

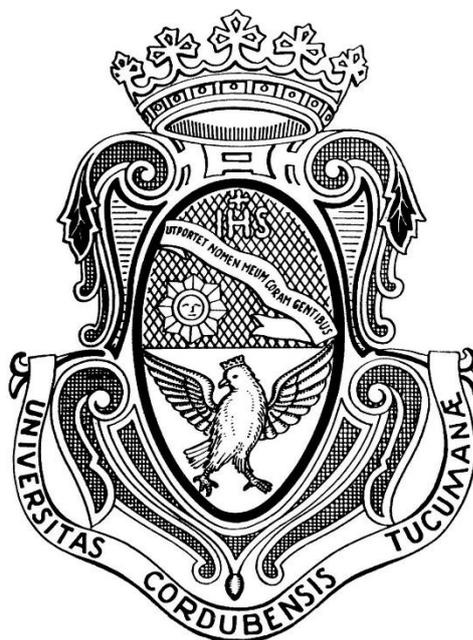
TESINA DE GRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Efecto del fuego sobre el crecimiento, la
producción de semillas y la germinación en
Gymnocalycium monvillei (Cactaceae)

Tesinista: Marina A. Lorenzati

Director: Dr. Diego E. Gurvich

Cátedra de Biogeografía



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Córdoba, Argentina

-2019-



Índice

Resumen	3
Introducción.....	4
Objetivo general.....	6
Objetivos particulares	6
Materiales y métodos.....	7
Área de estudio y especie estudiada	7
Mediciones de crecimiento de los individuos.....	8
Recolección de semillas	9
Peso y producción de semillas	9
Experimentos de germinación.....	10
Análisis de datos	11
Resultados	12
Crecimiento de los individuos.....	12
Peso y producción de semillas	13
Germinación	16
Discusión	19
Conclusión.....	20
Agradecimientos.....	21
Bibliografía.....	22



Efecto del fuego sobre el crecimiento, la producción de semillas y la germinación en *Gymnocalycium monvillei* (Cactaceae)

Palabras claves: Cactáceas, fuego, germinación, crecimiento, semillas.

Resumen

Gran parte de las especies de cactáceas habitan regiones sujetas a mayores frecuencias de incendios. Si bien los cactus globosos tienen, en general, una alta supervivencia al fuego, poco se conoce sobre otras características, como su crecimiento después del fuego o su respuesta reproductiva. Esta última es de gran importancia ya que de esta depende el mantenimiento a largo plazo de las poblaciones. El objetivo del trabajo fue evaluar los efectos del fuego sobre el crecimiento a corto plazo y sobre las características reproductivas del cactus globoso *Gymnocalycium monvillei*. El estudio se llevó a cabo en una población de esta especie ubicada en las Sierras Chicas de Córdoba, la cual fue afectada en parte por un incendio en el año 2017. Fueron seleccionados 60 individuos, 30 individuos afectados (tratamiento) y 30 individuos no afectados por el fuego (control). Sobre los 60 individuos se midió el crecimiento anual, se recolectaron frutos y se estimó la producción de semillas por fruto. Además se llevaron a cabo experimentos de germinación para determinar el porcentaje de germinación y el tiempo medio de germinación. Tanto para los individuos afectados por el fuego como para los individuos control (no afectados por el fuego) no se encontró correlación entre el diámetro inicial con el crecimiento, aunque se observó que el diámetro inicial se correlacionó significativamente y positivamente con la producción de semillas. Por su parte, tanto la producción de semillas, el porcentaje final de germinación como el tiempo medio de germinación no mostraron diferencias significativas entre individuos afectados por el fuego y no afectados. Los resultados muestran que la especie estudiada no sufrió efectos post fuego tanto en su crecimiento como en las variables reproductivas que se midieron, por lo que se puede concluir que *Gymnocalycium monvillei* es una especie tolerante a incendios. Estos resultados son relevantes dado que los cactus globosos suelen presentar ciclos de vida en general largos y tasas de crecimiento bajas.



Introducción

El fuego es uno de los factores más importantes por sus efectos en la dinámica de la vegetación, modificando desde la fisonomía y composición florística hasta el reciclado de materiales de los ecosistemas terrestres (Bond & Keeley, 2005; Keeley, 2012; Giorgis et al., 2013; Kowaljow et al., 2019). El cambio climático, en combinación con cambios en el uso del suelo, están incrementando la frecuencia e intensidad de los incendios en el planeta, incluso en biomas donde el fuego era un factor casi inexistente, como los bosques tropicales húmedos (Kasischke et al., 1995; Castillo et al., 2003; Westerling et al., 2006).

En ecosistemas que han evolucionado con incendios, como es el caso de los ecosistemas mediterráneos o algunas sabanas tropicales, las especies pueden presentar adaptaciones al fuego e incluso verse favorecidas por este disturbio, por ejemplo incrementando su crecimiento, y la producción de flores y semillas (Wallace, 1966; Abbott & Loneragan, 1983; Lamont & Runciman, 1993; Whelan, 1995). En especies de ecosistemas que no han evolucionado con incendios, en cambio, este agente puede no sólo producir daños en los tejidos (Spurr & Barnes, 1980), sino que, a través de esos daños, tener efectos negativos sobre el posterior desarrollo de los individuos. Esto es así porque la remoción de biomasa causada por el fuego retardaría el crecimiento de las plantas, quitando recursos que podrían destinarse a la reproducción sexual.

La mayor parte de las especies de cactáceas habitan regiones que, si bien no poseen una larga historia de incendios, al menos en los últimos decenios este tipo de disturbio se ha tornado habitual (Gurvich et al., 2015; Kowaljow et al., 2019). Se ha observado que especies de cactus con forma de vida globosas son más tolerantes a los incendios que formas de vida columnares (Thomas, 2006). Thomas & Goodson (1992), en un estudio en Arizona, encontraron que la mortandad de especies de cactus y suculentas fue menor al 25% dentro de los 14 meses posteriores a la quema. También se encontró que los cactus globosos de las Sierras de Córdoba presentan una alta supervivencia ante los incendios, de alrededor de un 80%, lo que sugiere que estarían adaptados a resistir este disturbio (Gurvich et al., 2015; Zupichiatti, 2019). Si bien en cactáceas globosas se ha observado una alta supervivencia a los incendios (Thomas, 2006; Zupichiatti, 2019), poco se conoce acerca del efecto a mediano y largo plazo del fuego tanto sobre el crecimiento como sobre la reproducción sexual (Eugenio & Lloret, 2004; Fulé & Laughlin, 2007). Esta información es particularmente relevante dado



que las cactáceas suelen presentar bajas tasas de crecimiento y ciclos de vida en general largos (Gibson & Nobel, 1986).

Diversos estudios muestran que variables reproductivas, como el número semillas, el peso de las semillas y las características de germinación, afectan el establecimiento, crecimiento y supervivencia de las plantas (Bowers & Pierson, 2001; Baloch et al., 2001; Nicole et al., 2005). Un mayor número de semillas se traduce en una mayor aptitud (Westoby et al., 1992; Leishman et al., 2000). El peso de las semillas ha sido considerado como un factor importante en la biología regenerativa de las plantas (Bu et al., 2007), ya que está relacionado con la capacidad de dispersión (semillas pequeñas se dispersan más), como así también con las posibilidades de establecerse (semillas más grandes producen plántulas más vigorosas) (Harper, 1977; Daws et al., 2007). Estos compromisos funcionales que se han estudiado principalmente comparando diferentes especies, también pueden operar a nivel intraespecífico. Numerosos estudios han mostrado que el peso de la semilla a nivel intraespecífico puede variar (Hendrix, 1984). Las semillas más grandes se han asociado a individuos/poblaciones viviendo en hábitats menos perturbados (Werner & Platt, 1976). El porcentaje de germinación es un buen indicador de la calidad de la semilla y tiene efectos directos sobre la aptitud de la especie (Long et al., 2015), mientras que una mayor velocidad de germinación puede representar una ventaja, ya que facilitaría el establecimiento luego de los incendios (Enright & Kintrup, 2001). Al momento existen pocos estudios que hayan analizado aspectos regenerativos en cactáceas luego de incendios. En un estudio en Nuevo México en el que se analizó los efectos de un fuego prescripto luego de dos años, se observó que este no tuvo ningún efecto sobre la frecuencia de floración, ni en la cantidad de flores y frutos en el cactus globoso *Echinocereus kuenzleri* (May, 2006).

La familia Cactáceas es endémica de las Américas, donde se distribuye desde Canadá hasta el sur de Argentina (Bravo-Hollis, 1978; Gibson & Nobel, 1986; Ortega-Baes & Godínez-Alvarez, 2006). Es una familia importante tanto por los roles ecológicos que presentan sus especies (los frutos de especies como el cardón, *Trichocereus pasacana*, proveen un importante alimento a la fauna en los ambientes de la prepuna Argentina), como por los diferentes usos que el ser humano hace de ellos (Nobel, 2002). En las Sierras de Córdoba existe una alta riqueza de especies de esta familia, con alrededor de 31 especies nativas (Giorgis et al., 2011). Las cactáceas, representan la quinta familia con mayor número de especies en las Sierras de Córdoba, de los cuales 13 especies pertenecen al género



Gymnocalycium (Gurvich et al., 2006; Giorgis et al., 2011). *Gymnocalycium monvillei* es un cactus globoso endémico de las montañas de Córdoba y San Luis, que presenta una distribución altitudinal muy amplia (Gurvich et al., 2014; Bauk et al., 2015). La especie florece a finales de la primavera y al comienzo del verano (Gurvich et al., 2008). Cada individuo produce entre uno y siete frutos por temporada, con entre 400 y 4000 semillas cada fruto (Giorgis et al., 2015). Las semillas son ligeras, pesando alrededor de 0,24 mg (Giorgis et al., 2015) y su masa no varía con la altitud (Bauk et al., 2015).

Objetivo general

El objetivo general del presente estudio es analizar los efectos del fuego sobre el crecimiento a corto plazo y sobre las características reproductivas en *Gymnocalycium monvillei*.

Objetivos particulares

- Determinar si el crecimiento post fuego en individuos afectados difiere de aquellos individuos no afectados por un incendio.
- Evaluar si existe diferencia entre individuos afectados y no afectados por el fuego, con respecto a la producción y peso de semillas.
- Analizar el efecto del fuego sobre el porcentaje y el tiempo medio de germinación (TMG) de la especie estudiada.



Materiales y métodos

Área de estudio y especie estudiada

El estudio se llevó a cabo en las Sierras Chicas, particularmente en un sitio sobre la Ruta Provincial E 66, a 14,5 km de la localidad de La Cumbre ($30^{\circ}57'25.4''S$ $64^{\circ}25'22.5''W$). El sitio se encuentra a alrededor de 1600 m s.n.m., presenta un clima sub-húmedo, con tendencia al semi-seco de montaña. Aproximadamente el 85 % de las precipitaciones ocurren entre octubre y marzo, con un promedio anual de alrededor de 800 mm (Capitanelli, 1979). La temperatura media anual es de $13,9^{\circ}C$. Las temperaturas máximas diarias durante la estación cálida, cuando se produce la germinación y el establecimiento de las especies varían entre 23 y $28^{\circ}C$. La vegetación del área de estudio corresponde al Pastizal de *Stipeas* y *Festuceas* (Unidad 8 de Oyarzabal et al., 2018), que se caracteriza por ser un mosaico de arbustos, pastizales y afloramientos rocosos (Gurvich et al., 2014), sujeto a pastoreo de ganado y expuesto a incendios recurrentes (Gavier & Bucher, 2004) (Figura 1).

El estudio se llevó a cabo con la especie *Gymnocalycium monvillei* (Lem.) Britton and Rose. Se estudió una población ubicada en una zona sobre parte de la cual ocurrió un incendio durante el mes de septiembre del año 2017. Se seleccionó esta especie debido a que es una especie común y abundante en gran parte de las Sierras de Córdoba (Gurvich et al., 2014), por lo que es un buen modelo para estudiar el efecto del fuego sobre los cactus globosos.



Figura 1 – Área de estudio ($30^{\circ}57'25.4''S$ $64^{\circ}25'22.5''W$). Se pueden observar los roquedales donde se encuentra *Gymnocalycium monvillei*.

Mediciones de crecimiento de los individuos

Para evaluar el crecimiento posterior al incendio ocurrido en el año 2017, se tomaron medidas del diámetro total (cm) de 60 individuos de una misma población, 30 individuos afectados y 30 individuos que no fueron afectados por el fuego (control) (Figura 2). Se seleccionaron individuos sexualmente maduros, con botones florales y se tomó un amplio rango de tamaños (entre 6 cm y 17 cm). Las mediciones fueron realizadas un año luego de ocurrido el fuego, a partir del mes de septiembre de 2018. Los individuos fueron georreferenciados, mediante un GPS, y se les colocó una marca metálica con su identificación. Se efectuaron nuevamente las mismas mediciones al final de la temporada de crecimiento, en el mes de abril del año siguiente (2019).



Figura 2 – a) Individuo de *Gymnocalycium monvillei* que fue afectado por el fuego, en donde se puede observar en la corona de espinas más cercana al suelo, marcas negras en las bases de las espinas y daños ocasionados por el mismo. b) Individuo que no fue afectado (control) en donde se observa en detalle espinas ilesas.

Recolección de semillas

Se recolectaron frutos maduros (entre 1 y 2 por individuo) de individuos quemados e individuos control entre diciembre y enero. A estos frutos se les midió el alto y ancho, con un calibre, luego se separaron y limpiaron las semillas que contenían (Figura 3). Las semillas fueron secadas al aire, y luego se almacenaron en bolsas de papel, a temperatura ambiente y en oscuridad, hasta el inicio de los experimentos, que se realizaron el mismo año. Independientemente de los frutos que fueron recolectados para la obtención de semillas para los experimentos, se midió el ancho y alto de todos los frutos observados en los 60 individuos seleccionados, a fin de estimar la producción total de semillas por planta (ver estimación más abajo).



Figura 3 – a) Individuo de *Gymnocalycium monvillei* no quemado (control) en flor. b) Medición del fruto utilizando un calibre. c) Corte del fruto donde se observan las semillas.

Peso y producción de semillas

Se registró el peso de las semillas utilizando una balanza de precisión. Debido al tamaño pequeño de la semilla, por fruto se pesaron 5 grupos de 10 semillas cada uno, con el objetivo de disminuir el error. Posteriormente se obtuvo un promedio de los pesos registrados. Además, para cada fruto, se realizó una estimación del número de semillas presente, dividiendo el peso total de semillas en el fruto por el peso promedio de una semilla.



Se realizaron regresiones entre el tamaño de los frutos y el número de semillas (de los frutos colectados). Una vez estimado el número de semillas por fruto según su diámetro, se calculó la producción total de semillas producidas por cada planta al sumar todas las semillas.

Experimentos de germinación

Las semillas fueron colocadas en cápsulas de Petri que fueron incubadas en cámaras de germinación en condiciones controladas de luz y temperatura, con un fotoperiodo de 12 h a 25 °C. Se considera que dichas condiciones son óptimas para la germinación de *G. monvillei* (Gurvich et al. 2008). En cada cápsula de Petri se colocaron 20 semillas sobre papel de filtro. Se utilizaron semillas de apariencia saludable y se descartaron aquellas que no estaban totalmente desarrolladas o que presentaban evidencia de daño por hongos o insectos. Las semillas se mantuvieron húmedas, siendo regadas cada vez que fue necesario, con agua destilada. Se registró la germinación de las semillas por un período 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 de 2 mm de la radícula (ISTA 1985) (Figura 4). Se registraron las siguientes variables:

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

Tiempo medio de germinación (TMG): TMG es la cantidad de días en donde germinan el 50% de las semillas (Soltani et al., 2016). El tiempo medio de germinación se calculó sólo en aquellas réplicas que tuvieron porcentajes de germinación $\geq 20\%$ (Gurvich et al., 2017) con la siguiente fórmula:

$$TMG = \frac{\sum ni \cdot ti}{\sum ni}$$

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 (Ellis & Roberts, 1978).



Figura 4 – Germinación de semillas de *Gymnocalycium monvillei* en diferentes etapas, desde la siembra hasta 31 días después de la misma.

Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando InfoStat v.2018 (Di Rienzo et al., 2018). Para evaluar si existen diferencias significativas entre el crecimiento y las variables reproductivas de los individuos afectados por el fuego y los no afectados (control), se empleó una prueba t de Student para muestras independientes. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (Sokal & Rohlf, 1995), para analizar la relación entre el diámetro inicial y las variables crecimiento y producción de semillas.



Resultados

Crecimiento de los individuos

El crecimiento de los individuos, expresado como la diferencia entre la segunda y primera medición del diámetro en forma porcentual, varió entre 0% y 27,82% en individuos quemados y en individuos no quemados (control) entre 0% y 17,02%. Siete especímenes quemados y nueve controles no presentaron crecimiento. El crecimiento (%) no fue significativamente diferente entre el tratamiento y el control ($p = 0,4309$), aunque se observa una tendencia a mayor crecimiento en individuos quemados, con una media de 6,81%, mientras que individuos no afectados presentan una media de 5,51 % (Figura 5).

No se observaron relaciones significativas entre el diámetro inicial y el crecimiento (Figura 6). El diámetro inicial estuvo asociado negativamente, pero no de manera significativa, al crecimiento tanto para los individuos quemados ($r=-0,07$; $p>0,1$) como para el control ($r=-0,25$; $p>0,1$).

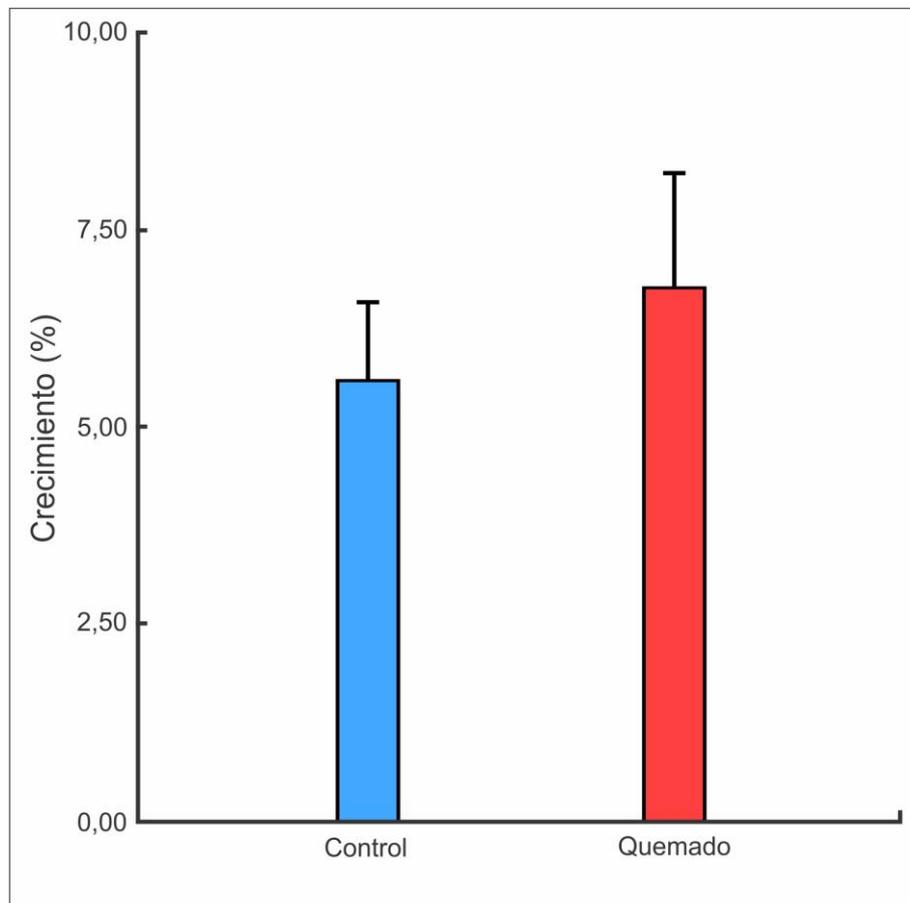


Figura 5- Crecimiento (media \pm E.E) en individuos quemados y control de *Gymnocalycium monvillei* ($p = 0,4309$).

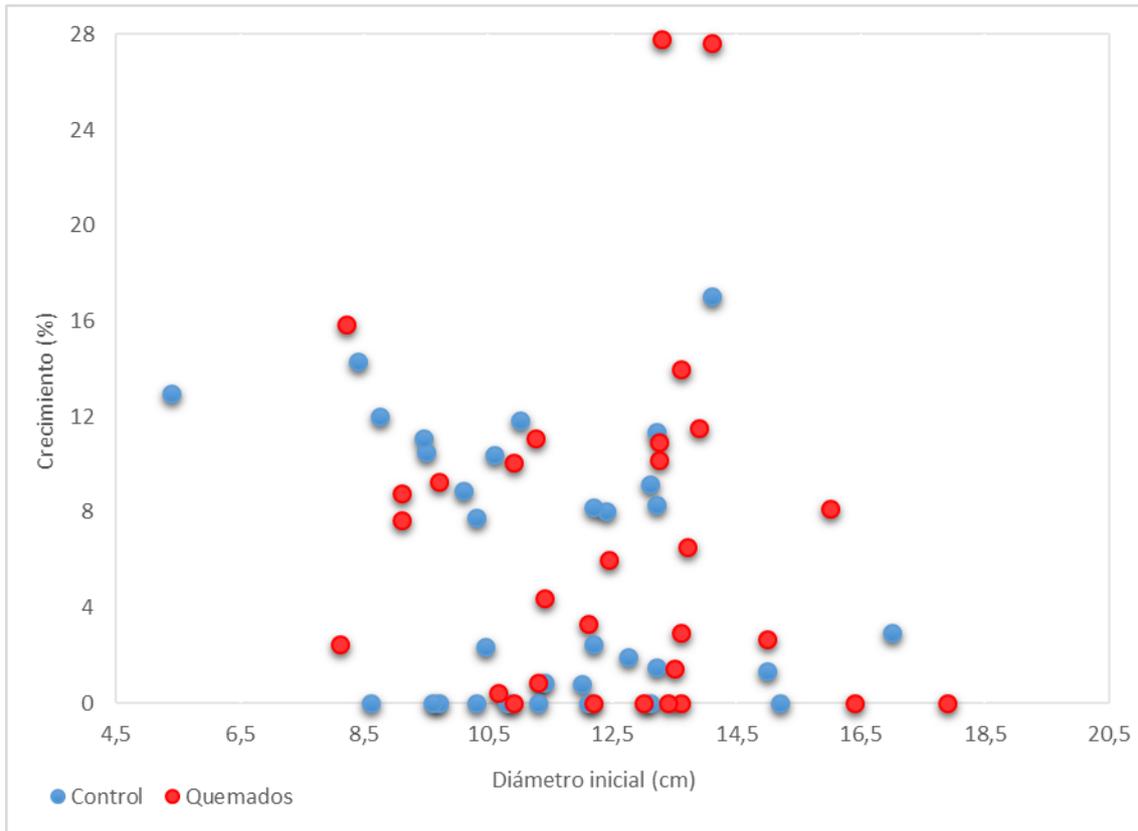


Figura 6- Relación entre el diámetro inicial (cm) y el crecimiento (%) de *Gymnocalycium monvillei*: ● Individuos control ($r=-0,25$; $p>0,1$); ● Individuos quemados ($r=-0,07$; $p>0,1$).

Peso y producción de semillas

El peso promedio de las semillas varió entre 0,250 y 0,480 mg en individuos afectados por el fuego y varió entre 0,243 y 0,468 mg en ejemplares no afectados. El promedio para las semillas de cactus quemados fue de 0,34 mg y para los controles de 0,33 mg (Figura 7). El peso de las semillas no mostró diferencias significativas entre los individuos quemados y controles ($p=0,4559$).

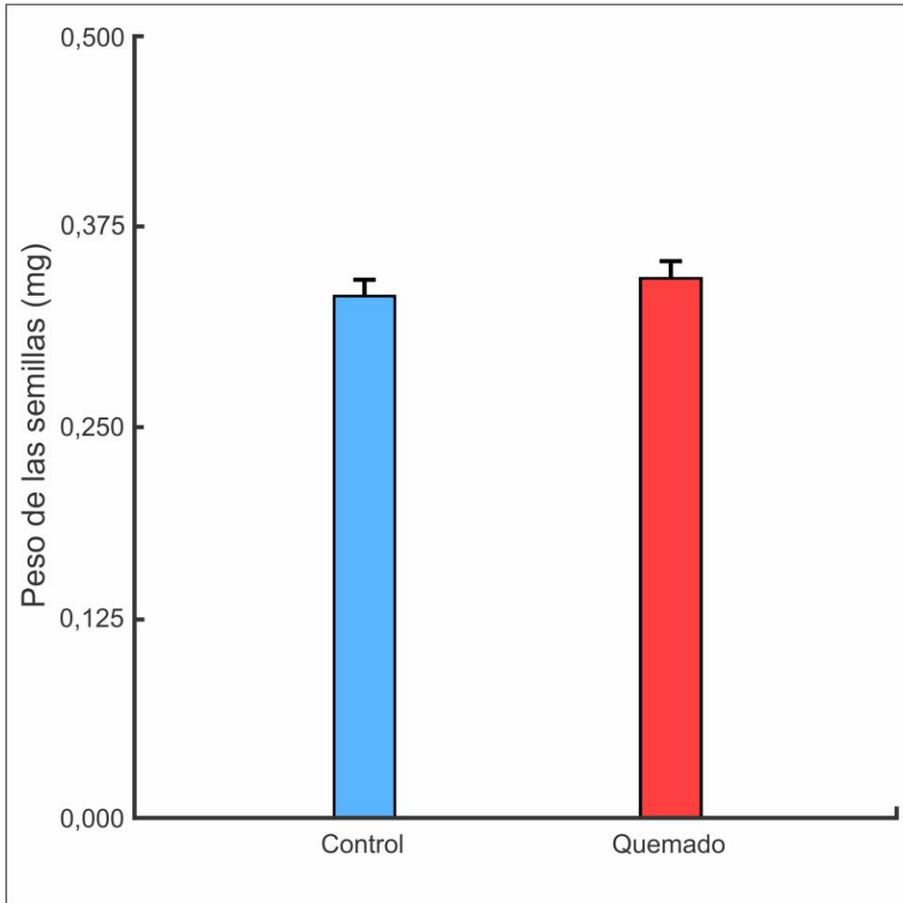


Figura 7- Peso de las semillas (media \pm E.E) en individuos quemados y control de *Gymnocalycium monvillei*. La media para individuos quemados fue 0,34 mg y de 0,33 mg para individuos control.

La producción total de semillas por cada planta varió entre 0 y 12.044 en individuos quemados y en individuos control entre 0 y 7.862 semillas. Cinco individuos no produjeron frutos, tres correspondientes al tratamiento quemado y dos controles. Si bien se observa una tendencia de mayor producción de semillas en individuos quemados que en aquellos que no fueron afectados por el fuego (Figura 8), la producción total de semillas no difirió significativamente entre el tratamiento y el control ($p = 0,5940$).

El diámetro inicial (cm) y la producción de semillas se correlacionaron significativamente (Figura 9). El diámetro inicial estuvo asociado positivamente a la producción de semillas tanto para el control ($r=0,5$; $p=0,004$) como para el estado quemado ($r=0,6$; $p = 0,0004$).

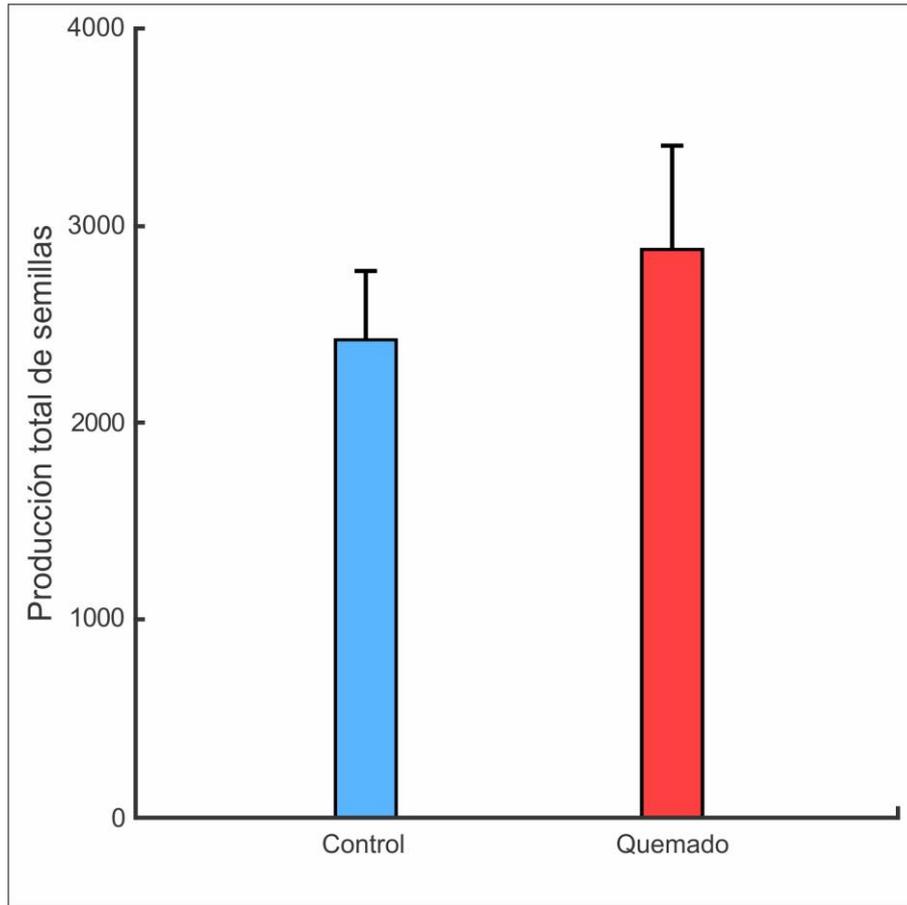


Figura 8- Producción total de semillas (media \pm E.E) en individuos quemados y control de *Gymnocalycium monvillei*. La media para individuos quemados fue 2591,80 semillas y de 2270,66 semillas para individuos control.

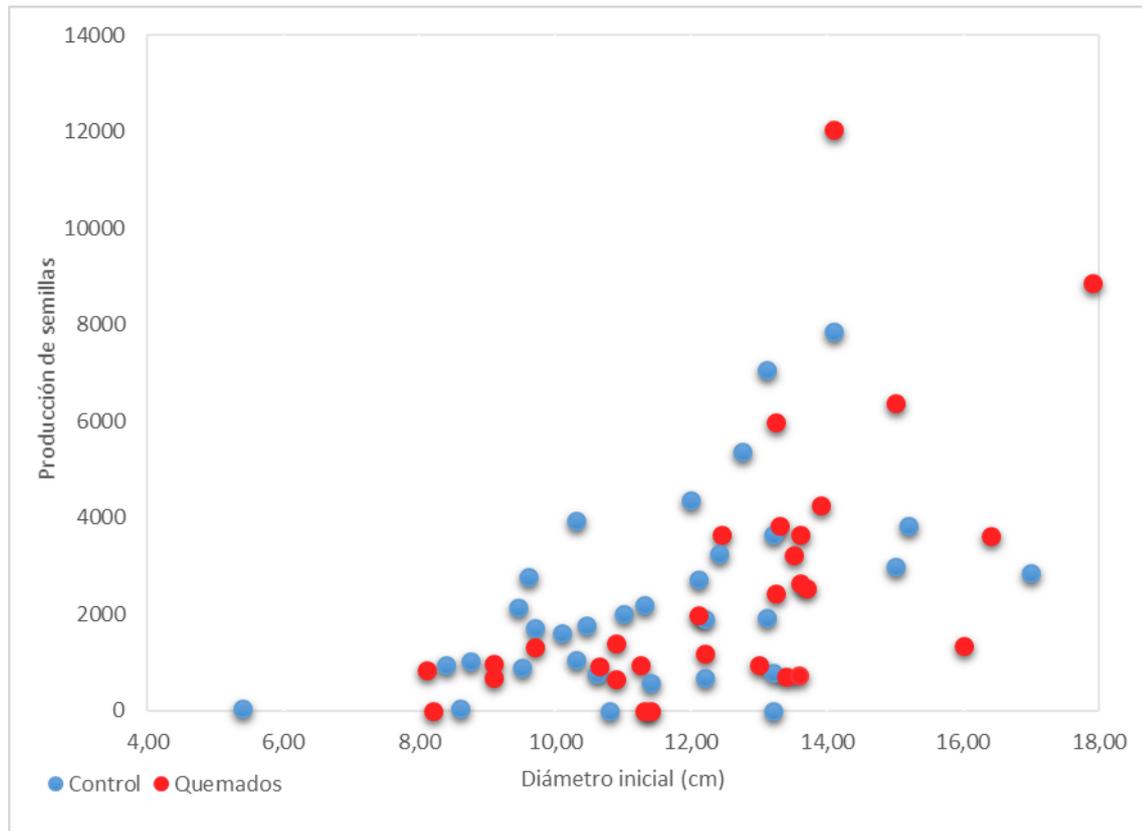


Figura 9- Correlación entre el diámetro inicial (cm) y la producción de semillas de *Gymnocalycium monvillei*: ● Individuos control ($r=0,5$; $p=0,004$); ● Individuos quemados ($r=0,6$; $p=0,0004$).

Germinación

El porcentaje final de germinación (G) no mostró diferencias significativas entre el estado quemado y control ($p=0,5501$) (Figura 10). El tiempo medio de germinación entre individuos afectados por el fuego y no afectados no fue significativamente diferente (valor $p=0,7572$). El tiempo en el que germinaron el 50% de las semillas varió entre 6 y 13 días en el estado quemado, mientras que los controles variaron entre 7 y 16 días. El valor promedio fue 9,24 días para individuos quemados y de 9,42 días para individuos control (Figura 11).

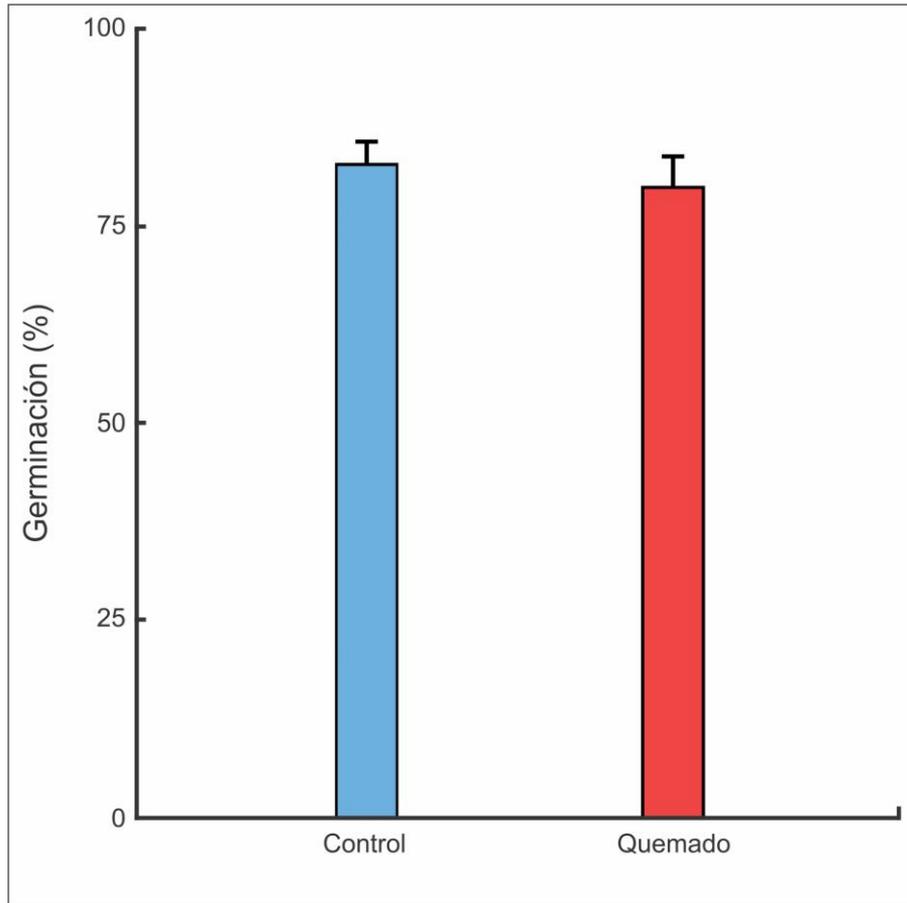


Figura 10- Porcentaje final de germinación (G; media \pm E.E) en individuos quemados y control de *Gymnocalycium monvillei*. La media para individuos quemados fue 79,94 % y de 82,87 % para individuos control.

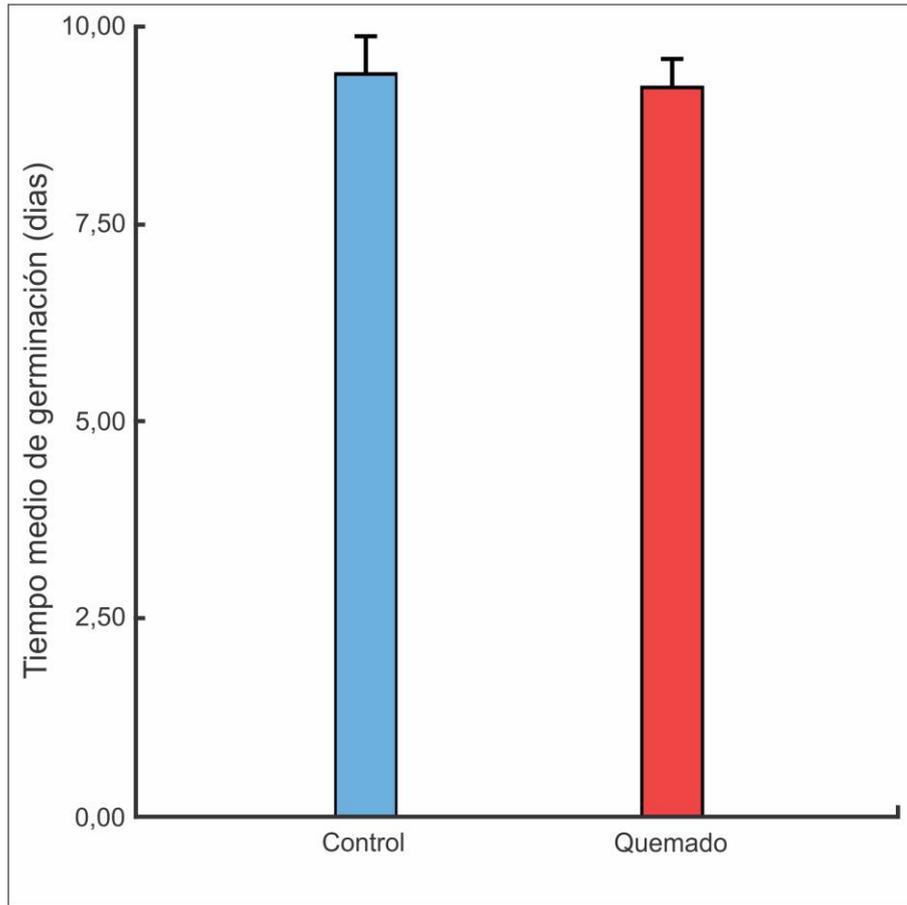


Figura 11- Tiempo medio de germinación (media \pm E.E) en individuos quemados y control de *Gymnocalycium monvillei*. La media para individuos quemados fue 9,24 días y de 9,42 días para individuos control.



Discusión

Los resultados aquí presentados dan evidencia de que el fuego no tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento, ni sobre las variables reproductivas consideradas de *Gymnocalycium monvillei*. Los mismos son coincidentes con lo que se podía esperar al tratarse de especies que habitan regiones donde el fuego es frecuente (Gurvich et al., 2015; Kowaljow et al., 2019), como así también por tratarse de cactus, en particular cactus globosos, que estos son más tolerantes a los incendios (Thomas, 2006).

El hecho de que el crecimiento post fuego en individuos afectados no haya diferido del de individuos no afectados por un incendio puede deberse a que en los cactus el meristema apical está bien protegido del calor por un pliegue del ápice y una corteza gruesa que presenta espinas, de modo que la reanudación del crecimiento es común después de un incendio (Thomas, 1991). La falta de correlación entre el diámetro inicial de los individuos y el crecimiento, es un patrón que se ha visto en algunas especies de cactus como *Echinopsis aurea* y *G. bruchii*, mientras que en otras especies como *Gymnocalycium mostii* y *Parodia mammulosam* sí se ha observado correlación (Zupichiatti, 2019). Esto indicaría que las relaciones entre el crecimiento post fuego y el tamaño de los individuos depende de las especies consideradas. Sería interesante explorar a qué características de dichas especies obedecen las diferencias en esta relación. Por otro lado, la observación que el diámetro inicial se correlacionara significativamente y positivamente con la producción de semillas, tanto para el control como para el tratamiento, podría deberse a que individuos de mayor tamaño cuentan con más recursos para destinarlos a la reproducción sexual (Díaz-Hernández et al., 2008).

Con respecto a que el peso de las semillas, como así también la producción total de semillas, no hayan tenido diferencias significativas entre individuos quemados y controles muestra similitud con los resultados del estudio de May (2006), donde el fuego no tuvo ningún efecto sobre aspectos reproductivos del cactus globoso *Echinocereus kuenzleri*. No así con otros trabajos, en especies que no son cactus, donde se ha visto que el fuego puede aumentar la floración y la producción de semillas en algunas especies (Wallace, 1966; Abbott & Loneragan, 1983; Lamont & Runciman, 1993; Whelan, 1995; Norden & Kirkman, 2004). Los hallazgos en las especies mencionadas estarían explicados porque la mayor disponibilidad de luz, resultante de la eliminación de material herbáceo como producto de los



incendios, podría haber estimulado la floración y la producción de semillas (Norden & Kirkman, 2004). En cuanto a que tanto el porcentaje final de germinación como el tiempo medio de germinación no mostraran diferencias significativas entre individuos afectados por el fuego y no afectados, muestran que el fuego no tuvo efectos sobre la calidad de las semillas. Es interesante destacar que no se encontraron estudios que hayan reportado datos similares a estos.

Los resultados muestran que la especie foco de estudio no se vio afectada por el fuego, al igual que en otras cactáceas globosas (Thomas, 2006; Gurvich et al., 2015; Zupichiatti, 2019), pero que, además, sus parámetros reproductivos y de crecimiento no fueron afectados. Esto se puede deber a que los cactus pueden sobrevivir a la quema a través de varios mecanismos. Pueden evitar el fuego, o al menos altas intensidades del mismo, ocupando refugios contra incendios, como afloramientos rocosos (Gurvich et al., 2014). Además debido a sus características epidérmicas y sus relaciones entre el volumen y la superficie, que les confieren alta inercia térmica, pueden resistir pulsos de calor y así proteger su floema y cambium (Thomas, 1991). Asimismo, un cactus puede producir nuevos brotes laterales a partir de meristemas en la porción restante del cuerpo no afectada o de las raíces después del fuego, en respuesta a una lesión o muerte (Roller y Halvorson, 1997).

Muchas especies de cactáceas y suculentas se encuentran en hábitats propensos a incendios recurrentes (Thomas, 1991), por lo que la respuesta al fuego es de gran interés. Si bien este trabajo muestra que *G. monvillei* tolera bien este disturbio se necesitan más estudios que incluyan otras especies de cactus y abordar aspectos que aún no se han estudiado como si existen diferencias en el establecimiento en condiciones post fuego o si la frecuencia e intensidad de incendios puede afectar la dinámica poblacional. Además, los antecedentes que existen (ej. Zupichiatti, 2019) sugieren que diferentes especies, incluso de cactus globosos, podrían tener diferentes respuestas ante los incendios, por lo que estos resultados no serían generalizables a los cactus globosos.

Conclusión

Este trabajo contribuye a expandir el conocimiento sobre la supervivencia y reproducción del cactus globoso *Gymnocalycium monvillei* expuesto a incendios. Se puede concluir que *G. monvillei* es una especie tolerante a incendios, ya que el fuego no afectó al crecimiento, ni a las variables reproductivas como la producción y peso de semillas, además tampoco tuvo un efecto sobre el porcentaje y el tiempo medio de germinación.



Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi director Dr. Diego E. Gurvich quien me acepto como tesinista y fue quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación. Gracias por el apoyo y dedicación que me brindó siempre.

También quiero agradecer a FONCyT, PICT N° 2016-0077 por financiar este estudio.

A Hebe Ibañez y Lihúen Barroso, quienes desde el primer momento me brindaron su amistad y fueron de gran apoyo tanto en el trabajo a campo como en el laboratorio.

A mi familia y amigos quienes siempre estuvieron ahí para darme palabras de aliento. En especial, quiero hacer mención a mis padres, que a través de su amor, paciencia y buenos valores ayudaron a trazar mi camino.

Por último, quiero agradecer a Agustín por su compañía incondicional, quien con su amor y respaldo, me ayudó a alcanzar mis objetivos.

Muchas gracias a todos.



Bibliografía

- Abbott, I., & Loneragan, O. (1983). Influence of fire on growth rate, mortality, and butt damage in Mediterranean forest of Western Australia. *Forest Ecology and Management*, 6(2), 139-153.
- Baloch, H. A., Di Tommaso, A., & Watson, A. K. (2001). Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Science Research*, 11(4), 335-343.
- Bauk, K., Pérez-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.
- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution*, 20(7), 387-394.
- Bowers, J. E., & Pierson, E. A. (2001). Implications of seed size for seedling survival in *Carnegiea gigantea* and *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae). *The Southwestern Naturalist*, 272-281.
- Bravo-Hollis, H. (1978). *Las cactáceas de México: Vol. I*. Universidad nacional de México.
- Bu, H., Chen, X., Xu, X., Liu, K., Jia, P., & Du, G. (2007). Seed mass and germination in an alpine meadow on the eastern Tsinghai–Tibet plateau. *Plant Ecology*, 191(1), 127-149.
- Capitanelli, R. G. (1979). Clima. *Geografía física de la provincia de Córdoba*, 45-138.
- Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 19(3), 44-53.
- Daws, M. I., Ballard, C., Mullins, C. E., Garwood, N. C., Murray, B., Pearson, T. R., & Burslem, D. F. (2007). Allometric relationships between seed mass and seedling characteristics reveal trade-offs for neotropical gap-dependent species. *Oecologia*, 154(3), 445-454.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2018). InfoStat. *Software Estadístico*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>.
- Díaz-Hernández, H., Navarro-Carbajal, M. C., & Rodríguez-Mendoza, C. A. (2008). Aspectos de la morfometría y fenología reproductiva de *Echinocactus platyacanthus* en la



- Barranca Huexotitlanapa en Tecali de Herrera, Puebla. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 53(4), 100-107.
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1978). Towards a rational basis for testing seed quality. *Proceedings-Easter School in Agricultural Science, University of Nottingham*.
- 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* heathy-woodland in Victoria, SE Australia. *Austral Ecology*, 26(2), 132-141.
- Eugenio, M., & Lloret, F. (2004). Fire recurrence effects on the structure and composition of Mediterranean *Pinus halepensis* communities in Catalonia (northeast Iberian Peninsula). *Ecoscience*, 11(4), 446-454.
- Fulé, P. Z., & Laughlin, D. C. (2007). Wildland fire effects on forest structure over an altitudinal gradient, Grand Canyon National Park, USA. *Journal of Applied Ecology*, 44(1), 136-146.
- Gavier, G. I., & Bucher, E. H. (2004). Deforestación de las Sierras Chicas de Córdoba (Argentina) en el período 1970-1997 (Vol. 101, pp. 1-27). Córdoba: Academia nacional de ciencias.
- Gibson, A. C., & Nobel, P. S. (1986). *The cactus primer*. Harvard University Press.
- Giorgis, M. A., Cingolani, A. M., & Cabido, M. R. (2013). El efecto del fuego y las características topográficas sobre la vegetación y las propiedades del suelo en la zona de transición entre bosques y pastizales de las sierras de Córdoba, Argentina.
- Giorgis, M. A., Cingolani, A. M., Chiarini, F., Chiapella, J., Barboza, G., Ariza Espinar, L., ... & Cabido, M. (2011). Composición florística del Bosque Chaqueño Serrano de la provincia de Córdoba, Argentina. *Kurtziana*, 36(1), 9-43.
- Giorgis, M. A., Cingolani, A. M., Gurvich, D. E., & Astegiano, J. (2015). Flowering phenology, fruit set and seed mass and number of five coexisting *Gymnocalycium* (Cactaceae) species from Córdoba mountain, Argentina. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 142(3), 220-231.
- Gurvich, D. E., Demaio, P., & Giorgis, M. A. (2006). The diverse globose cactus community of Argentina's Sierras Chicas Ecology and conservation. *Cactus and Succulent Journal*, 78(5), 224-231.
- 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 Areas 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 African Journal of Botany*, 93, 142-147.
- Gurvich, D. E., Zupichiatti, V., Whitworth-Hulse, J. I., & Zeballos, S. (2015). Are Wildfires a Threat for Globose Cacti in the Córdoba Mountains, Central Argentina?. *Cactus and Succulent Journal*, 87(6), 273-277.
- Harper, J. L. (1977). Population biology of plants. *Population biology of plants*.
- Hendrix, S. D. (1984). Variation in seed weight and its effects on germination in *Pastinaca sativa* L.(Umbelliferae). *American Journal of Botany*, 71(6), 795-802.
- International Seed Testing Association. (1985). International rules for seed testing. Rules 1985. *Seed science and technology*, 13(2), 299-513.
- Kasischke, E. S., Christensen Jr, N. L., & Stocks, B. J. (1995). Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests. *Ecological applications*, 5(2), 437-451.
- Keeley, J. E. (2012). Fire in Mediterranean climate ecosystems—a comparative overview. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 58(2-3), 123-135.
- 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 a seasonal subtropical dry forest. *Land degradation & development*, 30(3), 266-277.
- Lamont, B. B., & Runciman, H. V. (1993). Fire may stimulate flowering, branching, seed production and seedling establishment in two kangaroo paws (Haemodoraceae). *Journal of Applied Ecology*, 256-264.
- Leishman, M. R., Wright, I. J., Moles, A. T., & Westoby, M. (2000). The evolutionary ecology of seed size. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, 2, 31-57.
- Long, R. L., Gorecki, M. J., Renton, M., Scott, J. K., Colville, L., Goggin, D. E., ... & Finch-Savage, W. E. (2015). The ecophysiology of seed persistence: a mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews*, 90(1), 31-59.
- May, BC (2006). The effects of fire on the hedgehog cactus of Kuenzler (doctoral dissertation, Texas Tech University).
- Nobel, P. S. (Ed.). (2002). *Cacti: biology and uses*. Univ of California Press.



- Norden, A. H., & Kirkman, L. K. (2004). Factors controlling the fire-induced flowering response of the federally endangered *Schwalbea americana* L. (Scrophulariaceae). *Journal of the Torrey Botanical Society*, 16-22.
- Ortega-Baes, P., & Godínez-Alvarez, H. (2006). Global diversity and conservation priorities in the Cactaceae. *Biodiversity & Conservation*, 15(3), 817-827.
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., Maturo, H. M., Aragón, R., Campanello, P. I., Prado, D., Oesterheld, M. & León, R. J.C (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología austral*, 28(1), 040-063.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry* Freeman New York. *Biometry*, 3rd ed. *Freeman, New York*.
- Soltani, E., Ghaderi-Far, F., Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2016). Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. *Australian Journal of Botany*, 63(8), 631-635.
- Spurr, S. H., & Barnes, B. V. (1980). *Ecología Forestal*. 1ª. Edición en español. AGT Editor, SA México, DF.
- Thomas, P. A. (1991). Response of succulents to fire: a review. *International Journal of Wildland Fire*, 1(1), 11-22.
- Thomas, P. A. (2006). Mortality over 16 years of cacti in a burnt desert grassland. *Plant Ecology*, 183(1), 9-17..
- Thomas, P. A., & Goodson, P. (1992). Conservation of succulents in desert grasslands managed by fire. *Biological Conservation*, 60(2), 91-100.
- Wallace, W. R. (1966). Fire in the jarrah forest environment. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 49(2), 33-44.
- Werner, P. A., & Platt, W. J. (1976). Ecological relationships of co-occurring goldenrods (Solidago: Compositae). *The American Naturalist*, 110(976), 959-971.
- Westerling, A. L., Hidalgo, H. G., Cayan, D. R., & Swetnam, T. W. (2006). Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science*, 313(5789), 940-943.
- Westoby, M., Jurado, E., & Leishman, M. (1992). Comparative evolutionary ecology of seed size. *Trends in Ecology & Evolution*, 7(11), 368-372.
- Whelan, R. J. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge university press.
- Zupichiatti, V. E. (2019). *Supervivencia y crecimiento post fuego en cuatro especies de cactus globosos en las Sierras Chicas (Córdoba, Argentina)* (Tesis de grado).