOSUR, I Jornada Técnica de productores sobre Manejo de Pastizales Naturales. Corrientes, Argentina 13 y 14 de Agosto de 2009. pp 123-133.
- Peláez, D.V., R.M. Bóo, M.D. Mayor, O.R. Elía & N.M. Cardona. 2009. Effect of post-fire defoliation on bud viability and plant mortality of *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack. and *Poa ligularis* Ness. *J. Arid Environ.* 73:708-712.
- Read, T.R.; S.M. Bellairs, D.R. Mulligan & D. Lamb. 2000. Smoke and heat effects on soil seed bank germination for the re-establishment of a native forest community in New South Wales. *Austral Ecol.* 25:48-57.
- Reddy, L.V.; R.J. Metzger & T.M. Ching. 1985. Effect of temperature on seed dormancy of wheat. *Crop Sci.* 25:455-458.
- Reyes, O. & L. Trabaud. 2009. Germination behaviour of 14 Mediterranean species in relation to fire factors: smoke and heat. *Plant Ecol.* 202:113-121.
- Robberecht, R. & G.E. Defossé. 1995. The relative sensitivity of two bunchgrass species to fire. *Int. J. Wildland Fire* 5:127-134.
- Sala, O.E & M.R. Aguiar. 1995. Origin, maintenance and ecosystem effect of vegetation patches in arid lands. Presented at the Fifth International Rangeland Congress (Salt Lake City, Utah, July 1995).
- Scifres, C. 1987. Fire effect on soils. in: Prescribed burning for brushland management. The South Texas example. Chapter 5. pp. 53-65.
- Standard procedure for Tetrazolium Testing. 2007. Cap. 6. Seed Science and Technology. Rules.
- Thomas, P.B.; E.C. Morris & T.D. Auld. 2007. Response surfaces for the combined effects of heat shock and smoke on germination of 16 species forming soil seed banks in south-east Australia. *Austral Ecol.* 32:605-616.
- Tsuyuzaki, S. & C. Miyoshi. 2009. Effects of smoke, heat, darkness and cold stratification on seed germination of 40 species in a cool temperate zone in northern Japan. *Plant Biol.* 11:369-378.