



ECOFISIOLOGÍA DE LA GERMINACIÓN DE TRES MALEZAS EFÍMERAS PERIURBANAS EN MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

GERMINATION ECOPHYSIOLOGY FOR THREE PERI-URBAN EPHEMERAL WEEDS FROM MORELIA, MICHOACÁN, MEXICO

D. Nayeli Martínez^{1,2}  y Erick de la Barrera^{*2} 

¹ Facultad de Ciencias Biológicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 72000, México.

² Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán, 58190, México.

*Autor para correspondencia: delabarrera@unam.mx

Manuscrito recibido el 29 de abril de 2019. Aceptado, tras revisión, el 10 de diciembre de 2019. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

Se determinaron las características ambientales que conducen a la germinación de tres especies comunes encontradas durante la temporada de lluvias entre junio-octubre de 2009 en un área periurbana de Morelia, Michoacán, México, donde se llevaba a cabo la construcción de un campus de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En particular, se evaluaron en el laboratorio las respuestas a la estratificación a baja temperatura, la temperatura del aire en el día/noche y el potencial de agua para los nativos *Onagraceae Lopezia racemosa* y *Ludwigia octovalvis*, y las exóticas *Polygonaceae Rumex crispus*. La estratificación a baja temperatura no tuvo ningún efecto sobre la germinación por *L. racemosa*, para lo cual la germinación máxima promedio 88% fue óptima a 25/15 y 30/20 °C. La germinación a 21 d se redujo a la mitad a -0,5 MPa e inhibió por completo a -1,0 MPa. Las semillas de *L. octovalvis* tampoco mostraron sensibilidad a la estratificación a baja temperatura y su germinación nunca superó el 70%, siendo las dos temperaturas más altas de 30/20 y 35/25 °C las óptimas. Para esta especie la germinación fue máxima a 0,0 MPa, disminuyendo significativamente bajo cada tratamiento con una germinación mínima del 21% para las semillas incubadas a -0,1 MPa. La germinación para *R. crispus* se retrasó por la estratificación a baja temperatura, aunque todas sus semillas germinaron independientemente de la temperatura o el tratamiento potencial de agua. Si bien los requisitos ambientales para la germinación de especies efímeras a menudo coinciden con el clima típico de su temporada de crecimiento, las respuestas diferenciales encontradas para las especies consideradas en el presente estudio proporcionan una cierta visión de los mecanismos que conducen a cambios en la composición de las especies para las comunidades de ambientes perturbados, incluyendo el desplazamiento de especies nativas y la proliferación de plantas exóticas y potencialmente invasoras.

Palabras clave: Especies invasoras, ecofisiología reproductiva, estratificación, temperatura, ecología urbana, potencial hídrico.

Abstract

The environmental requirements leading to germination were determined by three common species found during the June-October 2009 rainy season in a peri-urban site from Morelia, Michoacán, Mexico, where the construction of a campus of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) was underway. In particular, we evaluated responses in the laboratory to low-temperature stratification, day/night air temperature, and water potential for the native Onagraceae *Lopezia racemosa* and *Ludwigia octovalvis*, and the exotic Polygonaceae *Rumex crispus*. Low-temperature stratification had no effect on germination by *L. racemosa*, for which maximum germination averaging 88% was optimal at 25/15 and 30/20 °C. Germination at 21 d was halved at -0.5 MPa and completely inhibited at -1.0 MPa. The seeds of *L. octovalvis* were also insensitive to low temperature stratification and their germination never exceeded 70%, with the two highest temperatures of 30/20 and 35/25 °C being the optimum. For this species germination was maximal at 0.0 MPa, decreasing significantly under every treatment with a minimum germination of 21% for seeds incubated at -0.1 MPa. Germination for the exotic *R. crispus* was delayed by low-temperature stratification, although all its seeds germinated regardless of the temperature or water potential treatment. While the environmental requirements for germination of ephemeral species often match the typical climate of their growing season, the differential responses found for the species considered in the present study provide some insight into the mechanisms leading to changes in species composition for communities from disturbed environments, including the displacement of native species and the proliferation of exotic, potentially invasive plants.

Keywords: Invasive species, reproductive ecophysiology, stratification, temperature, urban ecology, water potential.

Forma sugerida de citar: Martínez, D.N. y De la Barrera, E. (2020). Ecofisiología de la germinación de tres malezas efímeras periurbanas en Morelia, Michoacán, México. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 31(1):47-55. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.03>.

IDs Orcid:

D. Nayeli Martínez: <http://orcid.org/0000-0002-5927-4781>

Erick de la Barrera: <http://orcid.org/0000-0002-0073-3410>

1 Introducción

La composición de las especies de las comunidades vegetales anuales y efímeras puede cambiar sustancialmente de un año a otro (Cousens y Mortimer, 2009; Chaideftou y col., 2012). Las identidades de las especies observadas en una determinada temporada de crecimiento dependen de las especies que están presentes en el banco de semillas o que tienen estructuras de regeneración latentes en el suelo, pero su aparición se modula en gran medida por sus interacciones con el ambiente.

De hecho, la temperatura prevalente y el agua disponible pueden desencadenar la germinación en varios momentos durante la temporada de crecimiento de un año en particular o a lo largo de varios años (De la Barrera, Pimienta-Barrios y Schöndube, 2009), mediado por características estructurales (como una testa gruesa) (Debeaujon, Léon-Kloosterziel y Koornneef, 2000; Dübbern de Souza y Marcos-Filho, 2001; Rowarth, Hampton e Hill, 2007) o rasgos fisiológicos de las semillas (como la necesidad de vernalización en frío) (Larcher, 2001; Fenner y Thompson, 2005) que determinan tanto el momento como la tasa de germinación.

En este sentido, las condiciones ambientales creadas en hábitats resultantes de la tala con fines agrícolas, viales, urbanísticos, etc., pueden restringir la persistencia de especies autóctonas en las comunidades vegetales, el establecimiento de especies, nativas o no, que puedan tolerar e incluso prosperar bajo condiciones adversas (Cousens y Mortimer, 2009; Dekker, 2016). De hecho, la modificación del ambiente por acciones humanas es una amenaza importante para la biodiversidad mundial (Sala y col., 2000; Rockström y col., 2009).

Este es un tema de especial preocupación en México, uno de los doce países de mayor diversidad, y el cual está experimentando una rápida pérdida de cobertura vegetal. De hecho, mientras que en 1976 el 62 % de la superficie del país contaba con cobertura vegetal, en el 2002 apenas el 38 % tenía vegetación (De la Barrera y Andrade, 2005; Challenger y Dirzo, 2009).

Tres especies que se encuentran comúnmente en áreas perturbadas en México son las nativas Onagraceae *Lopezia racemosa* y *Ludwigia octovalvis*,

y la exótica Polygonaceae *Rumex crispus* (Calderón y Rzedowski, 2004; Vibrans y Tenorio-Lezama, 2012). *Lopezia racemosa* en varios tipos de vegetación, incluyendo bosques de coníferas, robles y bosques nublados, además de pastizales y matorrales de espinas.

Ludwigia octovalvis se limita principalmente a sitios con alta humedad del suelo como ecosistemas ribereños y a lo largo de los canales de riego. A su vez, *R. crispus*, que es nativa de Eurasia, se ha convertido en una maleza común en todo el mundo, especialmente en las zonas templadas del hemisferio norte. Estas tres especies fueron elementos abundantes y comunes de la flora efímera de nuestro campus universitario, durante la temporada de crecimiento de verano de 2009 (observaciones inéditas).

Situado en un sitio periurbano, el campus se construyó en 2005 en una antigua plantación de eucaliptos y ha estado en construcción para albergar diversas entidades académicas, lo que hace de su flora efímera un tema interesante de investigación a medida que cambia a lo largo de los años. Con el fin de determinar las condiciones ambientales que conducen a la germinación de semillas por *L. racemosa*, *L. octovalvis*, y *R. crispus*, se seleccionaron tres plantas efímeras de un sitio periurbano con diferentes nichos ecológicos, para llevar a cabo una serie de experimentos de ambiente controlado con el propósito de determinar las relaciones de temperatura y la influencia del potencial hídrico en el tiempo y la tasa de germinación.

2 Materiales y Métodos

Se recolectaron las semillas de *Lopezia racemosa* Cav. (Onagraceae; en adelante denominada *Lopezia*), *Ludwigia octovalvis* (Jacq.) Raven (Onagraceae; *Ludwigia*), y *Rumex crispus* L. (Polygonaceae; *Rumex*) durante la temporada de crecimiento de junio-octubre de 2009 de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus de Morelia (19°38'55.9" N; 101°13'45" O; 1967 m), donde la falta de construcción y jardinería permitió el establecimiento de la vegetación.

Se recolectaron las semillas de al menos 7 individuos por especie agitando el tallo principal de

las plantas. Las semillas liberadas se colocaron en bolsas de tela y se mezclaron en una muestra compuesta, luego se guardaron en bolsas de papel negro y se almacenaron en el Laboratorio de Ecofisiología Agraria, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM (en la oscuridad a 23 °C, 40% de humedad relativa) hasta que se utilizaron en un plazo de 6 meses. Las semillas se enjuagaron con agua corriente durante 48 horas inmediatamente antes del comienzo de cada experimento.

La germinación se estudió en unidades experimentales compuestas por 25 semillas colocadas en cajas petri de plástico (55 mm de diámetro, 15 mm de alto) a los que se colocaron dos capas de papel de filtro estéril como sustrato. Por lo general, se añadieron 5 ml de agua destilada estéril a cada caja petri, con agua adicional que se añadió en el transcurso de los experimentos para mantener el papel del filtro.

Las cajas petri se colocaron en una cámara de germinación I-35LL equipada con tubos de luz fluorescentes (Percival Scientific, Boone, Iowa, EE.UU.) bajo un fotoperiodo de 12 h, generalmente a una temperatura diurna/noche de 20/10 °C. La germinación, que se registró como semillas con protrusión del radio, se evaluó diariamente hasta que no se produjo ninguna germinación adicional.

Las respuestas de germinación de la estratificación a baja temperatura se evaluaron colocando una muestra de semillas a 8 °C durante 3 meses y su germinación se comparó con la de un control de las semillas no tratadas. El efecto de la temperatura del aire en la germinación se evaluó para las semillas incubadas bajo temperaturas de aire diurna/noche de 20/10, 25/15, 30/20 o 35/25 °C. A su vez, se evaluó el efecto del potencial hídrico en la germinación para semillas incubadas en potenciales hídricos de 0,00, -0,01, -0,05 y -0,1 MPa que se crearon con soluciones acuosas de polietilenglicol (PEG; peso molecular de 20.000) de diversas concentraciones que se determinaron siguiendo lo expresado por Michel y Radcliffe, 1985.

Se utilizaron doce réplicas de 25 semillas cada una para cada medición. Los análisis estadísticos para la aparición de la germinación, es decir, el primer día significativamente superior al 0%, consistieron en una prueba de Mann-Whitney U (alfa

0,05) para la estratificación y una prueba Kruskal-Wallis (alfa 0,05) para la temperatura y el potencial de agua, los cuales se realizaron con Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). Además, el proceso de germinación se analizó con una prueba de Friedman, seguida de pruebas *post hoc* de Tukey (alfa 0,05) realizadas con SigmaStat 3.5 (Systat Software, Richmond, California, EE. UU.).

3 Resultados

3.1 *Lopezia racemosa*

La estratificación a baja temperatura no tuvo ningún efecto sobre la germinación de *Lopezia* (Tabla 1; Fig. 1A). Tanto para el control como para las semillas tratadas, el inicio de la germinación promedió de 6,2 a 0,7 días después del inicio del experimento. A su vez, la germinación máxima de esta especie promedió 78,7 ± 1,6% después de 21 días del inicio del experimento.

El régimen de temperatura, a su vez, tuvo un efecto significativo en la germinación de *Lopezia* (Tabla 1; Fig. 1D). Por ejemplo, el inicio de la germinación se produjo después de un día de haber iniciado el experimento para las semillas incubadas por debajo de 25/15 °C, después de dos días para la temperatura de 30/20 y 35/25 °C, y seis días para desencadenar la germinación de las semillas de *L. racemosa* incubadas por debajo de 20/10 °C. La germinación final promedió 87,7 ± 2,7% para las semillas incubadas por debajo de 25/15 y 30/20 °C y fue 79,0 ± 2,0 y 76,0 ± 1,3% menos para las que fueron incubadas bajo los tratamientos extremos de 20/10 y 35/25 °C, respectivamente.

La germinación de *Lopezia* respondió al potencial hídrico (Tabla 1; Fig. 1G). El inicio de la germinación se produjo 2 días después de haber iniciado el experimento para semillas incubadas bajo 0,0 MPa, al día siguiente para las de 0,01 MPa, y en el día seis para los de -0,05 MPa, mientras que las semillas incubadas por debajo de -0,10 MPa no pudieron germinar. La germinación final fue 91,33 ± 1,69% observada después del 21 d de iniciado el experimento fue la mayor para las semillas incubadas por debajo de 0,00 MPa, disminuyendo bajo potenciales hídricos cada vez más negativos hasta obtener un mínimo de 41,67 ± 1,94% para las semillas incubadas a -0,05 MPa.

Tabla 1. Parámetros de germinación para las malezas efímeras *Lopezia racemosa*, *Ludwigia octovalvis* y *Rumex crispus*. El inicio de la germinación (primer día estadísticamente diferente a cero) se evaluó con pruebas de Mann-Whitney U (alfa = 0,05), y los experimentos de la temperatura y potencial de agua con las pruebas de estratificación y Kruskal-Wallis (alfa = 0,05). A su vez, la germinación final se evaluó con pruebas de Tukey después de una prueba de medidas repetidas de Friedman. Los datos se muestran como medias \pm S.E. (n =12 platos de petri con 25 semillas cada uno).

	Germinación de la semilla				
	Inicio (días luego de haber iniciado el experimento)		Máximo porcentaje de germinación		
<i>Lopezia racemosa</i>	Control de la estratificación	6,5 \pm 0,31	a	79,0 \pm 1,98	a
		6,0 \pm 0,0	a	77,3 \pm 2,62	a
	20/10°C	6,5 \pm 0,31	a	79,0 \pm 1,98	a
	25/15°C	1,0 \pm 0,0	b	85,3 \pm 2,48	b
	30/20°C	2,3 \pm 0,14	c	90,0 \pm 3,53	b
	35/25°C	2,0 \pm 0,0	c	76,0 \pm 1,3	c
	-0,00 MPa	2,3 \pm 0,14	a	91,3 \pm 1,69	a
	-0,01 MPa	3,0 \pm 0,0	a	88,0 \pm 1,78	b
	-0,05 MPa	6,1 \pm 0,47	b	41,7 \pm 1,94	c
	-0,10 MPa	11,0 \pm 0,58	b	1,0 \pm 0,52	d
<i>Ludwigia octovalvis</i>	Control de la estratificación	11,1 \pm 0,74	a	40,3 \pm 3,46	a
		8,8 \pm 0,65	b	41,3 \pm 3,28	b
	20/10°C	11,1 \pm 0,74	a	40,3 \pm 3,46	a
	25/15°C	4,6 \pm 0,15	ab	43,7 \pm 2,85	b
	30/20°C	3,8 \pm 0,11	bc	61,7 \pm 4,52	c
	35/25°C	2,0 \pm 0,0	c	68,0 \pm 2,99	d
	-0,00 MPa	3,2 \pm 0,24	a	76,0 \pm 3,38	a
	-0,01 MPa	3,8 \pm 0,17	ab	64,0 \pm 1,97	b
	-0,05 MPa	5,2 \pm 0,24	bc	47,3 \pm 2,73	c
	-0,10 MPa	7,2 \pm 0,41	c	20,7 \pm 1,08	d
<i>Rumex crispus</i>	Control de la estratificación	1,0 \pm 0,0	a	100,0 \pm 0,0	a
		1,0 \pm 0,0	a	100,0 \pm 0,0	b
	20/10°C	1,0 \pm 0,0	a	100,0 \pm 0,0	a
	25/15°C	1,0 \pm 0,0	a	100,0 \pm 0,0	b
	30/20°C	1,8 \pm 0,37	a	99,3 \pm 0,45	a
	35/25°C	1,1 \pm 0,08	a	99,7 \pm 0,33	b
	-0,00 MPa	2,2 \pm 0,17	a	100,0 \pm 0,0	a
	-0,01 MPa	2,4 \pm 0,15	a	100,0 \pm 0,0	ab
	-0,05 MPa	2,8 \pm 0,11	ab	99,7 \pm 0,33	b
	-0,10 MPa	3,2 \pm 0,11	b	100,0 \pm 0,0	c

3.2 *Ludwigia octovalvis*

La estratificación a baja temperatura favoreció la germinación de *Ludwigia* (Tabla 1; Fig. 1B). De hecho, el inicio de la germinación se observó 11,1 \pm 0,7 días después del inicio del experimento para el control, mientras que las semillas tratadas germinaron 2,3 días antes. Además,

mientras que la germinación final después de 21 días de incubación fue similar para ambos grupos de semillas, ésta ocurrió a un ritmo más rápido para las semillas estratificadas.

El régimen de temperatura tuvo un efecto significativo en la germinación de *Ludwigia* (Tabla 1; Fig. 1E).

En particular, el inicio de la germinación aumentó con la temperatura del aire y osciló entre 2,0 días después de iniciado el experimento para las semillas incubadas a 35/25 °C, y 9 días más tarde para las semillas bajo el régimen de temperatura más baja de 20/10 °C. La germinación final a los 21 días después de iniciado el experimento también fue mayor y se produjo a un ritmo más rápido con el aumento de la temperatura; por ejemplo, el 68,0 ± 3,0% de las semillas germinadas cuando se incuban por debajo de 35/25 °C, mientras que apenas un 40,3 ± 3,5% germinó por debajo de 20/10 °C.

El potencial hídrico afectó significativamente la germinación de *Ludwigia* (Tabla 1; Fig. 1H). La aparición de la germinación, que se produjo a los 3,5 ± 1,6 en las semillas expuestas a 0,0 o -0,01 MPa, se retrasó hasta 4 días con menor potencial de agua. A su vez, la germinación final a los 21 días posteriores de haber iniciado el experimento también fue más alta y más rápida con menores potenciales de agua, oscilando entre el 76,0 ± 3,4% para las semillas incubadas a 0,0 MPa y 20,7 ± 1,1% para aquellas incubadas a -0,1 MPa.

3.3 *Rumex crispus*

La estratificación a baja temperatura retardó la germinación en *Rumex* (Tabla 1; Fig. 1C). El inicio de la germinación se produjo el primer día de haber iniciado el experimento, independientemente de si las semillas habían estado expuestas o no a una temperatura del aire de 8 °C durante tres meses. La germinación máxima después de 21 días de incubación tampoco se vio afectada, alcanzando el 100,0 ± 0,0%. Sin embargo, la germinación máxima se alcanzó más rápido en semillas no tratadas.

La temperatura de incubación no afectó el inicio de la germinación de *Rumex*, que se produjo entre 1,2 ± 0,1 días después de iniciado el experimento, independientemente del tratamiento; o la germinación final a los 21 días de la incubación, alcanzando el 99,7 ± 0,2% (Tabla 1; Fig. 1F). Sin embargo, las temperaturas más altas llevaron a una tasa de germinación más rápida, ya que las semillas incubadas a 25/15 y 35/25 °C alcanzaron la máxima de germinación antes que las expuestas a 20/10 °C.

El inicio de la germinación de *Rumex* fue a los 2,5 ± 0,1 días de haber iniciado el experimento, y sólo se retrasó significativamente para las semillas incubadas bajo un potencial hídrico de -0,1 MPa, demorando hasta un día más (Tabla 1; Fig. 1I). La germinación final de 99,9 ± 0,1

% después de 21 días de incubación tampoco se vio afectada por los potenciales hídricos evaluados, pero la tasa fue más lenta bajo los potenciales de hídricos más negativos. Por ejemplo, se necesitaron entre 3 y 5 días para alcanzar la germinación final de semillas expuestas a 0,0 o -0,01 MPa y hasta 12 días para las incubadas por debajo de -0,10 MPa.

4 Discusión

La identidad de las especies que cohabitan en una comunidad sometida a perturbaciones depende de las especies que se encontraban originalmente presentes en el banco de semillas y cómo responden a las nuevas condiciones ambientales. De hecho, es probable que la germinación de especies con preferencia a los sitios abiertos por la perturbación (Grime, 2006; Del-Val y col., 2015; Gorgone-Barbosa y col., 2016). En el presente estudio, tanto la maleza exótica *Rumex* como la nativa *Lopezia* germinaron bajo todas las condiciones experimentales, aunque su germinación se retrasó o disminuyó bajo los tratamientos más extremos. Por el contrario, la germinación de *Ludwigia*, especialista en ambientes de alta humedad, sólo superó el 50% bajo los tratamientos más benignos. Las distintas respuestas observadas en especies que habitan el mismo lugar, permiten identificar posibles tendencias en la composición de comunidades vegetales expuestas a la perturbación.

Las especies de regiones con marcada estacionalidad, es decir, con estaciones secas y húmedas o con períodos prolongados de sub-congelación, a menudo muestran una latencia embrionaria que puede retrasar el inicio de la germinación hasta la siguiente temporada, favorable al establecimiento de plántulas (Donohue y col., 2010). Para estas plantas, la germinación normalmente se mejora al exponer las semillas a bajas temperaturas durante varias semanas, evitando la germinación durante el invierno cuando las bajas temperaturas pueden ser letales para las plántulas, incluso si se produce alguna precipitación.

Este parece ser el caso de *Ludwigia* cuyas semillas estratificadas germinaron 2 días más rápido que las semillas no tratadas, de acuerdo con estudios previos con *L. alternifolia* y *L. decurrens* (Baskin y Baskin, 1988). Sin embargo, este no fue el caso de *Lopezia* ni de *Rumex*, lo que sugiere que carecen de latencia primaria o que se había superado durante el almacenamiento (Totterdell y Roberts, 1979; Chi, 2006; Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

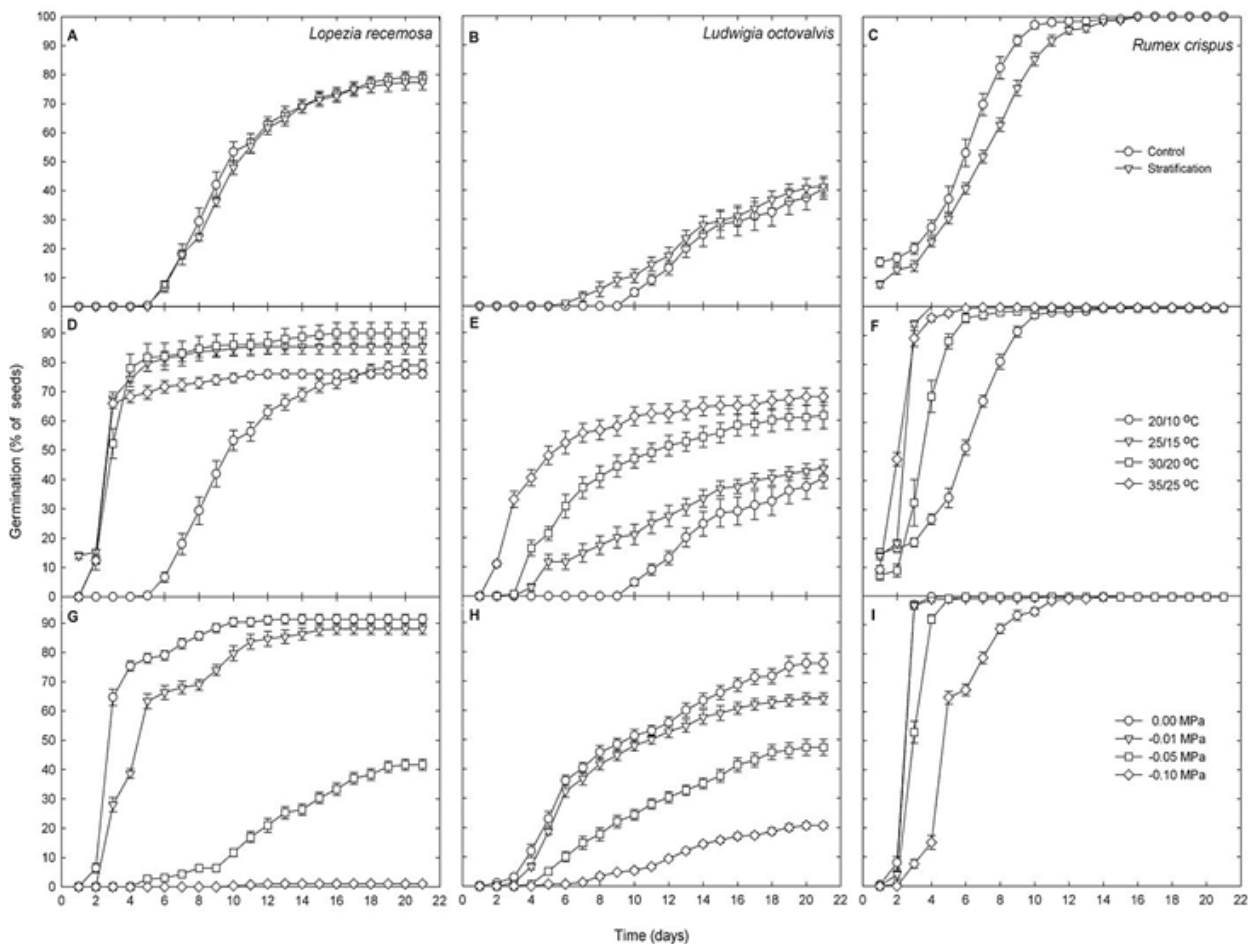


Figura 1. Germinación para las malezas efímeras *Lopezia racemosa* (A, D, G), *Ludwigia octovalvis* (B, E, H) y *Rumex crispus* (C, F, I), en respuesta a la estratificación a baja temperatura (A-C), la temperatura del aire día/noche (D-F) y el potencial del agua (G-I). Los datos se muestran como medias \pm SE (n = 12 platos de petri con 25 semillas cada uno).

Las temperaturas más altas aceleraron y aumentaron la germinación final de las especies consideradas en el presente trabajo. Sin embargo, la temperatura más alta condujo a la germinación más baja en *Lopezia*. Se observó una respuesta similar en las semillas de *Ludwigia* que fueron las más sensibles, cuya germinación mejoró con la temperatura hasta que alcanzó un óptimo seguido de una inhibición de la germinación. A su vez, la exótica *Rumex* alcanzó la máxima germinación independientemente de la temperatura de incubación, confirmando que muchas malezas son capaces de tolerar e incluso prosperar bajo altas temperaturas, un rasgo ventajoso para la supervivencia condiciones ambientales extremas del suelo desnudo (Dahlquist, Prather y Stapleton, 2007; Baskin y Baskin, 2014).

La germinación tendió a disminuir a medida que los potenciales hídricos de incubación se volvían más negativos, especialmente por debajo de $-0,05$ MPa, lo que es similar a las respuestas de otras especies como *Campsis radicans* (Chachalis y Reddy, 2000). Por el contrario, la germinación de *Rumex* fue máxima, independientemente del potencial hídrico, en comparación con el comportamiento de germinación de *R. acetosella*, que alcanzó el 90% de germinación por debajo de $-0,1$ MPa (Fani y col., 2013). Teniendo en cuenta que se requieren grandes cantidades de agua para mantener el alargamiento celular de las plantas después de la germinación, especialmente para las especies que escapan o evitan la sequía completando su ciclo de vida durante la temporada de lluvias, podría resultar ventajoso restringir la germinación a tiempos en que un potencial de agua adecuadamente alto indique que la

temporada de lluvias está en marcha o que al menos se almacena suficiente agua en el suelo, lo cual permitirá el desarrollo de la plántula (De la Barrera, Pimienta-Barrios y Schondube, 2009). Sin embargo, los potenciales hídricos evaluados en este estudio corresponden a una cantidad aproximada de 7 días después de suspender el riego en un suelo arenoso-limoso, muy por encima del punto de marchitamiento permanente de $-1,5$ MPa, lo que resalta la sensibilidad de la germinación (Young y Nobel, 1986; Nobel, 2009).

5 Conclusiones

Los requerimientos ambientales para la germinación de especies efímeras a menudo con aquellos del clima típico de su temporada de crecimiento (De la Barrera y Nobel, 2003; Donohue y col., 2010; Baskin y Baskin, 2014). Sin embargo, las diferencias interespecíficas, por pequeñas que sean, pueden determinar las identidades de las plantas que crecen en una comunidad durante un año determinado, contribuyendo a la alta variación interanual de las especies observadas en las floras efímeras y anuales (Cousens y Mortimer, 2009; Chaideftou y col., 2012; Dekker, 2016; Gorgone-Barbosa y col., 2016). Las respuestas diferenciales encontradas en el presente estudio ilustran estas diferencias interespecíficas y proporcionan información sobre los mecanismos que permiten a las especies exóticas convertirse en dominantes o para que las especies nativas sean desplazadas. La aparición de nuevos ambientes resultantes de las intervenciones humanas supone un riesgo para la prevalencia de floras autóctonas. Se requieren más estudios que consideren subconjuntos comunitarios más grandes o incluso comunidades enteras, incluyendo observaciones a largo plazo, destinadas a caracterizar la velocidad a la que las floras nativas pueden estar cambiando en respuesta a los cambios ambientales antrópicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del IIES, Jardín Botánico de la UNAM, especialmente a Nidia Pérez-Nasser, por su apoyo técnico y por el acceso a las cámaras ambientales, así como a las conversaciones con los doctores M. Camacho y E.A. Díaz. Esta obra fue financiada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, Universidad Nacional Autónoma de México (PAPIIT IN221407 e IN211519), y por la beca de investigación de pregrado otorgada a DNM.

Referencias

- Baskin, C. C. y J. M. Baskin (1988). «Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region». En: *American Journal of Botany* 75.2, 286-305. Online: <https://bit.ly/2tHFEnA>.
- (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. 2.ª ed. Elsevier. Online: <https://bit.ly/2QWLM3A>.
- Calderón, R. G. y J. Rzedowski (2004). *Manual de Malezas de la Región de Salvatierra, Guanajuato*. Mexico: Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XX. Instituto de Ecología, A.C., Online: <https://bit.ly/2sNls3T>.
- Chachalis, D. y K. N. Reddy (2000). «Factors affecting *Campsis radicans* seed germination and seedling emergence». En: *Weed Science* 48, 212-216. Online: <https://bit.ly/37RIMvV>.
- Chaideftou, E. y col. (2012). «How does plant species composition change from year to year? A case study from the herbaceous layer of a submediterranean oak woodland». En: *Community Ecology* 13, 88-96. Online: <https://bit.ly/2N4PR4j>.
- Challenger, A. y R. Dirzo (2009). «Factores de cambio y estado de la biodiversidad». En: *Capital Natural de México. Estado de Conservación y Tendencias de Cambio 2*. Ed. por J. Sarukhán, 37-73. Online: <https://bit.ly/35AgQLJ>.
- Chi, B. J. (2006). «Efecto de tratamientos pregerminativos en la germinación de semillas de *Lopezia racemosa* Cav. B.S». Mexico: Universidad Autónoma Chapingo.
- Cousens, R. y M. Mortimer (2009). *Dynamics of weed populations*. 1.ª ed. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Dahlquist, R. M., T. S. Prather y J. J. Stapleton (2007). «Time and temperature requirements for weed seed thermal death». En: *Weed Science* 55, 619-625. Online: <https://bit.ly/2QUn6sm>.
- De la Barrera, E. y J. L. Andrade (2005). «Challenges to plant megadiversity: How environmental physiology can help». En: *New Phytologist* 167, 5-8. Online: <https://bit.ly/2N4TgQD>.
- De la Barrera, E. y P. S. Nobel (2003). «Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*». En: *Journal of Arid Environments* 53.3, 297-306. Online: <https://bit.ly/303kPz7>.
- De la Barrera, E., E. Pimienta-Barrios y J. E. Schondube (2009). «Reproductive ecophysiology». En: *Perspectives in Biophysical Plant Ecophysiology: A Tribute to Park S. Nobel*, págs. 301-335.
- Debeaujon, I., K. M. Léon-Kloosterziel y M. Koornneef (2000). «Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in *Arabidopsis*». En: *Plant Physiology* 122, 403-414. Online: <https://bit.ly/2QXoTNt>.

- Dekker, J. (2016). *Evolutionary Ecology of Weeds*. 2.^a ed. USA: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Del-Val, E. y col. (2015). «Identifying areas of high invasion risk: a general model and an application to Mexico». En: *Revista mexicana de biodiversidad* 86, 208-216. Online: <https://bit.ly/36Hyq1S>.
- Donohue, K. y col. (2010). «Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges». En: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41, 293-319. Online: <https://bit.ly/2N8XQh0>.
- Dübbern de Souza, F. H. y J. Marcos-Filho (2001). «The seed coat as a modulator of seed-environment relationships in Fabaceae». En: *Brazilian Journal of Botany* 24.4, 365-375. Online: <https://bit.ly/35C3q1R>.
- Fani, F. Y. S. y col. (2013). «Factors affecting seed germination and seedling emergence of sheep sorrel (*Rumex acetosella*)». En: *Romanian agricultural research* 30, 373-380. Online: <https://bit.ly/2tGdPMJ>.
- Fenner, M. y K. Thompson (2005). *The Ecology of Seeds*. U.K.: Cambridge University Press.
- Finch-Savage, W. y G. Leubner-Metzger (2006). «Seed dormancy and the control of germination». En: *New Phytologist* 171, 501-523. Online: <https://bit.ly/2N5ZY92>.
- Gorgone-Barbosa, E. y col. (2016). «Disturbance as a factor in breaking dormancy and enhancing invasiveness of African grasses in a Neotropical Savanna». En: *Acta Botanica Brasílica* 30, 131-137. Online: <https://bit.ly/2N5V1gy>.
- Grime, J. P. (2006). *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. 2.^a ed. U.S.A.: Wiley.
- Larcher, W. (2001). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 4.^a ed. U.S.A.: Springer.
- Michel, B. E. y D. Radcliffe (1985). «A computer program relating solute potential to solution composition for five solutes». En: *Agronomy Journal* 87, págs. 126-130.
- Nobel, P. S. (2009). *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. 4.^a ed. U.S.A.: Academic Press.
- Rockström, J. y col. (2009). «A safe operating space for humanity». En: *Nature* 461, 472-475. Online: <https://bit.ly/2N8VDlx>.
- Rowarth, J. S., J. G. Hampton y M. J. Hill (2007). «New Zealand native seed germination requirements: A review». En: *New Zealand Journal of Botany* 45, 485-501. Online: <https://bit.ly/35G8NgB>.
- Sala, O. E. y col. (2000). «Global biodiversity scenarios for the year 2100». En: *Science* 287, 1770-1774. Online: <https://bit.ly/2QydZi1>.
- Totterdell, S. y E. H. Roberts (1979). «Effects of low temperatures on the loss of innate dormancy and the development of induced dormancy in seeds of *Rumex obtusifolius* L. and *Rumex crispus* L». En: *Plant Cell and Environment* 2, 131-137. Online: <https://bit.ly/35z1oQ6>.
- Vibrans, H. y P. Tenorio-Lezama (2012). *Malezas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. URL: <https://bit.ly/2T4RWRL>.
- Young, D. R. y P. S. Nobel (1986). «Predictions of soil-water potentials in the North-Western Sonoran Desert». En: *Journal of Ecology* 74, págs. 143-154.