

Universidad Nacional de Córdoba

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Carrera de Ciencias Biológicas



Efecto del fuego en la germinación de cactáceas del centro de Argentina

Tesinista: María Julieta Roca

Director: Diego E. Gurvich

Lugar de trabajo: Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (CONICET-UNC)

**Efecto del fuego en la germinación de cactáceas del centro de
Argentina**

Tribunal examinador:

Nombre y Apellido: Dra. Díaz Sandra

Firma:

Nombre y Apellido: Dra. Trillo Cecilia

Firma:

Nombre y Apellido: Dra. Wiemer Ana Pía

Firma:

Calificación: Fecha:

Índice

Resumen	4
Introducción	4
Objetivos	6
Materiales y métodos	7
• Área de Estudio, especies estudiadas y recolección de semillas	7
• Experimentos de germinación	8
• Variables analizadas	9
• Análisis de datos	9
Resultados	9
• Porcentaje de germinación ante los distintos tratamientos	9
• Velocidad de germinación T_{50}	12
Discusión	14
Referencias	16

Efecto del fuego en la germinación de cactáceas del centro de Argentina

Resumen: Cactaceae es una familia de especial interés con respecto a la conservación de sus especies ya que poseen una distribución acotada y sufren una gran presión por el accionar humano. Muchas especies de esta familia habitan regiones donde los incendios son un factor común. Sin embargo, poco se conoce acerca del efecto de los incendios sobre aspectos reproductivos de las especies. El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de tratamientos experimentales de choque térmico, que simulan fuegos naturales, en la respuesta de germinación de 13 especies de Cactáceas comunes en el Chaco Serrano de la provincia de Córdoba, Argentina central. Los tratamientos experimentales simularon intensidades de fuego bajas, 70 °C y medio-altas, 120 °C. También se simularon diferentes duraciones de los incendios, sometiéndose las semillas a dichas temperaturas por 5 y 10 minutos. Se registró la germinación total (%) y la velocidad de germinación (T_{50}) de las semillas. Diez de las trece especies no mostraron diferencias entre el control y los demás tratamientos. En *Gymnocalycium capillense* y *Stetsonia coryne* el % de germinación fue estimulado ante los tratamientos 70°C/10min y 120°C/10min, respectivamente. Sólo en *Harrisia pomanensis* la germinación disminuyó ante el tratamiento 120°C/5min. Con respecto a la velocidad de germinación sólo una especie, *Cereus forbesii*, mostró diferencias significativas, siendo su el T_{50} mayor en el tratamiento 120°C/5min. Estos resultados indican que las especies de cactáceas del centro de Argentina serían tolerantes a incendios de baja a mediana intensidad en sus características germinativas.

Palabras claves: Cactáceas, germinación, fuego, shock térmico, Sierras de Córdoba

Introducción

La germinación es una de las etapas más importantes en el ciclo vital de las plantas, ya que de ella depende el desarrollo de las generaciones siguientes (Harper 1977). Las semillas, al ser órganos propagadores y regenerativos de las plantas, reaccionan frente al medio ambiente de diversas maneras, buscando siempre maximizar el establecimiento y supervivencia (Reigosa et al. 2004). Por lo tanto, los procesos fisiológicos y características relacionadas a la germinación son aspectos claves de la respuesta de las plantas a distintos disturbios. El fuego es un factor ecológico ampliamente distribuido en los ecosistemas mundiales, pero particularmente en aquellos biomas con una marcada estacionalidad en las precipitaciones, como los ecosistemas mediterráneos y sabanas. Es uno de los principales factores que afectan la dinámica de la vegetación en estos sistemas (Bond & Keeley 2005), ya que provoca la eliminación directa de la biomasa vegetal y afecta la supervivencia y el crecimiento de las especies, así como el establecimiento de nuevos individuos a partir de semillas (Gurvich et al. 2014; Arcamone & Jauguerribery 2018).

En regiones que han evolucionado con incendios naturales muchas especies han desarrollado estrategias para optimizar la supervivencia después de incendios. Por ejemplo, en regiones con climas mediterráneos, donde el fuego ha sido un factor evolutivo muy importante, las semillas de muchas especies pueden tolerar o incluso ser estimuladas en su germinación al ser sometidas a altas temperaturas (por ejemplo, 120°C) u otros factores relacionados con el fuego, como cenizas y humo (Hanley & Lamont 2000; Keeley & Fotheringham 2000; Hanley et al. 2001; Luna et al. 2007; Ghebrehiwot et al. 2011; Zuloaga & Aguilar et al. 2011). En estas especies el choque térmico, que ocurre en los incendios naturales, influye positivamente en la germinación al eliminar las sustancias cerosas inhibitorias que cubren la semilla, y/o escarificando la cubierta de aquellas semillas que presentan cubiertas duras e impermeables,

esto permite el intercambio de agua y oxígeno lo que promueve la germinación (Keeley & Bond 1997; Keeley & Fotheringham 2000; Hanley et al. 2001). Si bien en la región chaqueña hay registros históricos de incendios producidos por comunidades indígenas como técnica de caza y/o defensa (Morello & Toledo 1959; Morello 1983), y también incendios naturales ocasionales producidos por rayos, esta historia no sería tan larga o intensa como la de los sistemas mediterráneos (Kowaljow et al. 2019). La recurrencia de incendios en muchos ecosistemas se ha incrementado notablemente en las últimas décadas, debido principalmente a los cambios en el uso de la tierra, la expansión de la población y el cambio climático (Grau et al. 2005; Boletta et al. 2006; Bravo et al. 2010; Kowaljow et al. 2019). Este fenómeno es especialmente notable en el Chaco Serrano (centro Argentina), donde ocurren incendios de diferentes características todos los años, que van desde incendios de intensidad baja a media alta dependiendo de las condiciones ambientales y la fisonomía de la vegetación, desafiando la capacidad adaptativa de las plantas para regenerarse luego de un incendio (Bravo et al. 2001; Kunst & Bravo 2003; PPMF 2007; Kunst 2011; Argarañaz et al. 2015; Kowaljow et al. 2019).

Existen pocos estudios que han abordado el efecto del fuego sobre las capacidades regenerativas, particularmente la germinación en especies Chaqueñas. Por ejemplo, Jaureguiberry & Díaz (2015) informaron que semillas de árboles, arbustos y hierbas del bosque del Chaco pueden tolerar temperaturas de mediana intensidad (70-100°C). Sin embargo, en tratamientos de mayor intensidad (120-180°C), prácticamente todas las especies exhibieron poca o ninguna germinación. Un aspecto importante en el efecto del fuego sobre la germinación aparte de la temperatura máxima que alcanza, es el tiempo al que están sometidas las semillas a las altas temperaturas, Arcamone & Jaureguiberry (2018) pusieron a prueba especies herbáceas en tratamientos de baja intensidad, 70°C durante una hora, y alta intensidad, 110°C por 5 minutos. La mayoría de las especies toleró el choque térmico (es decir, la germinación era similar a la del tratamiento de control), mientras que otras tuvieron una mayor germinación en respuesta al choque térmico, especialmente bajo el tratamiento moderado a 70°C. Además, la respuesta de germinación no disminuyó bajo el tratamiento térmico más intenso (es decir, 110°C). Ese estudio evidenció una respuesta en general positiva en especies herbáceas, sugiriendo una ventaja de estas especies para colonizar ambientes luego de incendios. La velocidad de la respuesta germinativa post-fuego puede representar una ventaja ecológica, ya que las especies que germinan más rápido tienen una mayor probabilidad para colonizar el espacio de "baja competencia" que se genera luego del paso del fuego, aumentando las probabilidades de supervivencia de sus plántulas (Bewley & Black 1994; Enright & Kintrup 2001). Si bien se han realizado numerosos estudios en distintas regiones del mundo, acerca de la respuesta de semillas de muchas especies a tratamientos de calor y humo, en general los mismos se han enfocado en especies arbóreas, arbustivas y herbáceas. En plantas suculentas, y particularmente en cactáceas, no existen estudios que hayan analizado el efecto de incendios sobre la germinación de semillas.

La familia Cactaceae es casi endémica de las Américas (Anderson 2001), lo que hace una contribución importante a la riqueza de especies y endemismos en muchas regiones del continente (López 2003; Ortega-Baes & Godínez-Álvarez 2006; Giorgis et al. 2011). Las montañas del noroeste de Argentina constituyen una de las tres áreas principales de mayor diversidad de cactus, junto con México y el noreste de Brasil (Ortega-Baes & Godínez-Álvarez,

2006). En el centro de Argentina, las Sierras de Córdoba son la región más meridional de esta área de diversidad. Cactaceae es una familia de especial interés con respecto a la conservación de sus especies ya que la distribución acotada de los taxones, sumado a diferentes actividades humanas han puesto en riesgo de extinción a muchas especies (Goettsch et al. 2015). En las Sierras de Córdoba se han estudiado diferentes aspectos de la biología reproductiva de Cactáceas, como el efecto de las temperaturas (Gurvich et al. 2008), la sequía (Gurvich et al. 2017), procesos de hidratación/deshidratación (Contreras et al. 2016) sobre la germinación y el desarrollo de las plántulas (Sosa Pivatto et al. 2014; Bauk et al. 2015). Con respecto a la respuesta al fuego en la familia, se conoce que las especies globosas presentan una alta resistencia frente a eventos de fuego, mostrando una supervivencia de alrededor del 80% (Gurvich et al. 2014). Al momento no existen estudios de los posibles efectos del fuego sobre aspectos regenerativos en las especies de cactus, particularmente como las semillas responden a altas temperaturas.

El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de tratamientos experimentales de choque térmico, que simulan fuegos naturales, en la respuesta de germinación de 13 especies de Cactáceas que son frecuentes en el Chaco Serrano de la provincia de Córdoba, Argentina central. Los tratamientos experimentales simulaban intensidades de fuego bajas, 70 °C y medio-altas, 120 °C. También se simulaban diferentes duraciones de los incendios, sometiendo las semillas a dichas temperaturas por 5 y 10 minutos.

La Hipótesis de este trabajo es que las semillas de especies de cactáceas son sensibles a exposiciones a altas temperaturas, y al tiempo de la exposición a las mismas, tanto en su capacidad germinativa como en su velocidad de germinación. Por lo tanto, se predice que disminuirá la capacidad germinativa con el aumento de la temperatura y el tiempo de exposición de las semillas a los choques térmicos. Además se predice una disminución en la velocidad de la germinación (o sea las semillas tardarán más tiempo en germinar) ante el aumento de la temperatura y del tiempo de exposición de las semillas. Asimismo, se registró el peso de las semillas y la forma de vida de las especies, diferenciando especies globosas de columnares. Esto se realizó con el fin de, si se encontrase un efecto de los tratamientos, analizar si estas variables explican los patrones.

Objetivo general

- Evaluar el efecto de tratamientos experimentales de choque térmico a diferentes temperaturas (70°C y 120°C) y diferentes tiempos (5 y 10 minutos) sobre la respuesta germinativa de 13 especies de cactus del centro de Argentina.

Objetivos específicos

- Analizar el porcentaje de germinación de las especies estudiadas luego de ser sometidas los diferentes tratamientos.
- Analizar la velocidad de germinación de las especies estudiadas bajo los tratamientos.

- En caso de encontrarse diferencias entre los tratamientos experimentales en las variables analizadas, analizar si el peso de las semillas y/o la forma de vida se relacionan a los patrones.

Materiales y Métodos

Área de estudio, especies estudiadas y recolección de semillas

El estudio se llevó a cabo en 13 especies de cactáceas nativas del centro de Argentina. La vegetación del área de estudio corresponde al distrito biogeográfico de Chaco Serrano (Cabrera 1976), que es caracterizado por un mosaico de bosques, arbustales y pastizales. El clima es monzónico con una precipitación media anual de entre 500 y 750 mm que se concentra en la estación cálida, de octubre a abril (de Fina 1992). Las temperatura medias anuales oscilan entre los 15 °C y 18 °C (de Fina 1992).

Todas las especies, excepto *Cereus forbesii*, *Cereus aethiops*, *Cleistocactus baumannii*, *Harrisia pomanensis* y *Stetsonia coryne*, son endémicas del centro oeste de la Argentina (Trevison 2006). Con respecto a las formas de vida, *C. forbesii* y *S. coryne* son cactus arborescentes de gran porte, *C. baumannii* es una planta arbustiva erguida, *H. pomanensis* presenta tallos alargados y apoyantes. Por otro lado, *Echinopsis leucantha* muestra tallos columnares pero son de menor tamaño. Las especies estudiadas pertenecientes al género *Gymnocalycium* presentan tallo globoso, al igual que *Echinopsis aurea* y *Parodia submammulosa*.

Tabla 1. Especies de cactus estudiadas, su forma de vida y el peso promedio de sus semillas. Nomenclatura: <http://www.darwin.er/Proyectos/FloraArgentina/fa.htm>

Espece	Forma de vida	Peso de las semillas (mg)
<i>Cereus aethiops</i> Haw.	Columnar	1,87
<i>Cereus forbesii</i> Otto ex C.F. Först.	Columnar	0,85
<i>Cleistocactus baumannii</i> (Lem.) Lem.	Columnar	0,19
<i>Echinopsis aurea</i> Britton & Rose var. <i>aurea</i>	Globoso	0,59
<i>Echinopsis leucantha</i> (Gillies ex Salm-Dyck) Walp.	Columnar	0,79
<i>Gymnocalycium bruchii</i> (Speg.) Hosseus var. <i>bruchii</i>	Globoso	1,40
<i>Gymnocalycium capillense</i> (Schick) Hosseus	Globoso	0,44

<i>Gymnocalycium monvillei</i> (Lem.) Britton & Rose subsp. <i>monvillei</i>	Globoso	0,25
<i>Gymnocalycium mostii</i> (Gürke) Britton & Rose	Globoso	0,14
<i>Gymnocalycium schickendantzii</i> (F.A.C. Weber) Britton & Rose var. <i>delaetii</i> (K. Schum.) Backeb	Globoso	0,30
<i>Harrisia pomanensis</i> (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Britton & Rose ssp. <i>Pomanensis</i>	Columnar	1,32
<i>Parodia submammulosa</i> (Lem.) R. Kiesling subsp. <i>Submammulosa</i>	Globoso	0,66
<i>Stetsonia coryne</i> (Salm-Dyck) Britton & Rose	Columnar	0,51

Durante el fin de verano y principio del otoño se colectaron frutos maduros de al menos 10 individuos de cada una de las especies. Los frutos se limpiaron y las semillas fueron almacenadas en bolsas de papel a temperatura ambiente y en oscuridad hasta el momento de realizar los experimentos.

Experimentos de germinación

Las semillas fueron sometidas a los siguientes tratamientos experimentales: un control a temperatura ambiente; un tratamiento de golpe de calor a 70°C por 5 minutos; un tratamiento de golpe de calor a 70°C por 10 minutos; un tratamiento de golpe de calor a 120°C por 5 minutos, y por último un tratamiento de golpe de calor a 120°C por 10 minutos. Al fin de facilitar la lectura los tratamientos se denominaran 70°C/5min, 70°C/10min, 120°C/5min y 120°C/10min. Estos tratamientos fueron realizados colocando las semillas en cápsulas de vidrio que fueron colocadas en una estufa de convección a dichas temperaturas y tiempos. Los tratamientos fueron seleccionados para cubrir un rango de condiciones que potencialmente encontrarían las semillas en el suelo durante un incendio, teniendo en cuenta, por un lado, las temperaturas registradas a nivel del suelo en otros estudios realizados tanto en la región chaqueña (ej. Bravo et al. 2010; Ledesma et al. 2011) como en otras regiones semiáridas (Bóo et al. 1996; Auld & Bradstock 1996) al decir que tuvimos en cuenta temperaturas registradas a nivel de suelo esto estaría ya contemplado. Además, las temperaturas elegidas están dentro del rango de temperaturas reportado como estimulante para algunas especies en estudios similares realizados en otras regiones (Keeley 1987; Hanley et al. 2001; Luna et al. 2007; Ne'eman et al. 2009). Los experimentos de germinación se llevaron a cabo teniendo en cuenta cuatro réplicas (cápsulas de Petri) por tratamiento. En cada cápsula de Petri se colocaron 30 semillas sobre papel de filtro. Las cápsulas de Petri se dispusieron en cámaras de germinación en condiciones controladas de luz y temperatura, con un fotoperiodo de 12hs a 25°C. Esta temperatura imita la

temperatura media máxima de primavera en la región. Las semillas se mantuvieron húmedas, siendo regadas si es necesario con agua destilada. Se registró la germinación de las semillas por un períodos de 31 días (Gurvich et al. 2008). Las germinaciones fueron controladas día por medio, y el criterio para considerar a una semilla como germinada fue la emergencia en 2 mm de la radícula (ISTA 1996).

Variables analizadas

Porcentaje final de germinación (G): Porcentaje de semillas germinadas hasta el día 31 del experimento.

Velocidad de germinación (T₅₀): T₅₀ es la cantidad de días en donde germinan el 50% de las semillas germinadas. La velocidad de germinación se calculará sólo en aquellas replicas que tuvieron porcentajes de germinación ≥ 20% (Gurvich et al. 2017) con la siguiente fórmula:

$$T_{50} = \frac{\sum ni \cdot ti}{\sum ni}$$

En la cual: **ni** es el número de semillas recién germinadas en el tiempo *i* y **ti** es el período transcurrido desde el comienzo de la prueba de germinación, expresada en número de días.

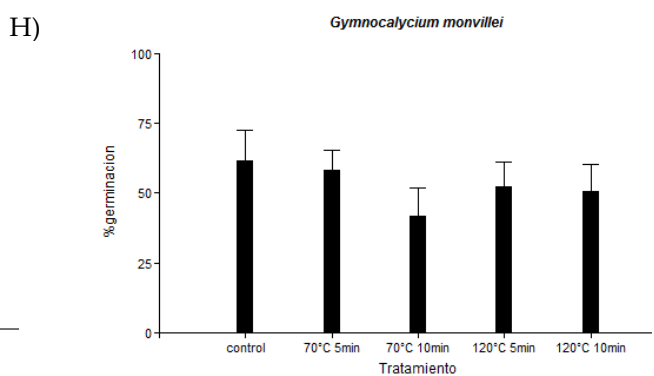
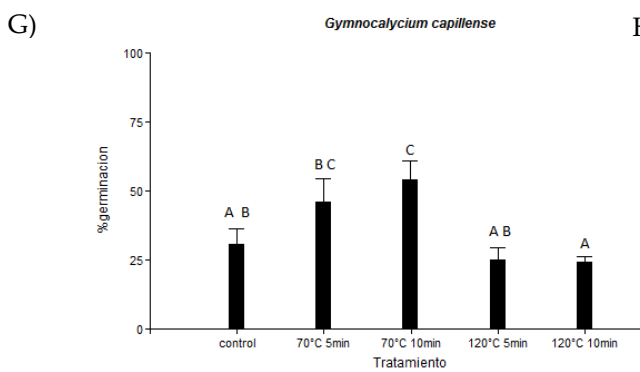
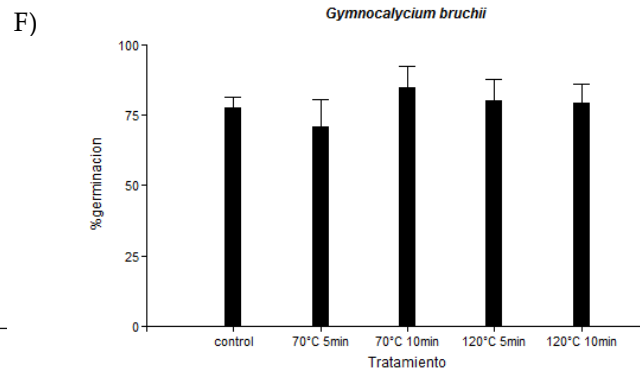
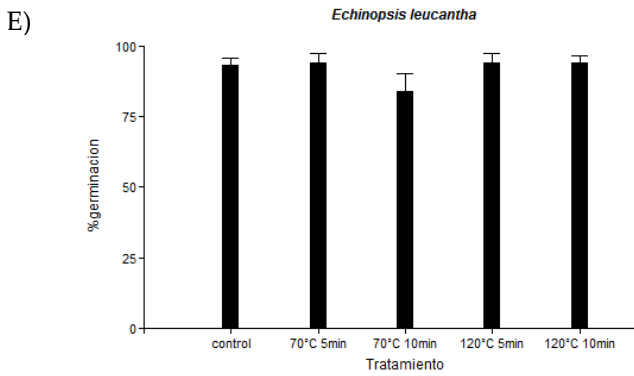
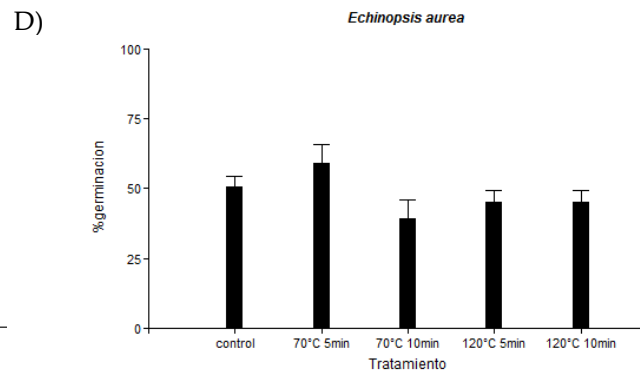
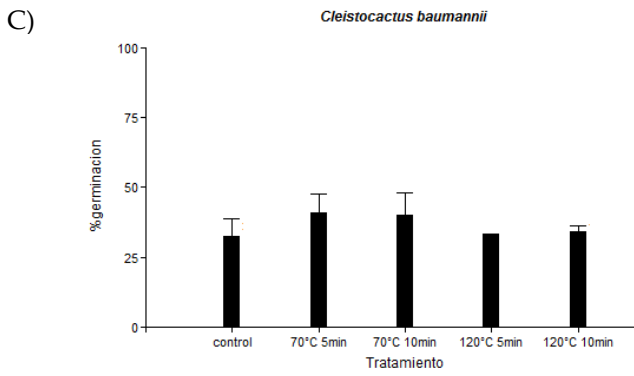
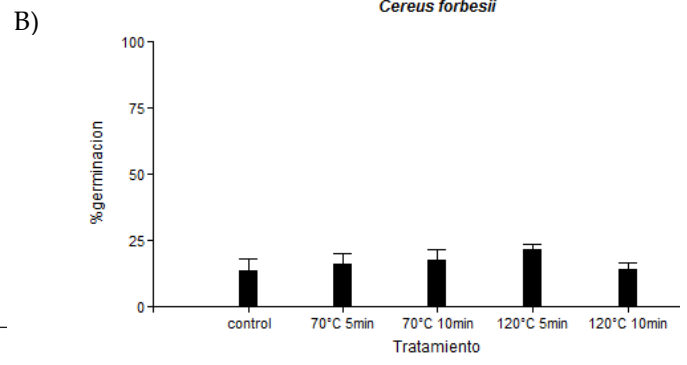
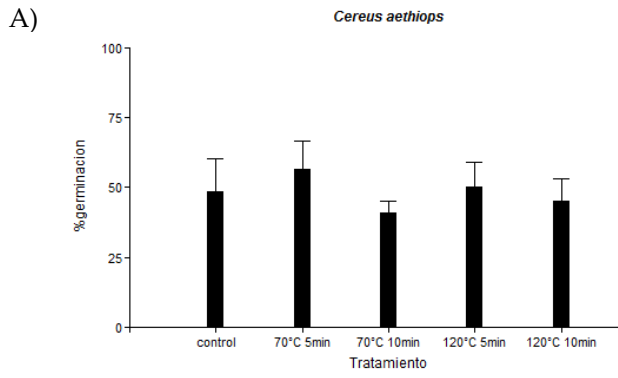
Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando InfoStat v.2013p (Di Rienzo et al. 2013, Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Para analizar las diferencias significativas entre los tratamientos se realizó un análisis no paramétrico Kruskal – Wallis (Di Rienzo et al. 2013).

Resultados

Porcentaje de germinación ante los distintos tratamientos

Los porcentajes de germinación obtenidos en los tratamientos control fueron muy variables entre las especies. *Cereus forbesii* mostró un porcentaje de germinación menor al 20%, mientras que especies como *Echinopsis leucantha* y *Gymnocalycium bruchii* superaron el 70% de germinación (Fig. 1). Solo en tres especies se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de control y los de altas temperaturas, aunque con patrones diferentes. En *Harrisia pomanensis* el tratamiento 120°C/5min presento menor germinación que el tratamiento control. En *Gymnocalycium capillense* el tratamiento 70°C/10min presento una mayor germinación que el control. Por último, en *Stetsonia coryne* se observó una mayor germinación respecto al control en el tratamiento 120°C/10min.



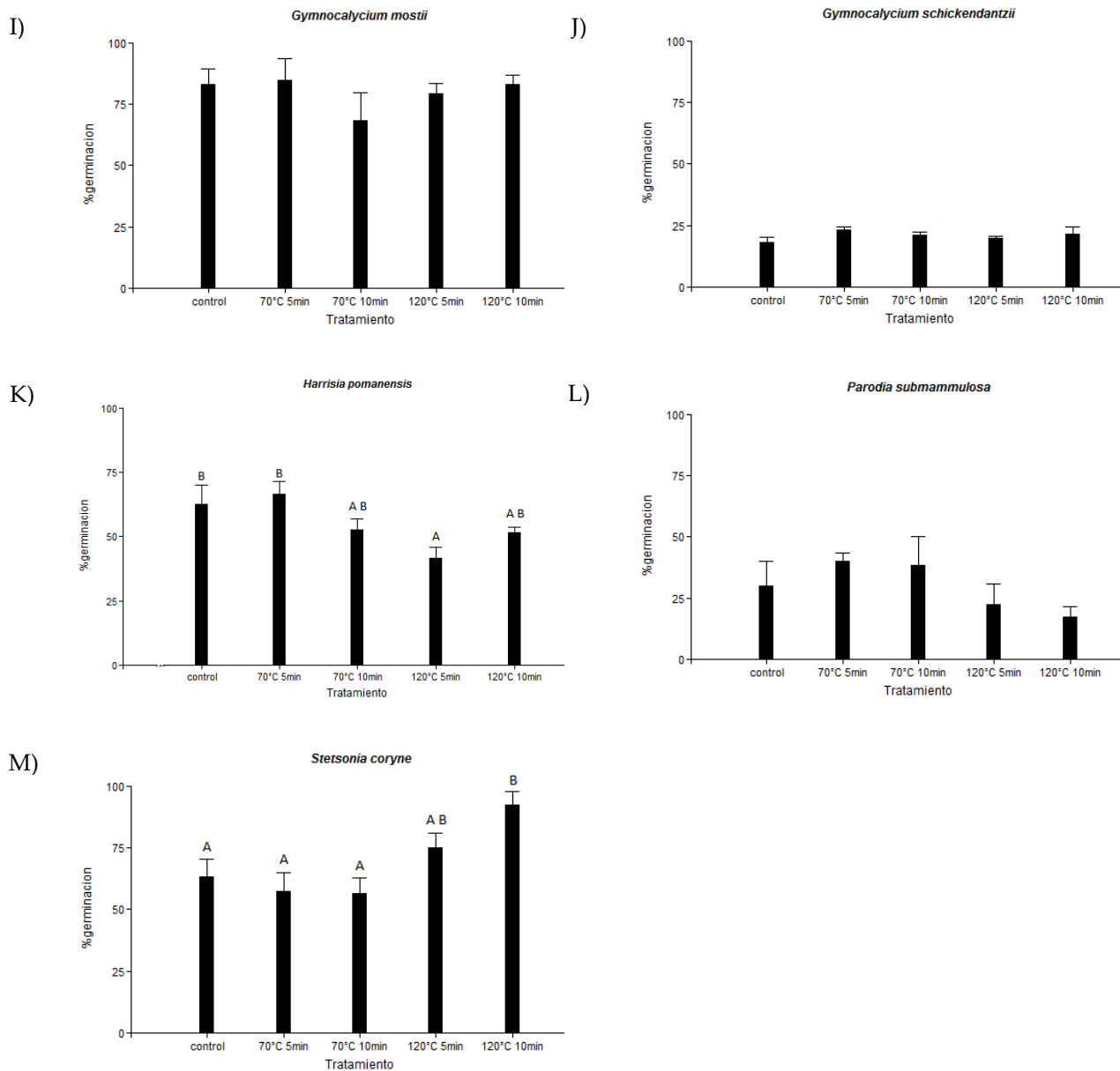
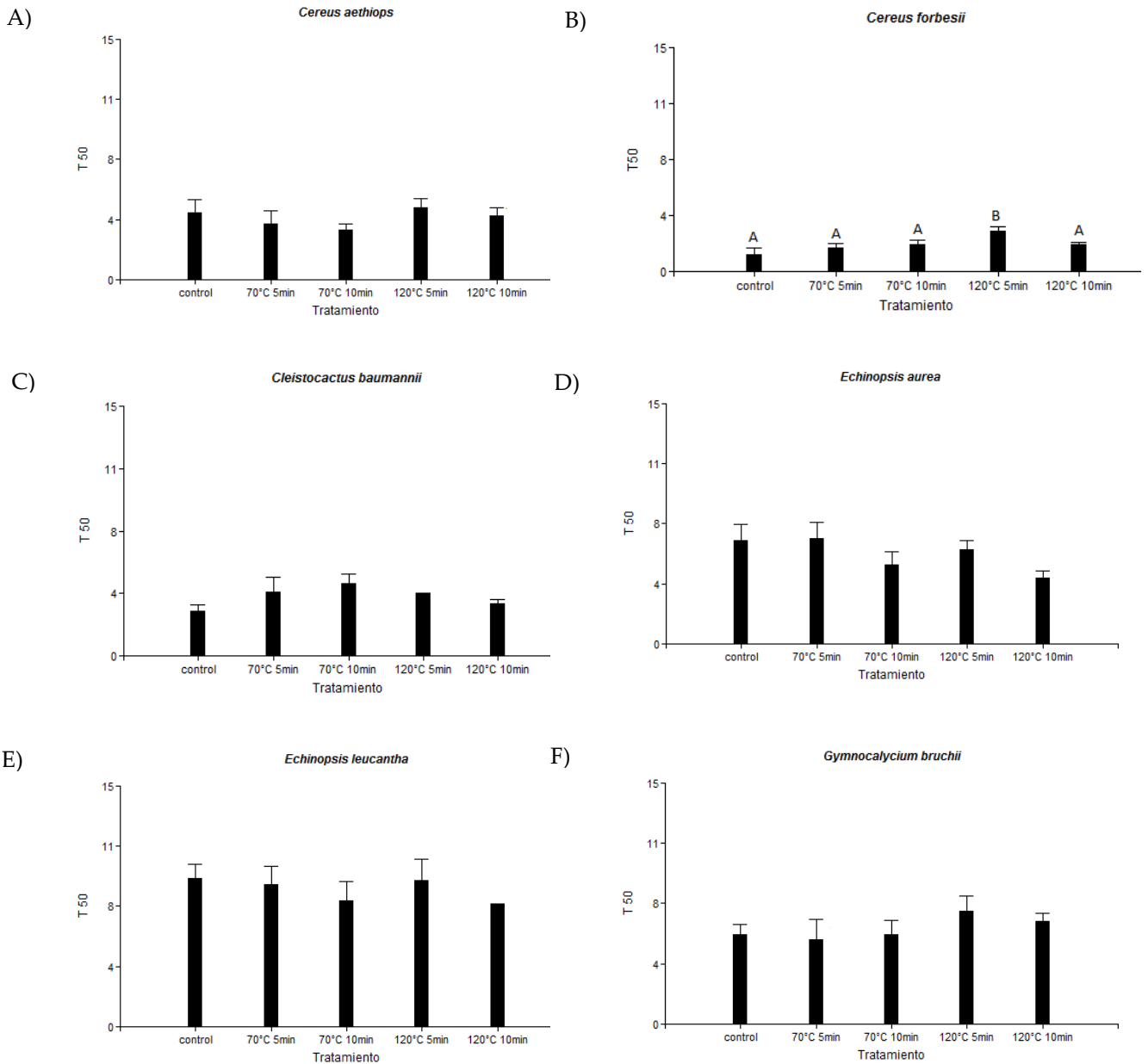
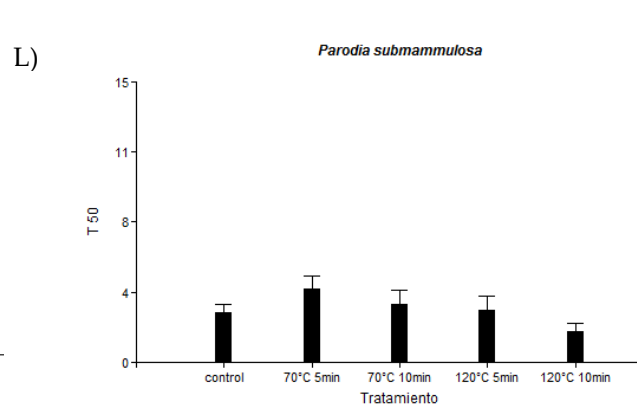
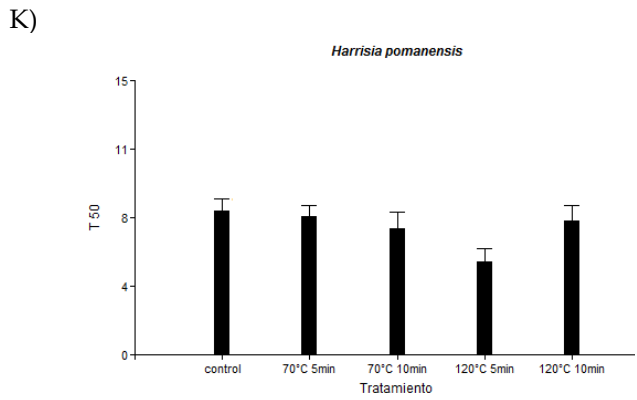
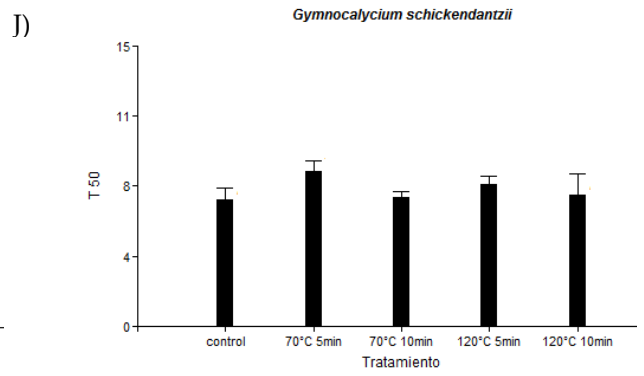
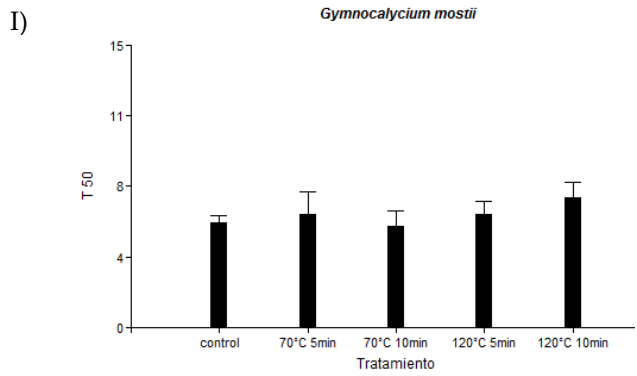
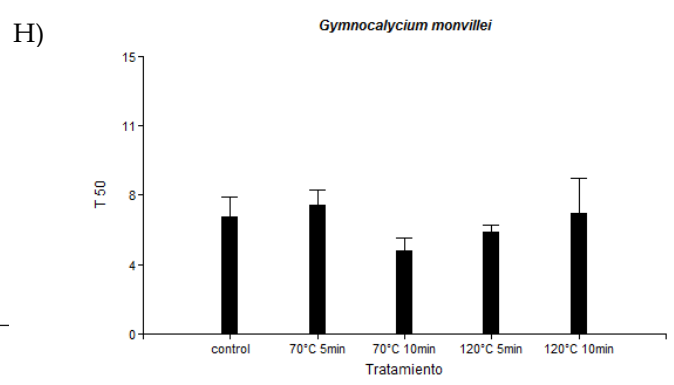
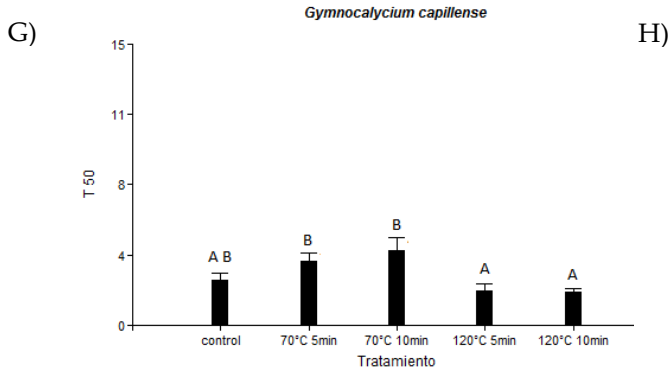


Figura 1. Porcentajes de germinación (media \pm 1es) de cada una de las especies estudiadas, A) *Cereus aethiops*, B) *Cereus forbesii*, C) *Cleistocactus baummanii*, D) *Echinopsis aurea*, E) *Echinopsis leucantha*, F) *Gymnocalycium bruchii*, G) *Gymnocalycium capillense*, H) *Gymnocalycium monvillei*, I) *Gymnocalycium mostii*, J) *Gymnocalycium schickendantzii*, K) *Harrisia pomanensis*, L) *Parodia submammulosa*, M) y *Stetsonia coryne* bajo los cinco tratamientos experimentales: Control; 70°C/5min; 70°C/10min; 120°C/5min; 120°C/10min. Letras sobre las barras indican diferencias significativas (test de Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$).

Velocidad de germinación (T_{50})

El T_{50} en el tratamiento control varió entre 2 y 13 días entre las especies (Tabla 2, Fig. 2). Sólo en una especie, *Cereus forbesii*, se observó diferencias significativas entre los tratamientos de control y los de altas temperaturas, siendo el T_{50} fue mayor en el tratamiento 120°C/ 5 min (Fig. 2B).





M)

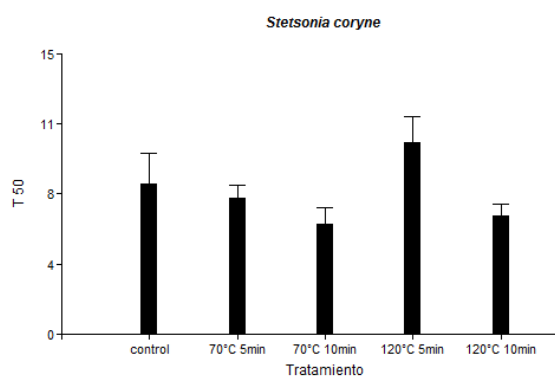


Figura 2. Velocidad de germinación (T_{50}) de cada una de las especies estudiadas, A) *Cereus aethiops*, B) *Cereus forbesii*, C) *Cleistocactus baumannii*, D) *Echinopsis aurea*, E) *Echinopsis leucantha*, F) *Gymnocalycium bruchii*, G) *Gymnocalycium capillense*, H) *Gymnocalycium monvillei*, I) *Gymnocalycium mostii*, J) *Gymnocalycium schickendantzii*, K) *Harrisia pomanensis*, L) *Parodia submammulosa* y M) *Stetsonia coryne* bajo los cinco tratamientos experimentales: Control; 70°C/5min; 70°C/10min; 120°C/5min; 120°C/10min. Letras sobre las barras indican diferencias significativas (test de Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$).

Discusión

El presente estudio provee nueva información acerca de cómo las semillas de cactáceas del centro de Argentina podrían responder ante los incendios. La principal hipótesis de este trabajo, que las semillas de cactáceas se verían negativamente afectadas por tratamientos de altas temperaturas, no se cumplió ya que las especies estudiadas fueron capaces de tolerar los tratamientos (ej. germinaron tanto como en el tratamiento de control), e incluso en *Stetsonia coryne* y *Gymnocalycium capillense* mostraron ante algunos tratamientos una estimulación de la germinación. Estos resultados coinciden con los de Jauguerribery & Díaz (2015) y Arcamone & Jauguerribery (2018), quienes encontraron que en especies de plantas del Chaco Árido y del Chaco Serrano las semillas se veían estimuladas ante tratamientos de choque térmico. Además, la respuesta de germinación no disminuyó bajo el tratamiento térmico de 110°C. Esto indicaría que estas especies son capaces de tolerar temperaturas asociadas a incendios de baja y media intensidad (Keeley & Fotheringham 2000; Hanley & Lamont 2000; Hanley et al. 2001); por otro lado, que algunas especies vean estimulada su germinación ante el golpe de calor, sugiere que dicha estimulación no es necesariamente un indicador de respuesta adaptativa al factor fuego (Jaureguiberry & Díaz 2015). Esto es debido a que temperaturas similares pueden alcanzarse durante el verano en ausencia de fuego en sitios abiertos y rocosos (generados por sobrepastoreo, erosión, o suelos quemados luego del paso de fuego) debido a la exposición al sol (Auld & Bradstock 1996; Keeley & Fotheringham 2000; Pérez-Reyes et al. 2011). Esto es particularmente relevante para las especies de cactus, que naturalmente habitan sitios rocosos (Gurvich et al. 2014). Pérez-Sánchez et al. (2011) simularon el efecto de las altas temperaturas que el suelo puede alcanzar sobre la germinación de especies de suculentas de México y encontraron que todas las especies germinaban en las condiciones de altas temperaturas.

Los valores de T_{50} encontrados en el tratamiento control coinciden con estudios previos en Cactáceas de la misma región (Sosa Pivatto et al. 2014) e indican que en general las especies germinan rápidamente cuando las condiciones de temperatura y humedad son adecuadas. De las 13 especies analizadas sólo en *Cereus forbesii* se observó una menor velocidad de germinación en el control en comparación con el tratamiento 120°C/10min. El hecho de que las especies que mostraron diferencias en los porcentajes de germinación, no lo hicieron en su velocidad de germinación, y viceversa, indica que las respuestas de las especies en estas dos variables serían independientes.

Cabe destacar que debido a que las especies no respondieron ante ninguno de los tratamientos, salvo unas pocas excepciones, la forma de vida y el peso de las semillas, variables que podrían haber estado relacionadas con la respuesta ante los tratamientos, no afectaron los resultados. Con respecto al peso de las semillas, estos resultados coinciden con Arcamone & Jauguerriberry (2018). En dicho estudio los pesos de las semillas de las especies fueron también bajos, (de 0.2 hasta 1.99 mg, y se considera que pesos de semillas de hasta 10 mg son pequeñas (Bond et al. 1999)).

En la medida que aumenta la frecuencia de incendios a nivel global resulta cada vez más necesario comprender como la vegetación responderá ante este nuevo escenario. Los cactus son un importante elemento de la flora Argentina, tanto por su alto número de especies, cuanto por su importancia para el hombre. En líneas generales, ni los porcentajes ni la velocidad de germinación se vieron afectados en las especies estudiadas. La mayor parte de las especies no respondió ante los tratamientos, y aquellas en que si existió un efecto, la magnitud del mismo no fue muy importante. Estudios previos mostraron que algunas especies de cactus globosos de las Sierras de Córdoba presentan una alta supervivencia, mayor al 80%, ante incendios (Gurvich et al. 2014). Estos resultados en conjunto indicarían que estas especies no se verían negativamente afectadas ante este disturbio. Por otro lado, los incendios al eliminar la biomasa de especies competidoras, como gramíneas y arbustos, quizás tengan un efecto positivo sobre los cactus al eliminar la competencia. Sin embargo, estudios futuros serán necesarios para indagar este punto.

Referencias

- Anderson, E. F. & Brown, R. (2001). The cactus family. Portland: Timber press.
- Arcamone, J. R. & Jaureguiberry, P. (2018). Germination response of common annual and perennial forbs to heat shock and smoke treatments in the Chaco Serrano, central Argentina. *Austral Ecology*, **43**(5):567-577.
- Argarañaz, J. P., Pizarro G. G., Zak M. & Bellis, L. M. (2015a). Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina. *Fire Ecology*, **11**(1):55-73.
- Argarañaz, J. P., Pizarro G.G., Zak M., Landi M. A. & Bellis, L. M. (2015b) Human and biophysical drivers of fires in Semi-arid Chaco mountains of Central Argentina. *Science of the Total Environment*, **520**:1-12.
- Auld, T. D. & Bradstock, R. A. (1996). Soil temperatures after the passage of a fire: do they influence the germination of buried seeds? *Australian Journal of Ecology*, **21**(1):106-9.
- Barthlott, W. & Hunt, D. (2000). Seed diversity in the Cactaceae, subfamily Cactoideae (Succulent Plant Research vol. 5). Sherborne: David Hunt, 173.
- Bauk, K., Sánchez, R., Zeballos, S.R., Las Peñas, M.L., Flores, J. & Gurvich, D.E. (2015). Are seed mass and seedling size and shape related to altitude? Evidence in *Gymnocalycium monvillei* (Cactaceae). *Botany*, **93**(8):529-533
- Boletta, P. E., Ravelo, A.C., Planchuelo, A. M. & Grilli, M. (2006) Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, **228**(1-3):108-114
- Bond, W.J., Honig, M. & Maze, K.E. (1999). Seed size and seedling emergence: an allometric relationship and some ecological implications. *Oecologia*, **120**(1):132-136.
- Bond, W.J. & Keeley, J.E. (2005). Fire as global "herbivore": the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, **20**(7):387-394.
- Boo, R. M., Peláez, D.V., Bunting, S. C., Elia, O. R. & Mayor, M. D. (1996). Effect of fire on grasses in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments*, **32**(3):259-69.
- Bravo, S., Kunst C., Gimenez A. & Moglia, G. (2001). Fire regime of an *Elionorus muticus* Spreng. Savanna, western Chaco region, Argentina. *International Journal of Wildland Fire*, **10**(1):65-72.
- Bravo, S., Kunst, C., Grau, R. & Araoz, E. (2010). Fire-rainfall relationships in Argentine Chaco savannas. *Journal of Arid Environment*, **74**(10):1319-1323.
- Cabrera, A.L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. 2nd ed. ACME, Buenos Aires.
- Contreras-Quiroz, M., Pando-Moreno, M., Jurado, E., Flores, J., Bauk, K. & Gurvich, D.E. (2016). Is seed hydration memory dependent on climate? Testing this hypothesis with Mexican and Argentinian cacti species. *Journal of Arid Environment*, **130**:94-97.
- De Fina, A. (1992). Aptitud agroclimática de la República Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. InfoStat (versión 2015). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Enright, N. J. & Kintrup, A. (2001). Effects of smoke, heat and charred wood on the germination of dormant soil-stored seeds from a *Eucalyptus baxteri* healthy-woodland in Victoria, SE Australia. *Austral Ecology*, **26**(2):132-41.
- Ghebrehiwot, H.M., Kulkarni, M.G., Light, M.E., Kirkman, K.P. & Van Staden, J. (2011). Germination activity of smoke residues in soils following a fire. *South African Journal of Botany*, **77**(3):718-724.
- Giorgis, M.A., Cingolani, A.M., Chiarini, F., Chiapella, J., Barboza, G., Ariza Espinar, L., Morero, R., Gurvich, D.E., Tecco, P.A., Subils, R. & Cabido, M. (2011). Composición florística del Bosque Chaqueño Serrano de la provincia de Córdoba, Argentina. *Kurtziana*, **36**(1):9-43
- Goettsch, B., Hilton-Taylor, C., Cruz-Piñón, G., Duffy, J.P., Frances, A., Hernández, H.M., et al.

- (2015). High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants*, **1**(10):15142.
- Grau, H.R., Gasparri, N.I., Aide, T.M. (2005). Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environmental Conservation*, **32**(2):140-148.
- Gurvich, D. E., Funes, G., Giorgis, M. A. & Demaio, P. (2008). Germination characteristics of four Argentinean endemic *Gymnocalycium* (Cactaceae) species with different flowering phenologies. *Natural Áreas Journal*, **28**(2):104-108.
- Gurvich, D. E., Pérez-Sánchez, R., Bauk, K., Jurado, E., Ferrero, M. C., Funes, G. & Flores, J. (2017). Combined effect of water potential and temperature on seed germination and seedling development of cacti from a mesic Argentine ecosystem. *Flora*, **227**:18-24.
- Gurvich, D.E., Zeballos, S.R. & Demaio, P.H. (2014). Diversity and composition of cactus species along an altitudinal gradient in the Sierras del Norte Mountains (Córdoba, Argentina). *South Africa Journal of Botany*, **93**:142–147.
- Hanley, M.E., Fenner, M. & Ne'eman, G. (2001). Pregermination heat shock and seedling growth of fire following Fabaceae from four Mediterranean-climate regions. *Acta Oecologia*, **22**(5-6):315-320.
- Hanley, M.E. & Lamont, B.B. (2000). Heat pretreatment and the germination of soil and canopy stored seeds of south western Australian species. *Acta Oecologica*, **21**(6):315-321.
- Hanley, M.E., Unna, J.E. & Darvill, B. (2003). Seed size and germination response: a relationship for fire following plan species exposed to thermal shock. *Oecologia*, **134**(1):18-22.
- Harper, J.L. (1977). *Population Biology of Plants*. Academic Press. Londres, Inglaterra.
- Instituto de Botánica Darwinion (2017). Available from URL: <http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/fa.htm>
- Jaureguiberry, P. & Díaz, S. (2015). Post-burning regeneration of the Chaco seasonally dry forest: germination response of dominant species to experimental heat shock. *Oecologia*, **177**(3):689-699.
- Keeley, J. (1987). Role of fire in seed germination of woody taxa in California chaparral. *Ecology*, **68**(2):434–443.
- Keeley, J. E. & Fotheringham, C. J. (2000). Role of fire in regeneration from seed. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, **2**:311-330.
- Keeley, J.E. & Keeley, S.C. (1987). Role of fire in the germination of chaparral herbs and suffrutescents. *Madroño*, Vol. 34, No. 3 pp. 240-249.
- Keeley, J.E., Bond, W.J. (1997). Convergent seed germination in South African fynbos and Californian chaparral. *Plant Ecology*, **133**(2):153-167.
- Kowaljow, E., Morales, M.S., Whitworth-Hulse, J.I., Zeballos, S.R., Giorgis, M.A., Rodríguez Catón, M. & Gurvich, D.E. (2019). A 55-year-old natural experiment gives evidence of the effects of changes in fire frequency on ecosystem properties in seasonal Subtropical Dry forest. *Land Degradation and Development*, **30**(3):266-277.
- Kunst, C. & Bravo, S. (2003). Fuego, calor y temperatura. En: *Fuego en los Ecosistemas Argentinos* (eds. Kunst, C., Bravo, S. & Panigatti, J. L.) pp. 39–45. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.
- Kunst, C. (2011). Ecología y uso del fuego en la Región Chaqueña Argentina: una revisión. *Boletín del CIDEU* **10**:81–105.
- Ledesma, R., Kunst, C., Bravo, S. et al. (2011). Fire intensity and air temperature profiles in experimental burns in Chaco shrublands. *Diverse Rangelands for a Sustainable Society* p.456.
- Lopez, R.P. (2003). Phytogeographical relations of the Andean dry valleys of Bolivia. *Journal of Biogeography*, **30**(11):1659–1668.
- Luna, B., Moreno, J. M., Cruz, A. & Fernandez-Gonzalez, F. (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. *Environmental and Experimental Botany*, **60**(3):324–33.
- Morello, J. (1983). El Gran Chaco. El proceso de expansión de la frontera agrícola desde el punto de vista ecológico ambiental. En 'Expansión de la frontera agropecuaria y medio ambiente en América Latina'. (Eds. CIFCA) pp.341–396. CEPAL-PNUMACIFCA, Madrid.
- Morello, J. & Saravia Toledo, C. (1959). El Bosque Chaqueño I. Paisaje primitivo, paisaje natural y paisaje cultural en el oriente de Salta. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* **3**(1-2):5-79.
- Ne'eman, G., Ne'eman, R., Keith, D. A. & Whelan, R. J. (2009). Does post-fire plant regeneration mode affect the germination response to fire-related cues? *Oecologia*, **159**(3):483–92.
- Ortega-Baes, P. & Godínez-Alvarez, H. (2006). Global diversity and conservation priorities in the Cactaceae. *Biodiversity and Conservation*, **15**(3):817–827
- Plan Provincial de Manejo del Fuego (PPMF) (2007). Guía Para La Prevención De Incendios Forestales en Córdoba. Gobierno de la Provincia de Córdoba, Secretaria de Ambiente, Córdoba.
- Pérez-Sánchez, R.M., Jurado, E., Chapa-Vargas, L. & Flores, J. (2011). Seed germination of Southern Chihuahuan Desert plants in response to elevated temperatures. *Journal of Arid Environment*, **75**(10):978–980.
- Reigosa, M.J., Pedrol, N. & Sánchez, A. (2004). *La Ecofisiología Vegetal, Una ciencia de síntesis*. Madrid, España. Pp.901-922.
- Sosa Pivatto, M., Funes, G., Ferreras, A.E. & Gurvich, D.E. (2014). Seed mass, germination and seedling traits for some central Argentinian cacti. *Seed Science Research*, **24**(1):71–77.
- Torres, R. C., Giorgis, M. A., Trillo, C. et al. (2014). Post-fire recovery occurs overwhelmingly by resprouting in the Chaco Serrano forest of Central Argentina. *Austral Ecology*, **39**(3):346–54.
- Zuloaga-Aguilar, S., Briones, O. & Orozco-Segovia, A. (2011). Seed germination of montane forest species in response to ash smoke and heat shock in Mexico. *Acta Oecologica*, **37**(3):256–62.