

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**PATRONES DE GERMINACIÓN Y DESARROLLO DE GRAMÍNEAS
PRESENTES EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE**

POR:

M. C. OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

DISERTACIÓN PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR IN PHILOSOPHIA

ÁREA MAYOR: RECURSOS NATURALES

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

OCTUBRE 2020



Patrones de germinación y desarrollo de gramíneas presentes en el desierto chihuahuense. Disertación presentada por Obed Gabriel Gutiérrez Gutiérrez como requisito parcial para obtener el grado de Doctor in Philosophia, ha sido aprobado y aceptada por:

Ph.D. Carlos Ortega Ochoa
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología

D.Ph. Agustín Corral Luna
Secretario de Investigación y Posgrado

Ph.D. Iván Adrián García Galicia
Coordinador Académico

Ph.D. Alicia Melgoza Castillo
Presidente

06 Octubre 2020

Fecha

Comité:

Ph.D. Federico Villarreal Guerrero

Dr. Carlos Raúl Morales Nieto

Ph.D. Felipe Alonso Rodríguez
Almeida

D.Ph. Carmelo Pinedo Álvarez

© Derechos Reservados
AUTOR. OBED GABRIEL
GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ
DIRECCIÓN: PERIFÉRICO
FRANCISCO R. ALMADA
KM. 1, CHIHUAHUA, CHIH.,
MÉXICO C.P. 31453
OCTUBRE 2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por las bendiciones que me ha dado, la vida y las fuerzas para cursar el Doctorado.

A mis padres, por darme la vida, apoyarme en cada momento y siempre brindarme la oportunidad de superarme.

Al CONACYT, por el apoyo económico que me otorgó a través de la beca nacional 412746 de estudios para posgrado, así mismo, el apoyo de beca mixta para la realización de la estancia de investigación en Oregon State University.

A la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Secretaria de Investigación y Posgrado de la Facultad de Zootecnia y Ecología, por darme la oportunidad de estudiar y formarme como Doctor in Philosophia.

A mi familia, por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas.

A mis asesores, por su ayuda en el procedimiento de la investigación y en mi formación, dentro y fuera de la Facultad.

A la Dra. Alicia Melgoza Castillo, por su gran enseñanza y apoyo durante estos años.

Al Dr. Ricardo Mata-González, por el apoyo y las enseñanzas durante mi estancia en Oregon State University.

A Eliana Manríquez Treviño, por el apoyo en mis locuras y sobre todo por su amistad.

A los compañeros David, Paola y Andrés, por hacer de mi estancia en OSU algo más pasajero.

A mis compañeros de la FZyE-UACH, por haber compartido tantos momentos durante la realización de mis estudios.

DEDICATORIA

A mis padres

Gabriel Gutiérrez Martínez

y

María Cruz Gutiérrez Machado

CURRICULUM VITAE

El autor nació el 14 de junio de 1989 en la Ciudad de Torreón, Coahuila, México.

- | | |
|------------|--|
| 2007-2011 | Estudios de Licenciatura en la Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Titulado con Mención Honorífica. |
| 2013-2015 | Maestría en Ciencias por la Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Titulado con Mención Especial. |
| 2015- 2019 | Estudiante de Doctorado por la Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. |
| 2017 | Diplomado: Análisis y manejo de bases de datos mediante el programa estadístico R. 120 horas IPICYT. San Luis Potosí, S.L.P., México. |
| 2017 | Diplomado: Análisis de Biodiversidad. 120 horas IPICYT. San Luis Potosí, S.L.P., México. |
| 2017 | Instructor de la materia Técnicas de Muestreo Avanzadas. Facultad de Zootecnia y Ecología- UACH. |
| 2018 | Instructor del curso Manejo Sustentable de los Recursos Naturales para la Producción Animal. Facultad de Zootecnia y Ecología- UACH. |
| 2018 | Estancia de investigación en la Universidad Estatal de Oregon |

- 2011 a la fecha Miembro de la Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales.
- 2019 Miembro de Southwestern Association of Naturalists
- 2019 a la fecha Investigador Titular en CEVACU-INIFAP

Publicaciones

Gutiérrez, O. G., C. R. Morales-Nieto, J. C. Villalobos, O. R. Ruíz-Barrera, J. Á. Ortega-Gutiérrez y J. Palacio-Núñez. 2019. Composición botánica y valor nutritivo de la dieta consumida por bovinos en un área invadida por pasto rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka]. Rev Mex Cienc Pecu. 10:212-226

Presentaciones en Congresos Internacionales

Gutiérrez, O. G., A. Melgoza-Castillo, R. Mata-González y C. R. Morales-Nieto. 2019. Respuesta de dos gramíneas a variables asociadas a cambio climático. 66a Reunión de la SWAN. Chihuahua, Chih. México

Gutiérrez, O., O. Rivero. A. Melgoza, C. Morales, F. Villarreal y M. Martínez. 2017. Programa de propagación de plantas nativas para la recuperación de ecosistemas degradados. XVI Congreso Internacional de Ciencias Ambientales. Chetumal, Quintana Roo. México

Gutiérrez, O., A. Melgoza-Castillo, C. Morales y F. Villarreal. 2017. Germination characteristics of 16 grasses. 70th SRM Annual Meeting, St. George, UT. USA

Gutiérrez, O. G., C. R. Morales, O. Ruiz, J. A. Ortega-Gutiérrez y F. Villarreal-Guerrero. 2016. Nutritional value of the diet consumed by cattle grazing an area invaded by natalgrass [*Melinis repens* (willd.) Zizka] in the state of Chihuahua. 69th SRM Annual Meeting, Corpus Christi, TX. USA

RESUMEN GENERAL

PATRONES DE GERMINACIÓN Y DESARROLLO DE GRAMÍNEAS PRESENTES EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE

POR:

M. C. OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

Doctor in Philosophia en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Ph. D. Alicia Melgoza Castillo

El objetivo del estudio fue evaluar los patrones de germinación y desarrollo de plántula de gramíneas con fines de restauración y/o control de especies invasoras, ante cambio climático. En una primera evaluación, en 22 especies nativas y exóticas del desierto Chihuahuense se cuantificó la tasa de germinación a temperatura constante de 27 ± 2 °C. La mitad de las especies presentaron una germinación rápida, en los tres primeros días. La velocidad de germinación varió de 0.3 a 7.8 semillas germinadas por día. El total de días en que se alcanzó el 50 % de germinación de las semillas varió de 2 a 6 d. A la semana de germinada la semilla, la proporción radícula:plúmula (R:P) varió de 0.3 a 2.7. En un segundo experimento se evaluó la respuesta a un gradiente de temperatura (14, 18, 22, 26, 30 y 34 °C) en seis especies nativas y seis exóticas. La germinación en dos especies nativas y una exótica no se vio afectada a una temperatura de 34 °C. La proporción de R:P no se vio afectada por la temperatura ($P > 0.05$) en *Bouteloua dactyloides*. En un tercer experimento bajo condiciones de invernadero

se evaluaron diferentes niveles de humedad en seis especies nativas y seis exóticas, con base en patrones de precipitación en el desierto Chihuahuense. La proporción R:P en las especies nativas mostró una tendencia; a menor cantidad de humedad la proporción R:P aumentó. En las especies exóticas, solo una especie mostró este comportamiento. Con base en las características de germinación y su sobrevivencia a niveles bajos de humedad, la exótica *Eragrostis curvula* y las nativas *Bouteloua curtipendula* y *Leptochloa dubia* tienen mayores probabilidades de establecimiento ante los escenarios de cambio climático.

GENERAL ABSTRACT

GERMINATION AND GROWTH PATTERNS OF GRAMINES OF THE CHIHUAHUAN DESERT

BY:

OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

The aim of the present work was to determine the germination and seedling development patterns of wild grasses on the face of climate change for the purpose of restoration or control of invasive species. In a first evaluation with 22 native and exotic species present at the Chihuahuan desert, germination was measured at a constant temperature of 27 ± 2 °C. Half of those species germinated within the first three days. Germination velocity was from 0.3 to 7.8 seeds d⁻¹. The 50 % of the germination was achieved from the second to the sixth day. The root:shoot (R:S) ratio ranged from 0.3 to 2.7 at one week old seedlings. On a second experiment with six native and six exotic species, germination response was evaluated under a temperature gradient (14, 18, 22, 26, 30, and 34 °C). Germination response to temperature was lineal, quadratic, and cubic. Two native and one exotic species maintained high germination at 34 C. The R:S ratio was not affected by temperature ($P > 0.05$) for *Bouteloua dactyloides*. On a third experiment, those 12 species were subjected to four water levels, based on precipitation patterns of the Chihuahuan desert. In general, native and exotic species emerged at all levels, except on the extreme low. Also, R:S ratio increased as the water level decreased. Based on the results, the exotic grass *Eragrostis curvula* and the natives *Bouteloua curtipendula* and *Leptochloa dubia* have the highest adaptation probabilities to climatic change.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN GENERAL.....	vii
GENERAL ABSTRACT.....	ix
LISTA DE CUADROS.....	xv
LISTA DE GRÁFICAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Problemática de los Pastizales.....	3
Escenarios del Cambio Climático.....	4
Distribución de las especies.....	5
Respuesta al estrés hídrico.....	6
Temperatura.....	7
Dióxido de carbono (CO ₂).....	8
Germinación y Establecimiento de Plántulas.....	8
LITERATURA CITADA.....	13
ESTUDIO 1. PATRONES DE GERMINACIÓN EN GRAMÍNEAS PRESENTES EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE.....	22
RESUMEN.....	23
ABSTRACT.....	25
INTRODUCCIÓN.....	26
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
Especies Utilizadas.....	30
Metodología.....	30

Variables Evaluadas.....	30
Germinación estándar.....	30
Rangos de germinación (RG).....	30
Velocidad de germinación (VG).....	32
Índice de germinación (IG).....	32
Tiempos de germinación.....	32
Proporción radícula:plúmula (R:P).....	32
Análisis Estadístico.....	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
Germinación Estándar.....	34
Velocidad de Germinación (VG).....	38
Índice de Germinación (IG).....	41
Tiempo de Germinación (TG).....	41
Proporción Radícula-Plúmula (R:P).....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
LITERATURA CITADA.....	44
ESTUDIO 2. RESPUESTA DE GRAMÍNEAS DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE A UN GRADIENTE DE TEMPERATURA.....	48
RESUMEN.....	49
ABSTRACT.....	51
INTRODUCCIÓN.....	52
MATERIALES Y MÉTODOS.....	55
Variables Evaluadas.....	56
Análisis de los Datos.....	56

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
Germinación.....	58
Velocidad de Germinación (VG).....	61
Raíz, Plúmula y Proporción (R:P).....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
LITERATURA CITADA.....	69
ESTUDIO 3. DESARROLLO DE GRAMÍNEAS DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE BAJO DIFERENTES PATRONES DE HUMEDAD..	73
RESUMEN.....	74
ABSTRACT.....	76
INTRODUCCIÓN.....	77
MATERIALES Y MÉTODOS.....	79
Prueba de Tetrazolio y Germinación Estándar.....	79
Secuencias de Humedad.....	79
Variables Evaluadas.....	82
Análisis Estadístico.....	82
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	84
Emergencia.....	84
Velocidad de Emergencia (VE).....	86
Sobrevivencia.....	88
Proporción Radícula:Plúmula (R:P).....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
LITERATURA CITADA.....	94
DISCUSIÓN GENERAL.....	98

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	100
LITERATURA CITADA.....	101

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Especies utilizadas en las pruebas de germinación y algunas de sus características.....	31
2	Medias (\pm EE) de las diferentes variables en las gramíneas evaluadas y presentes en el Desierto Chihuahuense.....	39
3	Comportamiento de plántulas de gramíneas nativas del desierto Chihuahuense sometidas a diferentes niveles de temperatura.....	66
4	Comportamiento de plántulas de gramíneas exóticas en el desierto Chihuahuense sometidas a diferentes niveles de temperatura.....	67
5	Viabilidad y germinación (Media \pm EE) de las semillas de gramíneas silvestres del desierto Chihuahuense.....	80
6	Medias (\pm E.E.) de las variables de respuesta de las gramíneas nativas del desierto Chihuahuense sometidas a secuencias de humedad/sequía.....	89
7	Medias (\pm E.E.) de las variables de respuesta de las gramíneas exóticas en el desierto Chihuahuense ante las secuencias de humedad/sequía.....	90

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	Comportamiento de la germinación de especies nativas del desierto Chihuahuense.....	35
2	Comportamiento de la germinación de especies exóticas del desierto Chihuahuense.....	37
3	Relación entre temperatura y germinación de especies nativas del desierto Chihuahuense.....	59
4	Relación entre temperatura y germinación de especies exóticas presentes en el desierto Chihuahuense.....	60
5	Relación entre la velocidad de germinación y las temperaturas en gramíneas nativas del desierto Chihuahuense.....	62
6	Relación entre la velocidad de germinación y las temperaturas en gramíneas exóticas presentes en el desierto Chihuahuense.....	63
7	Medias (\pm EE) de la emergencia de 11 gramíneas sometidas a cuatro secuencias de humedad/sequía.....	85
8	Velocidad de emergencia para 11 especies de gramíneas sometidas a secuencias de humedad/sequía.....	87

INTRODUCCIÓN GENERAL

Una gran parte del cambio ambiental global es generado por concentraciones elevadas de gases de efecto invernadero en el ambiente (SEMARNAT, 2005; IPCC, 2007). Desde la revolución industrial, las actividades antropogénicas han generado un aumento desmesurado del CO₂ en el ambiente (SEMARNAT, 2005; IPCC, 2007). Antes de la revolución industrial, las concentraciones de CO₂ eran aproximadamente de 280 ppm, mientras que en la actualidad las concentraciones de CO₂ oscilan entre 410 y 420 ppm (NOAA, 2013; NASA, 2019). Esto da como resultado cambios en las condiciones climáticas. Por ejemplo, durante los últimos años las temperaturas a nivel mundial han aumentado ~0.2 °C por década y se estima que para el año 2100 el aumento llegue a ser hasta 4 °C (Hansen *et al.*, 2006; IPCC, 2007; Anderson *et al.*, 2016). Para el desierto Chihuahuense se han calculado cambios en la temperatura desde 1.5 hasta 4 °C y disminución en la precipitación de hasta un 20 % (IPCC, 2013; 2014).

Los cambios de condiciones climáticas han provocado que muchas especies modifiquen su distribución, abundancia, fenología e incluso hábitos alimenticios. Esto ha generado un cambio en la estructura de los ecosistemas que repercute en la funcionalidad y reducciones en la cantidad y calidad de los servicios ambientales (Chen *et al.*, 2016). El pastizal es un bioma de los más amenazados a pesar de su importancia en extensión a nivel mundial, desarrollo de la humanidad, entre otros servicios ambientales (Reyes-Gómez y Núñez-López, 2014).

Una de las consecuencias más obvias en el deterioro de los pastizales es

la pérdida o reducción de la cobertura vegetal. Por lo que, la práctica más común es la restauración de la vegetación (Petursdottir *et al.*, 2013). El grupo de las gramíneas son las plantas dominantes en pastizales con adaptaciones al pastoreo, sequía y fuego (Royo, 2014). La resistencia y la resiliencia a estos estreses ambientales depende de la velocidad de germinación (rápido, lento), desarrollo de la plántula, etapa fenológica, entre otras (Batanouny, 2001; Gutterman, 2002; Verdú y Traveset, 2005; Vonlanthen *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2012; De Cauwer *et al.*, 2014). Ante los escenarios de cambio climático es importante la evaluación y selección de especies con mayores probabilidades de adaptación a incrementos en temperatura y reducciones de humedad para utilizarse en programas de restauración. También, estas evaluaciones son importantes para determinar cómo las especies exóticas invasoras puedan comportarse ante el cambio climático.

Como parte de un proyecto a largo plazo con especies silvestres, este trabajo consideró 41 especies de gramíneas. Con base en la disponibilidad de semilla y seleccionando aquellas especies que presentaron germinación, las evaluaciones se llevaron a cabo con 22 especies. Así, el objetivo general del trabajo fue evaluar los patrones de germinación y desarrollo de plántula de gramíneas con fines de restauración y/o control de especies invasoras, ante cambio climático. Los objetivos específicos fueron analizar los patrones de germinación y desarrollo de plántula: de sus propiedades intrínsecas, bajo un gradiente de temperatura y con diferentes patrones de lluvia comunes del desierto Chihuahuense.

REVISIÓN DE LITERATURA

Los pastizales naturales, dominados por gramíneas, ocupan aproximadamente 52.53 millones de km² de la superficie del planeta (Gibson, 2009). De esta cantidad, el continente americano comprende el 12.5 % y América del Norte tiene el 6.25 %. En México los pastizales ocupan aproximadamente el 12 % de la superficie nacional (CONABIO, 2012) y el estado de Chihuahua cuenta con el 16.54 % de los pastizales de México (INEGI, 2013). Entre los innumerables servicios ambientales de los pastizales, la producción de forraje es la base para las actividades pecuarias. Estas actividades forman parte de diferentes sistemas de producción de las zonas áridas de Norte América (Báez *et al.*, 1999; PACP-Ch, 2011; Ortega-S. *et al.*, 2013; Callejas *et al.*, 2014). Aunado a esto, los pastizales son cuencas hidrológicas que capturan el agua para mantener procesos ecológicos, cadenas productivas y sobrevivencia humana (Turnbull *et al.*, 2010). Otros servicios ambientales de los pastizales son: biodiversidad, almacenamiento de carbono, turismo, recreación, entre otras (Gibson, 2009; Chen *et al.*, 2017). El mantenimiento de una buena cobertura vegetal en los pastizales representa conservar la funcionalidad de los pastizales, así como sus servicios ambientales (Painter *et al.*, 1993; Paz y Wong, 2014).

Problemática de los Pastizales

A pesar de su importancia, los pastizales son el ecosistema más vulnerable ante el cambio ambiental global (Pool *et al.*, 2014). Los cambios de uso de suelo, las especies invasoras y el sobrepastoreo son algunos de los principales factores de deterioro (Carrillo *et al.*, 2009; Munson *et al.*, 2013; Ortega-S. *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2016). Las especies invasoras se incluyen

también como una de las principales amenazas de los pastizales (Ortega-S. *et al.*, 2013; Melgoza *et al.*, 2014a). En el estado de Chihuahua están presentes un total de 68 gramíneas exóticas. De éstas, varias especies son de origen africano: rosado (*Melinis repens*), africano (*Eragrostis lehmanniana*), buffel (*Pennisetum ciliare*) y recientemente, *Eragrostis echinochloidea* (Herrera y Peterson, 2018). En el Estado existe una tasa de cambio anual de uso de suelo de 0.025 % y ésta es la segunda mayor amenaza hacia los pastizales (Carreón-Hernández, 2014). Pool *et al.* (2014) han estimado para pastizales del desierto Chihuahuense una pérdida de 19,505 ha de pastizal natural entre 2006-2011. Por otra parte, a nivel mundial, el sobrepastoreo genera el 35 % de la degradación de los suelos (Melgoza *et al.*, 2014b). En el desierto Chihuahuense, desde hace casi un siglo se señaló que más del 80 % de los ranchos ganaderos presentaban sobrepastoreo (CFAN-CID, 1965). Independientemente del factor que ha causado el deterioro de los pastizales, la pérdida o el cambio de la vegetación es el resultado más obvio. Por lo que la restauración de la vegetación es una de las prácticas necesarias para recuperar la funcionabilidad de este ecosistema, especialmente bajo los escenarios del cambio climático. En la recuperación de la vegetación, el estado de Chihuahua presenta un gran potencial con 385 especies de gramíneas (Herrera y Peterson, 2018).

Escenarios del Cambio Climático

El IPCC ha desarrollado diversos escenarios de cambio climático, con base en niveles de forzamiento radiativo (IPCC, 2007). Así se han desarrollado cuatro niveles (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5) que representan el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie del planeta, expresadas en W m². Estos

representan no solo las concentraciones sino la trayectoria de estas al futuro: 2100 a 2500 (Moss *et al.*, 2010). Lo anterior traerá como consecuencia cambios en las condiciones ambientales, lo que modificará el hábitat y favorecerá la introducción de especies invasoras y la desaparición de las especies nativas (Anderson e Inouye, 2001; Weiss *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2017). Especialistas mencionan que en el escenario de la RCP2.6 (B1) no se presentarán cambios con respecto a la temperatura y en el RCP8.5 (A1F1) habrá un aumento de hasta 3.5 °C (IPCC, 2013; Field *et al.*, 2014). A cada nivel radiativo, además de los incrementos en gases efecto invernadero y temperaturas, otras variables climáticas se verán afectadas, de forma que en su conjunto, repercutirán en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas.

Distribución de las especies. El cambio climático afectará a la distribución de la vegetación y la producción primaria neta en el mundo (Gao *et al.*, 2016). El aumento en el CO₂ provocará la desaparición de muchas especies y la movilización de otras. Field *et al.* (2014) presentan gráficamente la velocidad de desplazamiento de diferentes grupos taxonómicos. Las especies vegetales están entre los grupos con menor oportunidad de desplazamiento. Además, ante los escenarios de cambio climático, las especies nativas podrían desaparecer y se podría dar un aumento en número o distribución de especies invasoras (Hager *et al.*, 2016).

Diversos autores han proyectado los modelos de cambio climático y cómo algunas especies desaparecerán y hacia donde se moverán otras (Gao *et al.*, 2016; Young *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017). Por ejemplo, *Picea chihuahuana* Martínez, bajo los escenarios de RCP 6.0 y 8.5 al año 2070, podría desaparecer

(Pinedo-Álvarez *et al.*, 2019). Bajo los escenarios intermedios se detectaron áreas donde la especie podría migrar o ser trasplantada; sin embargo, con el escenario RCP8.5, el hábitat para esta especie desaparece. Sandel y Dangremond (2012) realizaron un estudio en California, EUA para observar como el cambio climático favorecería a las especies introducidas. En ese estudio se encontró que las gramíneas exóticas serían beneficiadas con los aumentos de temperatura. Bradley *et al.* (2010) concluyeron que el CO₂ ambiental tiende a favorecer a las especies no nativas y, por lo tanto, podría promover la invasión de *Bromus tectorum*, gramínea exótica que invade pastizales en EUA. Por otro lado, en un meta análisis de 68 artículos científicos en los que se incluyen especies nativas (249) e introducidas (212), no se encontró diferencia entre el comportamiento en 103 combinaciones de CO₂ (Sorte *et al.*, 2013). Además, debido al aumento de las temperaturas, las gramíneas C4 extenderán sus rangos geográficos hacia los polos. Independientemente del grupo taxonómico, cada especie responde diferente a factores ambientales con base en su historia evolutiva (Griffith *et al.*, 2017).

Respuesta al estrés hídrico. Cuando las plantas son sometidas a una falta de humedad responden de diferentes maneras; una de ellas es el aumento de la masa radicular. Mata-González *et al.* (2017) encontraron en la arbustiva *Atriplex canescens* un aumento en la proporción de la radícula:plúmula en tratamientos de estrés salino. En estudios con las leguminosas *Medicago lupulina* y *Lotus corniculatus* se observó una disminución de biomasa hasta un 30 % debido a un déficit de agua (AbdElgawad *et al.*, 2015). Cuando las gramíneas son sometidas a efectos de sequía, las raíces tienden a crecer en la búsqueda de

humedad para la sobrevivencia (Trachsel *et al.*, 2010a; 2010b; Stypczyńska *et al.*, 2012). Mastalerczuk *et al.* (2017) reportaron para *Poa pratensis* reducción en número de hojas de hasta 24 %, número de brotes 23 %, peso de materia seca 39 % y peso de las raíces 46 %. Para tolerar los efectos de la sequía, las gramíneas disminuyen su conductancia estomática para mejorar el aprovechamiento de la humedad (Leakey *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2016). Así mismo, la translocación de los nutrientes en las plantas es afectada cuando son sometidos a estrés hídrico (Lenhart *et al.*, 2015). Además, las especies de climas templados reducen el área foliar específica con la finalidad de tolerar la falta de humedad (Wellstein *et al.*, 2016). En general, son pocos los estudios que hablan sobre la disminución de la biomasa de las raíces en gramíneas sometidas a estrés hídrico (de Vries *et al.*, 2016). En la evaluación y selección de especies a reducciones de humedad como parte del cambio climático es importante la búsqueda de todas las características adaptativas a este fenómeno (Gherardi y Sala, 2015; Lovell *et al.*, 2016).

Temperatura. Comúnmente, la temperatura óptima para que las plantas puedan crecer y reproducirse se encuentra entre 5 y 40 °C (Yepes y Buckeridge, 2011). Por otra parte, existe un mínimo y máximo donde las especies pueden desarrollarse (Ramírez *et al.*, 2012). La temperatura mínima en las gramíneas exóticas *Eragrostis curvula*, *Melinis minutiflora*, *Cynodon dactylon* y *Pennisetum ciliare* es de 12.4 a 13.8 °C y las temperaturas máximas van de 43.3 hasta 49.9 °C (Durán-Puga *et al.*, 2011). La gramínea *Bouteloua eriopoda* no tolerará el aumento de las temperaturas de verano (Munson *et al.*, 2013). El caso particular de *Agave angustifolia* reduce sus porcentajes de germinación en temperaturas

inferiores de 20 °C (Ramírez *et al.*, 2012). Los cambios de temperatura y humedad, como parte del cambio climático han sido señalados como factores importantes en la invasión de especies exóticas en zonas desérticas (Weiss *et al.*, 2009).

Dióxido de carbono (CO₂). Los incrementos del CO₂, como otras variables relacionadas con cambio climático, tienen diferentes grados de afectación en poblaciones y comunidades. Algunos estudios demuestran que el aumento de CO₂ mejora la producción primaria neta (Shaw *et al.*, 2002; Gao *et al.*, 2016). El incremento de CO₂ puede afectar a los pastizales al favorecer a las invasiones de especies oportunistas capaces de adaptarse y resistir los cambios ambientales (DiTomaso, 2000; Smith *et al.*, 2000). El aumento de CO₂ pudiera acelerar los procesos de floración de arbustos entre 2 y 4 d o retrasar el proceso en gramíneas entre 2 y 6 d (Cleland *et al.*, 2006). Algunas gramíneas como *Eragrostis curvula* aumentan su producción de biomasa hasta un 82 % y su área foliar hasta en un 66 %, cuando son expuestos a concentraciones altas de CO₂ (Manea *et al.*, 2011). Los mezquites muestran una respuesta favorable ante el aumento de CO₂ (Polley *et al.*, 2006). Tang *et al.* (2006) mencionan que no todas las especies responden igual a la elevada concentración de CO₂. En *Lolium perenne* hubo un incremento en biomasa y en *Poa annua* y *Avena fatua* no se encontró diferencia. Generalmente, las especies C4 tienen mayores tasas de asimilación cuando son sometidas a contenidos elevados de CO₂ en el ambiente (Ghannoum *et al.*, 2011).

Germinación y Establecimiento de Plántulas

En la restauración de ecosistemas, el conocimiento de la biología de la

semilla de las plantas es básico para incrementar las probabilidades de éxito (Panchal *et al.*, 2011; Aires *et al.*, 2013; Kildisheva *et al.*, 2018). Por otra parte, la etapa de plántula es la más crítica, especialmente en zonas áridas (Tobe *et al.*, 2005; Zhu *et al.*, 2014; Corrales-Lerma *et al.*, 2016). En la búsqueda de especies con altas probabilidades de establecimiento, la flora nativa representa un potencial para evaluar y seleccionar especies con potencial para su uso en restauración (Royo y Melgoza, 2001; Estrada y Villarreal, 2010). También, esta información sobre el establecimiento de un nuevo individuo es básica en el caso de especies exóticas invasoras para su control y/o manejo (Sanguinetti *et al.*, 2014). Para el caso de especies nativas ya utilizadas en restauración, otra información que se requiere es el esfuerzo de recolecta, limpieza y tiempo de almacenaje (Rantala-Sykes y Cambel, 2019). El mercado de la semilla para utilizarse en restauración es nuevo en México y falta mucho por desarrollar. Sólo en el oeste de EUA existe una demanda anual de cientos de toneladas de semilla que representan millones de dólares (Knutson *et al.*, 2009; Kildisheva *et al.*, 2016).

La calidad de la semilla al momento de una restauración es importante para determinar la cantidad que se requiere para cierta área. En un trabajo con tres gramíneas exóticas invasoras y tres nativas se encontraron valores de germinación de 3 a 90 %, sin un patrón entre estos dos grupos (Carrillo *et al.*, 2009). Comúnmente las especies nativas *Bouteloua curtipendula* y *Leptochloa dubia* presentan germinaciones de entre 50 a 90 % (Ferrari y Parera, 2015; Sáenz-Flores *et al.*, 2015; Gallagher y Wagenius, 2016; Álvarez-Holguín *et al.*, 2017); mientras que las especies exóticas, *Eragrostis lehmanniana* y *Melinis*

repens presentan porcentajes de germinación de 3 a 30 % (Carrillo *et al.*, 2009; Stokes *et al.*, 2011; Álvarez-Holguín *et al.*, 2017). Las características como velocidad de germinación y rápido desarrollo de la plántula, entre otras, son estrategias relacionadas a la historia evolutiva de las especies que finalmente determinan sobrevivencia (Baskin y Baskin, 2014; Duchini *et al.*, 2018). Al respecto, Jurado y Westoby (1992) catalogaron 105 especies con respecto a los tiempos de germinación, 56 especies fueron de germinación rápida, 39 media y 11 lenta. La germinación rápida se refiere a las especies que germinan en los tres primeros días de que la semilla es expuesta a la humedad. Media cuando la germinación es entre cuatro y siete y lenta cuando es de más de siete días. En zonas áridas y semiáridas, la poca humedad y altas temperaturas son de las limitantes para el establecimiento de plántulas (Prado-Tarango *et al.*, 2019). Por lo que el conocimiento de las estrategias de germinación y desarrollo de la plántula en estos ambientes son clave para seleccionar especies con mayores probabilidades de sobrevivencia (Mummey *et al.*, 2016).

Todas las especies tienen sus rangos óptimos para sobrevivir, crecer y reproducirse. Ante el cambio climático y el poco tiempo para que las especies puedan adaptarse, es importante determinar las especies nativas con mayor plasticidad a incrementos de temperatura y reducciones en humedad. Baskin y Baskin (2014) en una revisión de 16 especies arbustivas de desiertos calientes, encontraron que la temperatura óptima de germinación varía de 21 a 35 °C. Para el caso específico del grupo de gramíneas, las temperaturas van de 15 a 31 °C. En nueve gramíneas de zonas desérticas, ocho disminuyeron el tiempo de germinación al incrementarse la temperatura y en una especie no se presentó

ningún cambio (Bhatt y Santo, 2018). En gramíneas nativas y exóticas no se presentaron diferencias en la respuesta de germinación ante exposiciones al calor entre 50 a 150 °C (Paredesa *et al.*, 2018); ambas redujeron su germinación a 130 °C, y fue nula a 150 °C fue nula. La excepción fue con la especie exótica *Melinis minutiflora*. Este tipo de resultados indica que un control con fuego no eliminará a esta especie, mientras que, para el uso de especies en restauración, estos resultados apoyan la selección de especies con mayor tolerancia a incrementos de temperatura.

La humedad en zonas áridas es limitada como respuesta a la cantidad de precipitación y patrones de ésta. Las plantas de estas áreas están adaptadas a estas condiciones e incluso algunas dependen de la lluvia para la dispersión de sus semillas (Guterman, 2002). A pesar de esta adaptación, algunas especies requieren de años excepcionalmente húmedos para el reclutamiento de nuevos individuos a la población. En un análisis de 16 estudios de localidades desérticas, eventos de lluvia por arriba de los 21 mm promueven la germinación de 2 a 58 especies (Baskin y Baskin, 2014). Ludwig *et al.* (2017) realizaron una evaluación de la dinámica de plantas durante 40 años, donde se presentaron al menos cuatro eventos de sequía. En este período, las gramíneas nativas *Bouteloua curtipendula* y *B. ramosa* disminuyeron significativamente un 91 y 89 %, respectivamente. Aunado a lo anterior, las gramíneas exóticas *Eragrostis lehmanniana* y *Pennisetum ciliare* invadieron el área. Resultados similares se reportan en un experimento de restauración con especies de pastizales (Mac Dougall *et al.*, 2008). Diez años después, las especies nativas dominaron cuando se sembró en años con precipitación normal; mientras que la siembra en el año

con sequía estuvo dominando por especies exóticas. Si bien, Groves y Brudvig (2019) señalan que además de la precipitación existen otros factores que influyen en los resultados de una restauración. El estudio de las características de la germinación indudablemente contribuye a entender cuál es el potencial del banco de semillas en suelo y su posible impacto en la restauración (Mall y Singh, 2014).

LITERATURA CITADA

- AbdElgawad, H., E. R. Farfan-Vignolo, D., De Vos y H. Asard. 2015. Elevated CO₂ mitigates drought and temperature-induced oxidative stress differently in grasses and legumes. *Plant Sci.* 231:1-10.
- Aires, S. S., M. N. Sato y H. S. Miranda. 2013. Seed characterization and direct sowing of native grass species as a management tool. *Grass Forage Sci.* 69: 470–478.
- Álvarez-Holguín, A., C. R. Morales-Nieto, R. Corrales-Lerma, A. Melgoza-Castillo y G. Méndez-Zamora. 2017. Germinación de genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) bajo diferentes presiones osmóticas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4:161-168.
- Anderson, J. E. y R. S. Inouye. 2001. Landscape-scale changes in plant species abundance and biodiversity of a sagebrush steppe over 45 years. *Ecol. Monogr.* 71:531–556.
- Anderson, T. R., E. Hawkins y P. D. Jones. 2016. CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour* 40:178-187.
- Báez, A. D., G. Reyes, A. Melgoza M. Royo y R. Carrillo. 1999. Características productivas del sistema vaca-cría en el estado de Chihuahua. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 37:11-2.
- Baskin, C. C. y J. M. Baskin. 2014. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. 2a ed. Elsevier Inc. EUA.
- Batanouny, K. H. 2001. *Plants in the deserts of the Middle East*. Editorial Springer Berlin Heidelberg. Alemania.
- Bhatt, A. y A. Santo. 2018. Different ecological strategies during the seed germination phase of nine grasses inhabiting the hyper-arid Arabian desert. *Plant Species Biol.* 33:305-311.
- Bradley, B. A., D. M. Blumenthal, D. S. Wilcove y L. H. Ziska. 2010. Predicting plant invasions in an era of global change. *Trends Ecol. Evol.* 25:310-318.
- Callejas, N., G. H. Aranda, R. S. Rebollar y M. M. De la Fuente. 2014. Situación económica de la producción de bovinos de carne en el estado de Chihuahua, México. *Agron. Mesoam.* 25:133-139.
- Carreón-Hernández, E. 2014. Cambio de uso de suelo: un problema de conservación. En *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. CONABIO. México.
- Carrillo, S. M., J. T. Arredondo-Moreno, E. Huber-Sannwald y J. Flores-Rivas. 2009. Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Téc. Pecu. Méx.* 47:299-312.

- Chen, J., S. Yi y Y. Qin. 2017. The contribution of plateau pika disturbance and erosion on patchy alpine grassland soil on the Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for grassland restoration. *Geoderma* 297:1-9.
- Chen, Y., S. Mu, Z. Sun, C. Gang, J. Li, J. Padarian y S. Li. 2016. Grassland carbon sequestration ability in china: A new perspective from terrestrial aridity zones. *Rangeland Ecol. Manag.* 69:84-94.
- Cleland, E. E., N. R. Chiariello, S. R. Loarie, H. A. Mooney y C. B. Field. 2006. Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. *P. Natl. Acad. Sci. USA.* 103:13740-13744.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2012. Pastizales. En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales.html>. Consultado 24 Junio 2019.
- Consejo de Fomento Agropecuario del Norte de México-Centro de Investigación y Desarrollo (CFAN-CID). 1965. Estudio integral preliminar sobre la ganadería de la zona norte de la república mexicana. Tomo IV. COPARMEX. México.
- Corrales-Lerma, R., C. R. Morales-Nieto, A. Melgoza, J. S. Sierra-Tristán, J. A. Ortega-Gutiérrez y G. Méndez-Zamora. 2016. Caracterización de variedades de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] recomendadas para rehabilitación de pastizales. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 7:201-211.
- De Cauwer, B., R. Devos, S. Claerhout, R. Bulcke y D. Reheul. 2014. Seed dormancy, germination, emergence and seed longevity in *Galinsoga parviflora* and *G. quadriradiata*. *Weed Res.* 54:38-47 29.
- de Vries, F. T., C. Brown y C. J. Stevens. 2016. Grassland species root response to drought: consequences for soil carbon and nitrogen availability. *Plant Soil.* 409:297-312.
- DiTomaso, J. M. 2000. Invasive weeds in rangelands: species, impacts, and management. *Weed Sci.* 48:255–265.
- Duchini, P. G., G. C. Guzatti, J. R. Echeverría, L. F. Américo y A. F. Sbrissia. 2018. Experimental evidence that the perennial grass persistence pathway is linked to plant growth strategy. *PLoS ONE.* 13: e0207360.
- Durán-Puga, N., J. A. Ruiz-Corral, D. R. González-Eguiarte, G. Núñez-Hernández, F. J. Padilla-Ramírez y S. H. Contreras-Rodríguez. 2011. Temperaturas cardinales de desarrollo en la etapa siembra-emergencia de 11 pastos forrajeros. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2:347-357.
- Estrada, E. y J. Á. Villarreal. 2010. Flora del centro del estado de Chihuahua, México. *Acta Bot. Mex.* 92:51-118.
- Ferrari, F. N. y C. A. Parera. 2015. Germination of six native perennial grasses that can be used as potential soil cover crops in drip-irrigated vineyards in semiarid environs of Argentina. *J. Arid Environ.* 113:1-5.

- Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea y L. L. White. 2014. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Gallagher, M. K. y S. Wagenius. 2016. Seed source impacts germination and early establishment of dominant grasses in prairie restorations. *J. Appl. Eco.* 53:251-263.
- Gao, Q., Y. Guo, H. Xu, H. Ganjurjav, Y. Li, Y. Wan, X. Qin, X. Ma y Liu S. 2016. Climate change and its impacts on vegetation distribution and net primary productivity of the alpine ecosystem in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Sci. Total Environ.* 554-555:34-41.
- Ghannoum, O., J. R. Evans y S. von Caemmerer. 2011. Nitrogen and water use efficiency of C4 plants. En: *C4 Photosynthesis and Related CO2 Concentrating Mechanisms*. A. S. Raghavendra y R. S. Sage, eds. The Netherlands: Springer. 32:129-146.
- Gherardi, L. A. y O. E. Sala. 2015. Enhanced precipitation variability decreases grass-and increases shrub-productivity. *P. Natl. Acad. Sci. USA.* 112:12735-12740.
- Gibson, D. J. 2009. *Grasses and grassland ecology*. Oxford University Press Inc., New York. USA
- Griffith, D. M., J. M. Cotton, R. L. Powell, N. D. Sheldon y C. J. Still. 2017. Multi-century stasis in C3 and C4 grass distributions across the contiguous United States since the industrial revolution. *J. Biogeogr.* 44:2564-2574.
- Groves, A. M. y L. A. Brudvig. 2019. Interannual variation in precipitation and other planting conditions impacts seedling establishment in sown plant communities. *Restor. Ecol.* 27:128-137.
- Gutterman, Y. 2002. *Survival strategies of annual desert plants*. Editorial Springer Berlin Heidelberg. Alemania.
- Hager, H. A., G. D. Ryan, H. M. Kovacs y J. A. Newman. 2016. Effects of elevated CO₂ on photosynthetic traits of native and invasive C₃ and C₄ grasses. *BMC Ecol.* 16:28.
- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D. W. Lea y M. Medina-Elizade. 2006. Global temperature change. *P. Natl. Acad. Sci. USA.* 103: 14288-14293.
- Herrera, Y. y P. M. Peterson. 2018. *Grasses of Chihuahua, Mexico*. Smithsonian Contributions to Botany. Washington, D. C., E.U.A.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2013*.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007: a physical science basis. In S. Solomon, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller, eds. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Climate Change 2013: The physical science basis. Summary for policymakers. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo principal de redacción, Pachauri, R. K. y L. A. Meyer, eds. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Jurado, E. y M. Westoby. 1992. Germination biology of selected Central Australian plants. *Aust. J. Ecol.* 17: 341-348.
- Kildisheva, O. A., T. E. Erickson, M. D. Madsen, K. W. Dixon y D. J. Merritt. 2018. Seed germination and dormancy traits of forbs and shrubs important for restoration of North American dryland ecosystems. *Plant Biology* 21:458-469.
- Kildisheva, O. A., T. E. Erickson, D. J. Merritt y K. W. Dixon. 2016. Setting the scene for dryland restoration: an overview and key findings from a workshop targeting seed enablement technologies. *Restor. Ecol.* 24:S36-S42.
- Knutson, K. C., D. A. Pyke, T. A. Wirth, D. S. Pilliod, M. L. Brooks y J. C. Chambers. 2009. A chronosequence feasibility assessment of emergency fire rehabilitation records within the Intermountain Western United States – final report to the joint fire science program. Open-File Report 2009-1099. Project 08-S-08, U.S. Geological Survey, Reston, VA, E.U.A.
- Leakey, A. D., E. A. Ainsworth, C. J. Bernacchi, A. Rogers, S. P. Long y D. Ort. 2009. Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. *J. Exp. Bot.* 60:2859-2876.
- Lenhart, P. A., M. D. Eubanks y S. T. Behmer. 2015. Water stress in grasslands: dynamic responses of plants and insect herbivores. *OIKOS*. 124:381-390.
- Li, X. H., D. M. Jiang, Alamusa, Q. L. Zhou y T. Oshida. 2012. Comparison of seed germination of four *Artemisia* species (Asteraceae) in northeastern Inner Mongolia, China. *J. Arid Land*. 4:36-42.
- Lovell, J. T., S. Schwartz, D. B. Lowry, E. V. Shakirov, J. E. Bonnette, X. Weng, M. Wang, J. Johnson, A. Sreedasyam, Ch. Plott, J. Jenkins, J. Schmutz y T. E. Juenger. 2016. Drought responsive gene expression regulatory divergence between upland and lowland ecotypes of a perennial C₄ grass. *Genome Res.* 26:510-518.

- Mac Dougall, A. S., S. D. Wilson y J. D. Bakker. 2008. Climatic variability alters the outcome of long-term community assembly. *J. Ecol.* 96: 346–354.
- Mall, U. y G. S. Singh. 2014. Soil seed bank dynamics: history and ecological significance in sustainability of different ecosystems. En: Fulekar, M. H., B. Pathak y R. K. Kale, eds. *Environment and sustainable development*. Springer, New Delhi, India.
- Manea, A., M. R. Leishman y P. O. Downey. 2011. Exotic C4 grasses have increased tolerance to glyphosate under elevated carbon dioxide. *Weed Sci.* 59:28-36.
- Mastalerczuk, G., B. Borawska-Jarmułowicz y H. M. Kalaji. 2017. Response of kentucky bluegrass lawn plants to drought stress at early growth stages. *Pak. J. Agri. Sci.* 54:791-797.
- Mata-González, R., M. A. B. Abdallah, R. Trejo-Calzada y C. Wan. 2016. Growth and leaf chemistry of *Atriplex* species from Northern Mexico as affected by salt stress. *Arid Land Res. Manag.* 31:57–70.
- Melgoza, A., M. Royo y C. Ortega-Ochoa. 2014b. Sobrepastoreo. En: *La biodiversidad en Chihuahua Estudio de Estado*. CONABIO, México.
- Melgoza, A., M. I. Balandrán, R. Mata-González y C. Pinedo. 2014a. Biología del pasto rosado *Melinis repens* (Willd.) e implicaciones para su aprovechamiento o control. Revisión. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 5:429-442.
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. Van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant y T. J. Wilbanks. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature.* 463:747-756.
- Mummey, D. L., M. E. Herget, K. M. Hufford y L. Shreading. 2016. Germination timing and seedling growth of *Poa secunda* and the invasive grass, *Bromus tectorum*, in response to temperature: evaluating biotypes for seedling traits that improve establishment. *Ecol. Restor.* 34:200-208.
- Munson, S. M., E. H. Muldavin, J. Belnap, D. P. C. Peters, J. P. Anderson, M. H. Reiser, K. Gallo, A. Melgoza-Castillo, J. E. Herrick y T. A. Christiansen. 2013. Regional signatures of plant response to drought and elevated temperature across a desert ecosystem. *Ecol. Society America.* 94:2030-2041.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2019. Global climate change: Vital signs of the planet 2019. En: <http://climate.nasa.gov>. Consultado 19 Mayo 2019.
- National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). 2013. The history of atmospheric carbon dioxide on earth 2013. En: <http://www.Planetforlife.Com/CO2history/>.

- Ortega-S., J. A., F. A. Ibarra-Flores, A. Melgoza, E. A. Gonzalez-Valenzuela, M. H. Martin-Rivera, J. M. Ávila-Curiel, F. Ayala-Alvares, C. Pinedo y O. Rivero. 2013. Exotic grasses and wildlife in northern Mexico. *Wildlife Soc. B.* 37:537-545.
- PACP-Ch. 2011. Plan de acción para la conservación y uso sustentable de los pastizales del desierto chihuahuense en el estado de Chihuahua 2011-2016. Guzmán-Aranda, J. C., J. Hoth y E. Blanco, eds. Gobierno del Estado de Chihuahua, México.
- Painter, E. L., J. K. Detling y D. A. Steingraeber. 1993. Plant morphology and grazing history: relationships between native grasses and herbivores. *Plant Ecol.* 106:37-62.
- Panchal, K. R., N. R. Pandya, S. Albert y D. J. Gandhi. 2011. Germination responses of several Poaceae members towards differential storage durations. *Not. Sci. Biol.* 3:44-50.
- Paredesa, M. V. F., A. L. N. da Cunha, C. Mussoa, S. S. Airesa, M. N. Satoa y H. S. Miranda. 2018. Germination responses of native and invasive Cerrado grasses to simulated fire temperatures. *Plant Ecol. Divers.* 11:193-203.
- Paz, F. y J. C. Wong. Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México.
- Petursdottir, T., O. Arnalds, S. C. Baker, L. Montanarella y A. Aradóttir. 2013. A social–ecological system approach to analyze stakeholders’ interactions within a large-scale rangeland restoration program. *Ecol. Soc.* 18:29.
- Pinedo-Álvarez, C., M. Rentería-Villalobos, V. Aguilar-Soto, J. H. Vega-Mares y A. Melgoza-Castillo. 2019. Distribution dynamics of *Picea chihuahuana* Martínez populations under different climate change scenarios in Mexico. *Global Ecol. Conserv.* 17:e00559.
- Polley, H. W., C. R. Tischler y H. B. Johnson. 2006. Elevated atmospheric CO₂ magnifies intra-specific variation in seedling growth of honey mesquite: an assessment of relative growth rates. *Rangeland Ecol. Manage.* 59:128–134.
- Pool, D. B., A. O. Panjabi, A. Macías-Duarte y D. M. Solhjem. 2014. Rapid expansion of croplands in Chihuahua, Mexico threatens declining North American grassland bird species. *Biol. Conserv.* 170:274-281.
- Prado-Tarango, D., R. Mata-González, A. Melgoza-Castillo, S. G. Elias y E. Santellano-Estrada. 2019. Simulated rainfall sequences affect germination and biomass allocation of Chihuahuan desert native plants. *Arid Land Res. Manag.* 33: 22–36.

- Ramírez, H., C. B. Peña, J. R. Aguirre, J. A. Reyes, A. B. Sánchez y S. Valle. 2012. Seed germination temperatures of eight Mexican Agave species with economic importance. *Plant Spec. Biol.* 27:124-137.
- Rantala-Sykes, B. y D. Campbell. 2019. Should I pick that? A scoring tool to prioritize and value native wild seed for restoration. *Restor. Ecol.* 27:9-14.
- Reyes-Gómez, V. M. y D. Núñez-López. 2014. Ecosistemas y uso de suelo, en: *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. CONABIO. México.
- Royo, M. 2014. Descripción geográfica y fisiográfica del pastizal. Pastizal, en: *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. CONABIO. México.
- Royo, M. H. y A. Melgoza. 2001. Listado florístico del Campo Experimental La Campana y usos de su flora. *Téc. Pecu. Méx.* 29:105-126.
- Sáenz-Flores, E., R. A. Saucedo-Terán, C. R. Morales-Nieto, P. Jurado-Guerra, C. R. Lara-Macías, A. Melgoza-Castillo y J. Á. Ortega-Gutiérrez. 2015. Producción y calidad de semilla de pastos forrajeros como respuesta a la fertilización en Aldama, Chihuahua. *Tecnociencia* 9:111-119.
- Sandel, B. y E. M. Dangremond. 2012. Climate change and the invasion of California by grasses. *Global Change Biol.* 18:277-289.
- Sanguinetti, J., L. Buria, L. Malmierca, A. E. Valenzuela, C. Núñez, H. Pastore, L. Chauchard, N. Ferreyra, G. Massaccesi, E. Galloc y C. Chehébar. 2014. Manejo de especies exóticas invasoras en Patagonia, Argentina: Priorización, logros y desafíos de integración entre ciencia y gestión identificados desde la Administración de Parques Nacionales. *Ecología Austral.* 24:183-192.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2005. Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales. En: <http://www.semarnat.gob.mx>. Consultado 22 Septiembre 2015.
- Shaw, M. R., E. S. Zavaleta, N. R. Chiariello, E. E. Cleland, H. A. Mooney y C. B. Field. 2002. Grassland Responses to Global Environmental Changes Suppressed by Elevated CO₂. *Science* 298:1987-1990.
- Smith, S. D., T. E. Huxman, S. F. Zitzer, T. N. Charlet, D. C. Housman, J. S. Coleman, L. K. Fenstermaker, J. R. Seemann y R. S. Nowak. 2000. Elevated CO₂ increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature* 408: 79-82.
- Sorte, C. J. B., I. Ibáñez, D. M. Blumenthal, N. A. Molinari, L. P. Miller, E. D. Grosholz, J. M. Diez, C. M. D'Antonio, J. D. Olden, S. J. Jones y J. S. Dukes. Poised to prosper? A cross-system comparison of climate change effects on native and non-native species performance. *Ecol. Lett.* 16:261-270.

- Stokes, C. A., G. E. MacDonald, C. R. Adams, K. A. Langeland y D. L. Miller. 2011. Seed biology and ecology of natalgrass (*Melinis repens*). *Weed Sci.* 59:527-532.
- Stypczyńska, Z., A. Dziamski, J. Schmidt y E. Jendrzyszczak. 2012. Reaction of lawn grasses cultivars of genus *Festuca* on water deficits and the sod regeneration level based on morphometric root experiments. *Acta Sci. Pol. Agricultura* 11:85-94.
- Tang, J., J. Chen y X. Chen. 2006. Response of 12 weedy species to elevated CO₂ in low-phosphorus-availability soil. *Ecol. Res.* 21:664-670.
- Tobe, K., L. P. Zhang y K. Omasa. 2005. Seed germination and seedling emergence of three annuals growing on desert sand dunes in China. *Ann Bot.* 95:649-65.
- Trachsel, S., P. Stamp y A. Hund. 2010a. Growth of axile and lateral roots of maize: Response to desiccation stress induced by polyethylene glycol 8000. *Maydica* 55: 101-109.
- Trachsel, S., P. Stamp y A. Hund. 2010b. Effect of high temperatures, drought and aluminum toxicity on root growth of tropical maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Maydica* 55: 249-260.
- Turnbull, L., J. Wainwright y R. E. Brazier. 2010. Changes in hydrology and erosion over a transition from grassland to shrubland. *Hydrol. Process.* 24:393-414.
- Verdú, M. y A. Traveset. 2005. Early emergence enhances plant fitness: a phylogenetically controlled meta-analysis. *Ecology* 86:1385-1394.
- Vonlanthen, B., X. Zhang y H. Bruehlheide. 2010. Clonal structure and genetic diversity of three desert phreatophytes. *Am. J. Bot.* 97:234-242.
- Weiss, J. L., C. L. Castro y J. T. Overpeck. 2009. Distinguishing pronounced droughts in the southwestern United States: seasonality and effects of warmer temperatures. *J. Climate* 22:5918-5932.
- Wellstein, C., P. Poschlod, A. Gohlke, S. Chelli, G. Campetella, S. Rosbakh, R. Canullo, J. Kreyling, A. Jentsch y C. Beierkuhnlein. 2017. Effects of extreme drought on specific leaf area of grassland species: A meta-analysis of experimental studies in temperate and sub-Mediterranean systems. *Global Change Biol.* 23: 2473-2481.
- Xu, Z., Y. Jiang, B. Jia y G. Zhou. 2016. Elevated-CO₂ response of stomata and its dependence on environmental factors. *Front. Plant Sci.* 7:657.
- Yepes, A. y M. S. Buckeridge. 2011. Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global: Revisión. *Colomb. Forest* 14: 213-232.
- Young, A. J., D. Guo, P. G. Desmet y G. F. Midgley. 2016. Biodiversity and climate change: Risks to dwarf succulents in Southern Africa. *J. Arid Environ.* 129: 16-24.

Zhu, Y., X. Yang, C. C. Baskin, J. M. Baskin, M. Dong y Z. Huang. 2014. Effects of amount and frequency of precipitation and sand burial on seed germination, seedling emergence and survival of the dune grass *Leymus secalinus* in semiarid China. *Plant Soil* 374:399–409.

**ESTUDIO 1. PATRONES DE GERMINACIÓN EN GRAMÍNEAS PRESENTES
EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE**

RESUMEN

PATRONES DE GERMINACIÓN EN GRAMÍNEAS PRESENTES EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE

POR:

M. C. OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

Doctor in Philosophia en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Ph. D. Alicia Melgoza Castillo

El conocimiento de las estrategias de germinación y desarrollo de la plántula en ecosistemas áridos es importante para entender las adaptaciones en esta etapa crítica para sobrevivir. El objetivo de este trabajo fue evaluar características de germinación y desarrollo de plántula en 41 especies silvestres de gramíneas presentes en el desierto Chihuahuense. Las semillas se colocaron en una germinadora a una temperatura constante de 27 ± 2 °C. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, velocidad de germinación, índice de germinación, tiempo de germinación y desarrollo de raíz y plúmula (R:P). Del total de las especies evaluadas solo en 22 se obtuvo germinación (16 nativas y 6 exóticas). La germinación varió desde 3 hasta 76 %, sin un patrón entre nativas y exóticas. Independientemente del origen, la mitad de las especies presentaron germinación en los tres primeros días. La velocidad de germinación mayor fue para *Leptochoa dubia*, 9.1 semillas por día, y el menor para *Eragrostis lehmanniana*, 0.3. El tiempo de germinación promedio para las especies fue de

3.8 d. Las mayores proporciones R:P fueron de 1.0 a 4.0 en 6 especies nativas y 3 exóticas; y las menores de 0.33 a 0.44 en 3 nativas y una exótica. Con base en la rapidez de germinación y desarrollo de radícula, dos especies nativas y dos exóticas pueden establecerse en períodos cortos de humedad. Sin embargo, bajo patrones de lluvia incierta comunes en zonas áridas esto podría tener desventajas en todas las especies, ya que agotan los bancos de semilla en suelo.

ABSTRACT

GERMINATION PATTERNS IN GRASSES PRESENTS IN CHIHUAHUAN DESERT

BY:

OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

Data on germination and seedling development in arid ecosystems is important in order to understand species survival at this critical stage. The objective of this work was to evaluate germination characteristics and seedling development in 41 wild grass species present in the Chihuahuan desert. The seeds were incubated at constant temperature of 27 ± 2 °C. The variables evaluated were: germination percentage, germination velocity, germination index, germination time and root and shoot development (R:S). From the total of seed species, only 22 germinated (16 natives and 6 exotic). The germination varied from 3 to 76 %, no pattern was observed between native and exotic species. Regardless of the origin, half of the species presented germination in the first 3 days. The highest ($P < 0.05$) germination velocity was for *Leptochloa dubia*, 9.1 seeds d^{-1} and the lowest was for *Eragrostis lehmanniana*, 0.3. The average germination time for the species was 3.8 d. At 7 d after the seedling was developed, the highest R:S ratios ($P < 0.05$) were 1 to 4 in 6 native and 3 exotic species; while those under 0.33 to 0.44 were presented in 3 natives and one exotic. Based on the germination velocity and radicle development, two native and two exotic species can be established in short periods of moisture. However, under uncertain rain patterns common in arid areas this could have disadvantages as they deplete the soil seed banks.

INTRODUCCIÓN

Todos los ecosistemas presentan algún grado de deterioro debido al cambio ambiental global. En el ecosistema pastizal se han identificado como principales problemas causantes de deterioro: el cambio de uso de suelo, fragmentación, invasión de especies exóticas, sobrepastoreo, entre otras (Curtin *et al.*, 2002; Mata-González *et al.*, 2007; Moreira *et al.*, 2012; Pool *et al.*, 2014; Butikofer *et al.*, 2018). Aunado a estos problemas, todos los ecosistemas están sujetos a los efectos del cambio climático (Zanin y Mangabeira-Alberna, 2016; Yao *et al.*, 2019). Los rápidos cambios en temperatura y reducciones en precipitación darán como resultado importantes recambios en la estructura e indudablemente cambios en la funcionalidad de los ecosistemas (Evans *et al.*, 2011). Así, los servicios del ecosistema se verán afectados tanto en su cantidad como calidad, esto tendrá repercusiones en la calidad de vida del ser humano (Havstad *et al.*, 2007; Ceballos *et al.*, 2010).

En la restauración de la funcionalidad de los ecosistemas, la recuperación de la vegetación es la práctica más común; a pesar de sus altos costos e incertidumbre. Sólo en el oeste de los Estados Unidos se requieren anualmente cientos de toneladas de semilla que representan millones de dólares (Knutson *et al.*, 2009; Kildisheva *et al.*, 2016). Aunado a esto, el conocimiento científico sobre la biología de la semilla de especies para restauración es básica para incrementar las probabilidades de éxito (Panchal *et al.*, 2011; Aires *et al.*, 2013; Kildisheva *et al.*, 2018). Un nuevo mercado de recolecta, evaluación y selección de especies silvestres está en desarrollo. Por lo que la evaluación de la germinación y desarrollo de plántula de especies silvestres es importante para dar un valor a

este recurso. Por otra parte, además de investigación sobre la calidad de la semilla y estrategias de germinación, el esfuerzo de recolecta, limpieza y tiempo de almacenaje son factores que deben ser incluidas en la restauración de especies nativas (Rantala-Sykes y Cambel, 2019).

En zonas áridas y semiáridas, la poca humedad y altas temperaturas son limitantes para el establecimiento de plántulas (Prado-Tarango *et al.*, 2019). Por lo que conocer las estrategias de germinación y desarrollo de la plántula en estos ambientes es clave para seleccionar especies con mayores probabilidades de sobrevivencia (Mummey *et al.*, 2016). El conocimiento de la biología de las semillas no solo es importante en programas de restauración; también proporciona las bases para el control y/o manejo de especies invasoras, tanto exóticas como nativas.

La cantidad de semillas y su capacidad para germinar se asocian a las mayores probabilidades de establecimiento y en algunos casos explican comportamientos invasivos. Sin embargo, cada especie que persiste tiene diferentes características que se combinan para su establecimiento y sobrevivencia (Tielboörger y Valleriani, 2005; Vandeloos *et al.*, 2008; Duchini *et al.*, 2018). En un trabajo con tres gramíneas exóticas invasoras y tres nativas del desierto Chihuahuense, se encontraron valores de germinación de 3 a 90 %, sin un patrón entre estos dos grupos (Carrillo *et al.*, 2009). El porcentaje de germinación de un lote de semillas depende de factores como: etapa fenológica de la planta, condiciones ambientales locales, tiempo y condiciones de almacenaje, entre otras (Boeken *et al.*, 2004; Panchal *et al.*, 2011). Por otra parte, características como velocidad de germinación y un rápido desarrollo de la

plántula, entre otras, son estrategias relacionadas a la historia evolutiva de las especies que finalmente determinan sobrevivencia (Baskin y Baskin, 2014; Duchini *et al.*, 2018). La velocidad de germinación refleja la estrategia para aprovechar los patrones de humedad en zonas áridas (Esqueda *et al.*, 2005; Prado-Tarango *et al.*, 2019). En plantas silvestres de Australia, Jurado y Westoby (1992) clasificaron en tres categorías la germinación de 150 especies en: rápida cuando el 50 % de la semilla germinaba en los primeros tres días, media cuando este porcentaje se presentaba entre el día cuatro al seis y lenta del día siete al nueve. De este trabajo se concluye que especies con rápida germinación aprovechan los periodos cortos de humedad; sin embargo, las de lenta germinación mantienen bancos de semilla debido a la incertidumbre de la humedad suficiente para lograr el establecimiento.

Otro aspecto importante en el establecimiento de plántulas, especialmente en zonas áridas, es la rapidez con la que la radícula se desarrolla para utilizar la humedad disponible. Mummey *et al.* (2016) probaron varias accesiones de la gramínea nativa *Poa secunda* para reestablecerla en áreas invadidas con *Bromus tectorum*. Con base en los resultados, la accesión High Plains fue la seleccionada para programas de restauración debido a su rápida germinación y elongación de raíz. La gramínea invasora *Bromus inermis* germinó 2 d antes y cinco veces más que la nativa *Pascopyrum smithii* (Schantz y Espeland, 2016). Bajo este esquema, una restauración de la gramínea nativa no tendría éxito, por lo que se deben de seleccionar otras especies que puedan desarrollarse más rápidamente u otras prácticas para reducir la presencia de la especie invasora.

El desierto Chihuahuense presenta una riqueza florística única (Estrada y

Villarreal, 2010), especialmente en los pastizales (Vega-Mares *et al.*, 2014; Herrera y Peterson, 2018). Esta riqueza representa la oportunidad de evaluar especies que puedan presentar mejor posibilidad de establecimiento al usarse en programas de restauración (Melgoza *et al.*, 2007). Así, el conocimiento de la biología de la germinación puede ser utilizada tanto para programas de propagación como de control en el caso de gramíneas exóticas invasoras. Este trabajo es parte de un proyecto a largo plazo sobre propagación de especies para restauración. El objetivo fue evaluar características de germinación y desarrollo de plántula en 22 especies de gramíneas presentes en el desierto Chihuahuense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Especies Utilizadas

Las especies utilizadas se muestran en el Cuadro 1. La edad de la semilla varió de dos a tres años y se almacenaron en bolsas de papel bajo condiciones de laboratorio. La semilla fue recolectada de por lo menos 20 plantas en campo durante la etapa de madurez.

Metodología

El material recolectado fue limpiado en el invernadero para extraer solamente la semilla. Para cada especie se utilizaron cuatro cajas Petri con 25 semillas en un sustrato de algodón y papel filtro, se utilizó un diseño completamente al azar con 4 repeticiones. Las cajas Petri fueron colocadas al azar en germinadora Precision Scientific modelo 6M a una temperatura constante de 27 ± 2 °C. Las semillas se mantuvieron a húmedas con agua destilada. Diariamente se realizaron observaciones para cuantificar semilla germinada. Se consideró semilla germinada cuando la radícula presentaba 2 mm de largo. Una vez cuantificada, la semilla germinada fue eliminada de la caja Petri para facilitar posteriores conteos. La prueba de germinación se realizó durante un período de 28 d.

Variables Evaluadas

Germinación estándar. El porcentaje de germinación se obtuvo con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{semillas germinadas}}{\text{total de semillas}} * 100$$

Rangos de germinación (RG). Germinación rápida (R) cuando germinan

Cuadro 1. Especies utilizadas en las pruebas de germinación y algunas de sus características

Especie	Origen*	Ciclo#
<i>Bouteloua curtipendula</i>	N	P
<i>Bouteloua dactyloides</i>	N	P
<i>Bouteloua eriopoda</i>	N	P
<i>Bouteloua gracilis</i>	N	P
<i>Bouteloua hirsuta</i>	N	P
<i>Bouteloua repens</i>	N	P
<i>Bouteloua rigidiseta</i>	N	P
<i>Chloris virgata</i>	N	A
<i>Digitaria californica</i>	N	P
<i>Eragrostis curvula</i>	I	P
<i>Eragrostis echinocloidea</i>	I	P
<i>Eragrostis lehmanniana</i>	I	P
<i>Eragrostis superba</i>	I	P
<i>Heteropogon contortus</i>	N	P
<i>Hilaria mutica</i>	N	P
<i>Leptochloa dubia</i>	N	P
<i>Melinis repens</i>	I	A/P
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	N	P
<i>Muhlenbergia macroura</i>	N	P
<i>Muhlenbergia rigida</i>	N	P
<i>Pappophorum bicolor</i>	N	P
<i>Pennisetum ciliare</i>	I	P

*Origen: N=Nativo, I=Introducido.

#Ciclo: A=Anual, P=Perenne.

al menos el 50 % durante los primeros tres días de que la semilla es expuesta a la humedad, media (M) cuando el 50 % germina entre el cuarto y séptimo día y (L) lenta cuando el 50 % de la germinación es después del día siete (Jurado y Westoby, 1992).

Velocidad de germinación (VG). Esta variable se obtuvo con base en la siguiente fórmula (Maguire, 1962)

$$VG = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{N_i}$$

Donde:

G_i : representa el número semillas germinadas en el i -ésimo día.

N_i : representa el número de días desde la iniciación del ensayo de germinación.

Índice de germinación (IG). Éste índice se obtuvo mediante la fórmula siguiente (Scott *et al.*, 1984).

$$IG = \frac{\sum_{t=1}^n T_i N_i}{S}$$

Dónde:

T_i : representan número de días desde la iniciación del ensayo de germinación.

N_i : representan número semillas germinadas en el i -ésimo día.

S : representa el número total de semillas utilizadas

Tiempos de germinación. Con base en las observaciones diarias se cuantificó el primer día de germinación (PDG) y el último (UDG) para así calcular el tiempo medio en que germina la semilla (TG).

Proporción radícula:plúmula (R:P). Al séptimo día de germinada la

semilla se midió para obtener sus proporciones de radícula:plúmula (R:P).

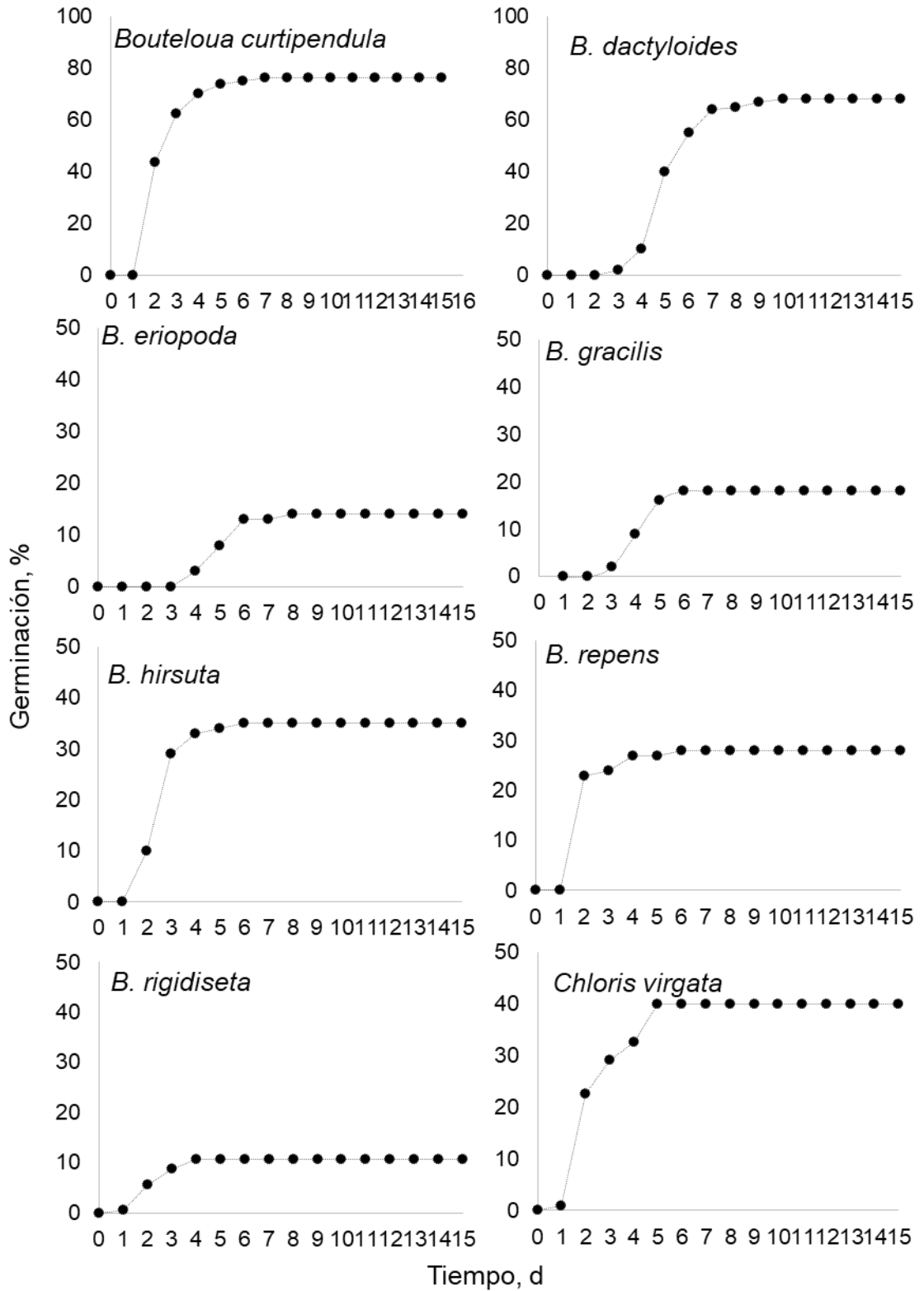
Análisis Estadístico

Para determinar las especies con mayores valores en las características de germinación y desarrollo, los datos de VG, IG, PDG, UDG, TG y proporción R:P se sometieron a un análisis de varianza, para lo cual se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (versión 9.1.3; SAS Institute, Inc.), ajustando un modelo con una sola vía (la especie) de clasificación. Cuando la prueba de F resultó significativa, la separación de medias se llevó a cabo con la prueba de Tukey. Para la tasa de germinación solo se obtuvieron las gráficas de porcentajes de germinación acumulada a través del tiempo de observación, tal como lo reportan autores como Scott *et al.* (1984), Renal y Garcia de Santan (2006) y McNair *et al.* (2012), quienes señalan que el tiempo y la sincronía son las variables más importantes a considerar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

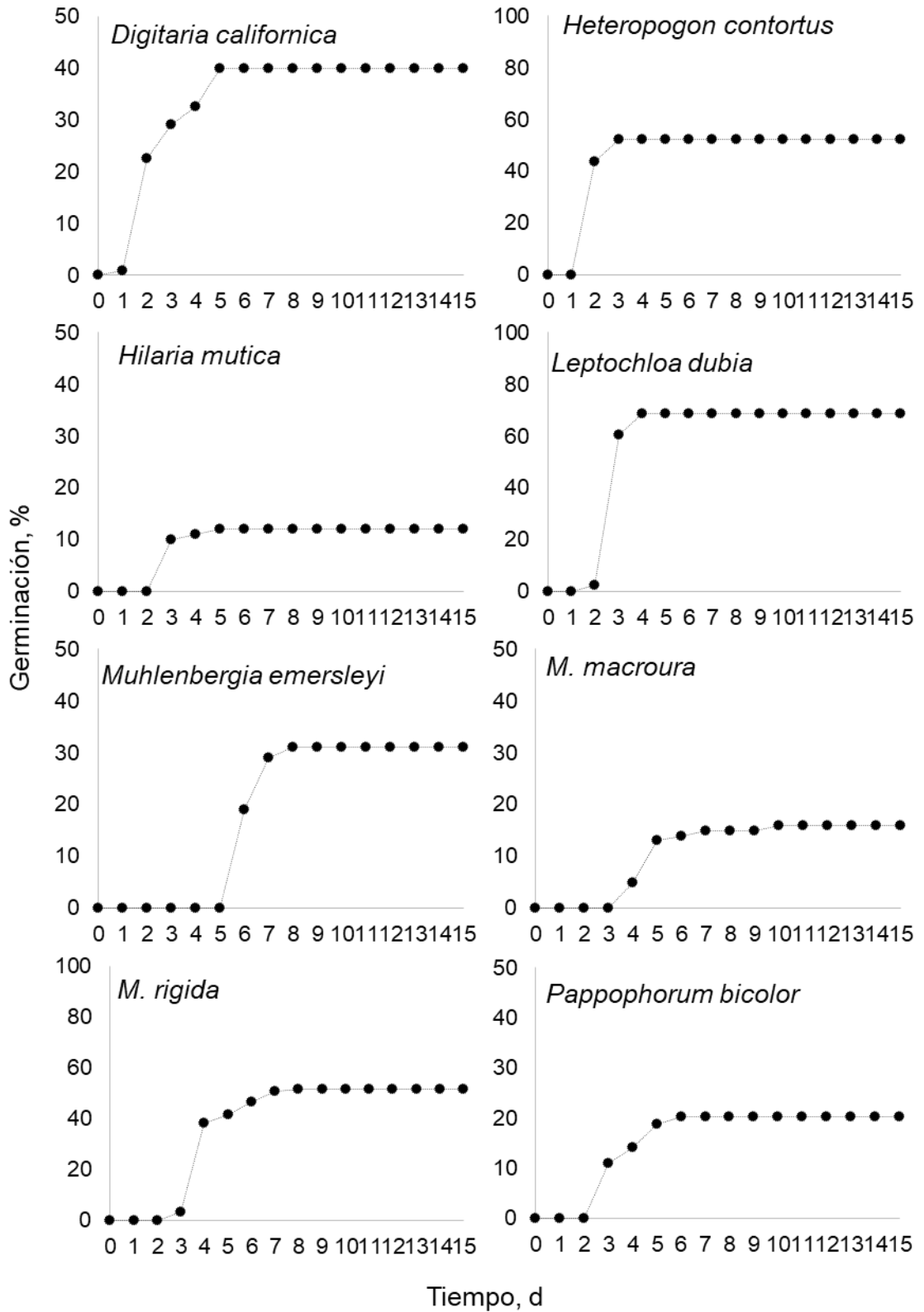
Germinación Estándar

Las características de germinación y desarrollo de plántula presentaron una amplia variación entre las especies, sin un patrón entre nativas y exóticas. Las Gráfica 1 y 2 muestran la germinación acumulada para las especies nativas y exóticas, respectivamente. Las gráficas resumen variables de germinación como inicio, su comportamiento a través del tiempo y extensión de ésta (Brown y Mayer, 1988). La germinación varió de 3.75 % en *Eragrostis lehmanniana* hasta 76.3 % en *Bouteloua curtipendula*. Para ambos tipos de gramíneas evaluadas, exóticas y nativas, alrededor de la mitad de las especies presentaron valores superiores al 50 %. La variación en germinación es debida a múltiples factores, desde condiciones donde se produjo la semilla hasta el manejo de ésta una vez cosechada (Boeken *et al.*, 2004; Panchal *et al.*, 2011). Comúnmente las especies nativas *B. curtipendula* y *L. dubia* se han reportado con tasas de germinación de 50 a 90 % (Ferrari y Parera, 2015; Sáenz-Flores *et al.*, 2015; Gallagher y Wagenius, 2016; Álvarez-Holguín *et al.*, 2017); mientras que las especies exóticas, *E. lehmanniana* y *Melinis repens* presentan porcentajes de germinación de 3 a 30 % (Carrillo *et al.*, 2009; Stokes *et al.*, 2011; Álvarez-Holguín *et al.*, 2017). La cuantificación de la germinación es una variable de suma importancia en programas de restauración, ya que representa cuanta semilla utilizar, esta refleja la calidad de la semilla en un tiempo dado (Shaban, 2013; Rantala-Sykes y Cambel, 2019). Por otro lado, el tiempo y sincronía de germinación son características que dependen de la biología de las especies, no de las condiciones ambientales en un tiempo dado (Renal y Garcia de Santan, 2006).

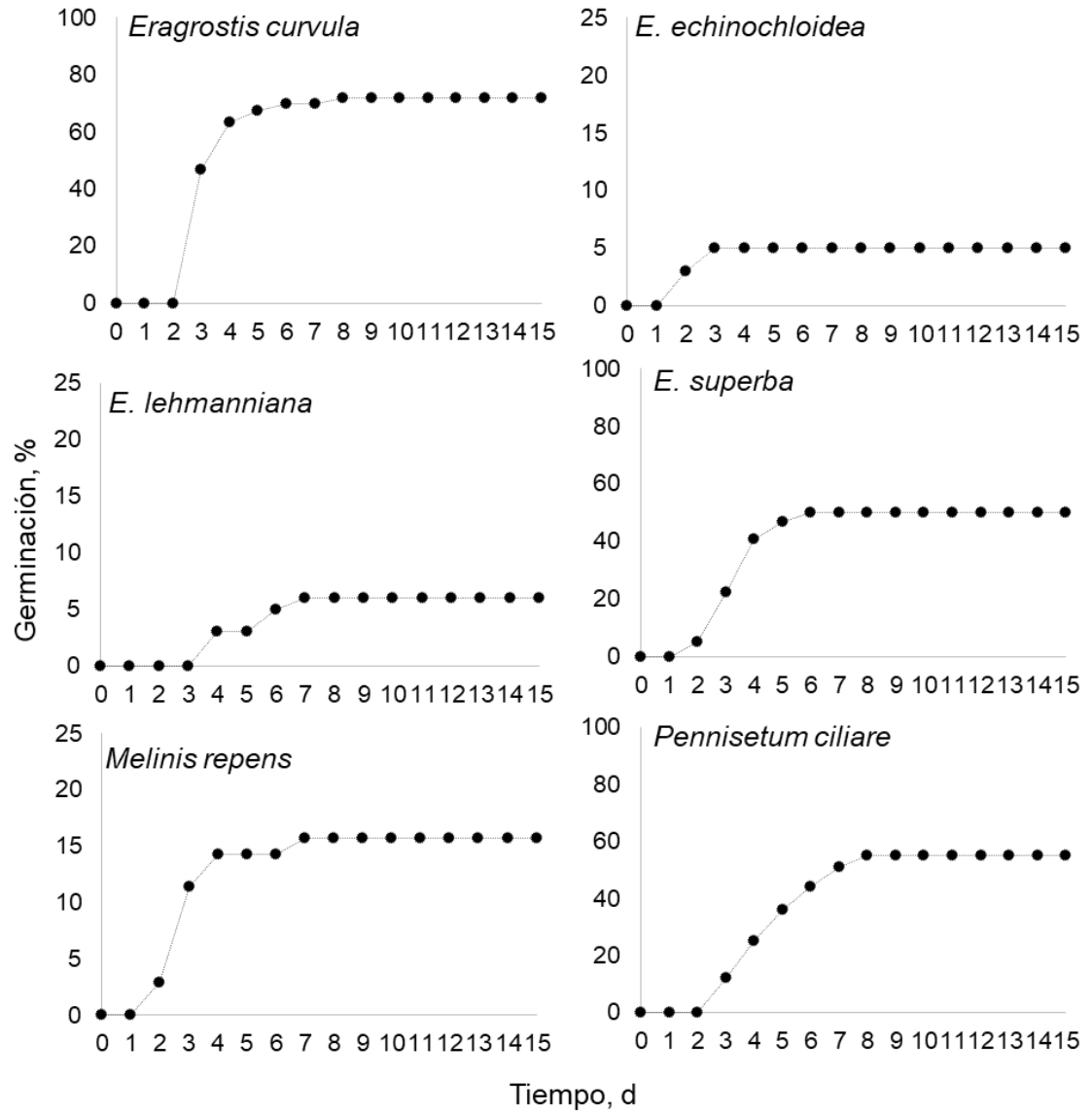


Gráfica 1. Comportamiento de la germinación de especies nativas del desierto Chihuahuense.

Continuación



Gráfica 1. Comportamiento de la germinación de especies nativas del desierto Chihuahuense.



Gráfica 2. Comportamiento de la germinación de especies exóticas del desierto Chihuahuense.

Estas características son relevantes para entender la etapa más crítica de las especies vegetales, cuando se utilizan en los planes de restauración o manejo de especies invasoras. Existe una diversidad de fórmulas e índices propuestos para la evaluación de la germinación. Todos tienen sus pros y contras, pero en lo que los diversos autores concuerdan es que deben de responder a las hipótesis y objetivos de las investigaciones (Scott *et al.*, 1984; Renal y Garcia de Santan, 2006; McNair *et al.*, 2012).

Velocidad de Germinación (VG)

Con base en el término R_{50} (Thomson y El-Kassaby, 1993) que representa cuantos días se requieren para que el 50 % de un lote de semillas germine y de acuerdo a la clasificación de Jurado y Westoby (1992), en este estudio la mitad de las especies exóticas y nativas presentó germinación rápida, la otra mitad presentó germinación media y ninguna resultó con germinación lenta (Cuadro 2). Con base en esta información, el 50 % de las semillas de todas las especies evaluadas germinan en menos de una semana. Las especies que mostraron una germinación rápida tienen la oportunidad de aprovechar periodos cortos de humedad para establecerse, comunes en zonas áridas. La VG representa el número de semillas germinadas por día: Los valores mayores ($P < 0.05$) de VG se presentaron en las especies nativas *B. curtipendula* con 7.72, *Heteropogon contortus* con 6.6 y *L. dubia* con 5.66 y la exótica *E. curvula* con 5.3 semillas d^{-1} . Las especies nativas con menores ($P < 0.05$) VG fueron *B. eriopoda* con 0.68, *Muhlenbergia macroura* con 0.81 e *Hilaria mutica* con 0.95; las exóticas fueron *E. echinocloidea* con 0.54 y *E. lehmanniana* con 0.31 semillas d^{-1} . Las especies con valores altos pueden aprovechar los periodos cortos de humedad, pero el

Cuadro 2. Medias (\pm EE) de las diferentes variables en las gramíneas evaluadas y presentes en el desierto Chihuahuense

Especies	RG	VG, semillas d ⁻¹	IG	PDG, d	UDG, d	TG, d	R:P
<i>Bouteloua curtipendula</i>	R	7.8 \pm 0.8 ^a	2.1 \pm 0.2 ^{bc}	2 \pm 0 ^d	5 \pm 1 ^{bcde}	4 \pm 0.7 ^{abcde}	0.6 \pm 0.1 ^{def}
<i>B. dactyloides</i>	M	3.2 \pm 0.3 ^{ef}	3.3 \pm 0.3 ^a	4 \pm 0.5 ^{abcd}	9 \pm 1 ^a	6 \pm 0.7 ^a	0.9 \pm 0.2 ^{cdef}
<i>B. eriopoda</i>	M	0.7 \pm 0.1 ^h	0.8 \pm 0.2 ^{efgh}	5 \pm 0.3 ^{abc}	6 \pm 1 ^{abcd}	3 \pm 0.9 ^{cde}	1.8 \pm 0.2 ^{bcd}
<i>B. gracilis</i>	M	1.0 \pm 0.1 ^h	0.8 \pm 0.2 ^{efgh}	4 \pm 0.4 ^{bcd}	5 \pm 1 ^{abcd}	3 \pm 0.5 ^{cde}	1.4 \pm 0.2 ^{bcdef}
<i>B. hirsuta</i>	R	1.4 \pm 0.6 ^{fgh}	0.7 \pm 0.3 ^{efgh}	3 \pm 0.9 ^{bcd}	4 \pm 1 ^{de}	2 \pm 0.4 ^{de}	0.6 \pm 0.2 ^{def}
<i>B. repens</i>	R	3.2 \pm 0.4 ^{ef}	0.7 \pm 0.1 ^{efgh}	2 \pm 0 ^d	5 \pm 1 ^{bcde}	4 \pm 0.5 ^{abcde}	0.4 \pm 0 ^{ef}
<i>B. rigidiseta</i>	R	1.2 \pm 0.2 ^{gh}	0.3 \pm 0 ^{fgh}	2 \pm 0.3 ^d	4 \pm 0 ^{cde}	3 \pm 0.4 ^{bcde}	0.4 \pm 0.1 ^{ef}
<i>Chloris virgata</i>	R	4.1 \pm 0.8 ^{cde}	1.2 \pm 0.3 ^{def}	2 \pm 0.3 ^d	5 \pm 0 ^{bcde}	4 \pm 0.3 ^{abcd}	0.6 \pm 0.1 ^{def}
<i>Digitaria californica</i>	M	1.5 \pm 0.2 ^{fgh}	0.9 \pm 0.1 ^{efgh}	3 \pm 0 ^{bcd}	6 \pm 1 ^{abcd}	4 \pm 0.5 ^{abcde}	2 \pm 0.3 ^{bc}
<i>Eragrostis curvula</i>	R	5.3 \pm 0.2 ^{bcd}	2.6 \pm 0.1 ^{ab}	3 \pm 0 ^{bcd}	7 \pm 1 ^{abc}	5 \pm 0.6 ^{abc}	1.1 \pm 0.1 ^{cdef}
<i>E. echinochloidea</i>	R	0.5 \pm 0.2 ^h	0.1 \pm 0.1 ^h	2 \pm 0.5 ^d	2 \pm 0 ^e	2 \pm 0.3 ^e	0.4 \pm 0.2 ^{ef}

RG= Rango de Germinación: Rápido (R), Mediano (M) y Lenta (L) (Jurado y Westoby, 1992); VG= Velocidad de Germinación; IG= Índice de Germinación; PDG= Primer Día de germinación; UDG= Último Día de Germinación; TG= Tiempo de Germinación; R:P= Proporción Radícula/Plúmula

^{abc} Literales diferentes denotan diferencia estadística dentro de columnas (P <0.05).

Continuación

Cuadro 2. Medias (\pm EE) de las diferentes variables en las gramíneas evaluadas y presentes en el desierto Chihuahuense

Especies	RG	VG, semillas d ⁻¹	IG	PDG, d	UDG, d	TG, d	R:P
<i>Eragrostis lehmanniana</i>	M	0.3 \pm 0.2 ^h	0.2 \pm 0.2 ^{gh}	4 \pm 1.4 ^{abcd}	5 \pm 1 ^{bcde}	2 \pm 0.5 ^{de}	0.8 \pm 0.3 ^{cdef}
<i>E. superba</i>	M	3.7 \pm 0.2 ^{de}	1.9 \pm 0.1 ^{bcd}	2 \pm 0.3 ^{cd}	6 \pm 0 ^{abcd}	4 \pm 0.5 ^{abcd}	1.2 \pm 0.1 ^{cdef}
<i>Heteropogon contortus</i>	R	6.2 \pm 0.6 ^{ab}	1.1 \pm 0.1 ^{efgh}	2 \pm 0 ^d	3 \pm 0 ^{de}	2 \pm 0 ^{de}	0.8 \pm 0.1 ^{cdef}
<i>Hilaria mutica</i>	R	1 \pm 0.2 ^h	0.4 \pm 0.1 ^{fgh}	3 \pm 0 ^{bcd}	4 \pm 1 ^{cde}	2 \pm 0.5 ^{de}	1 \pm 0.2 ^{cdef}
<i>Leptochloa dubia</i>	R	5.7 \pm 0.3 ^{bc}	2.1 \pm 0.1 ^{bc}	2 \pm 0.3 ^{cd}	4 \pm 0 ^{cde}	3 \pm 0.3 ^{cde}	1.2 \pm 0.1 ^{cdef}
<i>Melinis repens</i>	R	1.3 \pm 0.4 ^{fgh}	0.5 \pm 0.1 ^{fgh}	3 \pm 0.3 ^{bcd}	5 \pm 1 ^{bcde}	4 \pm 1 ^{abcde}	2.7 \pm 0.6 ^{ab}
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	M	1.2 \pm 0.3 ^{gh}	1.5 \pm 0.2 ^{cde}	6 \pm 0 ^a	8 \pm 0 ^{ab}	3 \pm 0.3 ^{cde}	1.8 \pm 0.4 ^{bcde}
<i>M. macroura</i>	M	0.8 \pm 0.2 ^h	0.8 \pm 0.2 ^{efgh}	5 \pm 0.8 ^{ab}	6 \pm 1 ^{abcd}	3 \pm 0.6 ^{cde}	0.3 \pm 0 ^f
<i>M. rigida</i>	M	3 \pm 0.3 ^{efg}	2.1 \pm 0.2 ^{bc}	3 \pm 0.3 ^{bcd}	7 \pm 0 ^{abc}	5 \pm 0.3 ^{abc}	4 \pm 0.6 ^a
<i>Pappophorum bicolor</i>	M	1.4 \pm 0.4 ^{fgh}	0.8 \pm 0.2 ^{efgh}	4 \pm 0.5 ^{bcd}	5 \pm 1 ^{bcde}	2 \pm 0.4 ^{de}	0.7 \pm 0.1 ^{def}
<i>Pennisetum ciliare</i>	M	3.1 \pm 0 ^{efg}	2.4 \pm 0.3 ^{bc}	3 \pm 0 ^{bcd}	8 \pm 0 ^{ab}	6 \pm 0.3 ^{ab}	1 \pm 0.1 ^{cdef}

RG= Rango de Germinación: Rápido (R), Mediano (M) y Lenta (L) (Jurado y Westoby, 1992); VG= Velocidad de Germinación; IG= Índice de Germinación; PDG= Primer Día de germinación; UDG= Último Día de Germinación; TG= Tiempo de Germinación; R:P= Proporción Radícula/Plúmula.

^{abc} Literales diferentes denotan diferencia estadística dentro de columnas (P <0.05).

banco de semillas en suelo se reduce rápidamente. Por el contrario, las especies con valores bajos pueden mantener los bancos de semilla en suelo, lo que beneficia en caso de un evento de lluvia y posteriormente un período largo de sequía. En el caso específico del *E. lehmanniana*, el valor de VG pudiera contribuir a su comportamiento invasivo ante eventos de precipitación incierta.

Índice de Germinación (IG)

El IG es una tasa y no un valor específico en porcentaje. Los valores bajos de IG se interpretan como períodos cortos de germinación y valores altos como periodos más largos (Scott *et al.*, 1984). Los mayores IG en especies nativas se obtuvieron en *B. curtipendula*, *B. dactyloides*, *L. dubia* y *M. rigida*, con 2.09, 3.28, 2.12 y 2.13, respectivamente (Cuadro 2). Las especies exóticas con mayores IG fueron *E. curvula* y *Pennisetum ciliare*, con 2.86 y 2.37, respectivamente. Las especies nativas con bajos IG fueron *B. rigidiseta* e *Hilaria mutica* con 0.28 y 0.39, respectivamente. Las especies exóticas con bajos IG fueron *E. curvula*, *E. lehmanniana* y *Melinis repens* con 0.12, 0.24 y 0.48, respectivamente. Los bajos valores dan la oportunidad al aprovechamiento de períodos cortos de humedad, aunque la adaptación de las plantas en zonas áridas no depende de sólo una característica, sino a la combinación de varias estrategias.

Tiempo de Germinación (TG)

Esta variable indica la extensión en días desde que se observó la primera (PDG) y última semilla germinada (UDG), dentro del período de 21 d de la prueba. Si bien, el establecimiento de un tiempo fijo para la prueba de germinación ha sido criticado (McNair *et al.*, 2012), en campo es casi imposible que se pueda mantener una humedad constante por varios días. Por lo que las pruebas se han

establecido entre 21 a 28 d de evaluación, de acuerdo a los diferentes objetivos y aplicaciones (Baskin y Baskin, 2014). Con base en el significado de IG, los valores bajos deberían tener una relación con tiempos cortos en TG. En general, los valores altos y bajos de IG corresponden a TG en promedio de dos días. Sin embargo, la especie nativa *B. rigiseta* y la exótica *M. repens* no presentan este patrón.

Proporción Radícula-Plúmula (R:P)

Las proporciones de R:P variaron de 0.33 en *M. macroura* a 4.01 en *M. rigida* (Cuadro 2). Seis especies nativas y tres exóticas presentaron proporción R:P mayor de 1, lo que representa mayor inversión en largo de raíces con relación a la parte aérea (Poorter y Remkes, 1990; Mokany *et al.*, 2006). Los resultados concuerdan con lo reportado anteriormente para las especies *E. lehmanniana* con 0.80, *E. curvula* con 1.05, *P. ciliare* con 1.72 y *B. dactyloides* con 0.98, *B. curtispindula* con 0.86 y *B. gracilis* con 0.83 (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2012; Álvarez-Holguín *et al.*, 2018). Las mayores proporciones R:P indican que tienen mayores probabilidades de explorar más áreas en busca de humedad en suelo (Prado-Tarango *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en las variables evaluadas, no se observó ningún patrón de diferenciación entre especies nativas y exóticas. La exótica *E. curvula* y las nativas *B. curtipendula*, *L. dubia* y *D. californica* presentan una o más variables que las ubican con potencial para su rápido establecimiento. Todas estas especies tienen un valor forrajero y los patrones de germinación les dan ventajas competitivas para su uso en programas de resiembra de pastizales. Entre las variables que les dan este potencial está el número de semillas que germinaron por día, la intensidad de germinación en tiempo y el total de días en los que ocurre la germinación. Por otro lado, las exóticas consideradas invasoras en el desierto Chihuahuense, *E. echinochloidea*, *E. lehmanniana* y *M. repens*, presentan en general valores en las variables evaluadas que no favorecen su rápido establecimiento. Indudablemente otras características no evaluadas aquí favorecen su dominancia e invasión en los ecosistemas del desierto Chihuahuense.

Este trabajo representa una línea base para especies silvestres que por primera vez se evalúa su germinación. Es importante continuar con este tipo de estudios e incluir otras variables, así como más especies. Por otra parte, los estudios de germinación podrían llevarse a cabo en cámaras de crecimiento o en campo para incluir la variabilidad ambiental.

LITERATURA CITADA

- Aires, S. S., M. N. Sato y H. S. Miranda. 2013. Seed characterization and direct sowing of native grass species as a management tool. *Grass Forage Sci.* 69:470-478.
- Álvarez-Holguín, A., C. R. Morales-Nieto, C. H. Avendaño-Arrazate, E. Santellano-Estrada, A. Melgoza-Castillo, M. E. Burrola-Barraza y R. Corrales-Lerma. 2018. Dosis letal media y reducción media del crecimiento por radiación gamma en pasto africano (*Eragrostis lehmanniana* Ness). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5:81-88.
- Álvarez-Holguín, A., C. R. Morales-Nieto, R. Corrales-Lerma, A. Melgoza-Castillo y G. Méndez-Zamora. 2017. Germinación de genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) bajo diferentes presiones osmóticas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4:161-168.
- Álvarez-Holguín, A., R. Corrales-Lerma, C. R. Morales-Nieto, C. H. Avendaño Arrazate y F. Villarreal-Guerrero. 2017. Dosis óptima de irradiación gamma con Co60 para inducción de mutagénesis en pastos. *Nova Sci.* 9:65-82.
- Baskin, C. C. y J. M. Baskin. 2014. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. 2a ed. Elsevier Inc. EUA.
- Boeken, B., C. Ariza, Y. Gutterman y E. Zaady. 2004. Environmental factors affecting dispersal, germination and distribution of *Stipa capensis* in the Negev Desert, Israel. *Ecol. Res.* 19:533–540.
- Brown, R. F. y D. G. Mayer. 1988. Representing cumulative germination. 1. A critical analysis of a single-value germination indices. *Ann. Bot.* 61:117-125.
- Butikofer, L., B. Jones, R. Sacchi, M. Mangiacotti y W. Ji. 2018. A new method for modelling biological invasions from early spread data accounting for anthropogenic dispersal. *PLoS ONE* 13: e0205591.
- Carrillo, S. M., J. T. Arredondo-Moreno, E. Huber-Sannwald y J. Flores-Rivas. 2009. Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Téc. Pecu. Méx.* 47:299-312.
- Ceballos, G., A. Davidson, R. List, J. Pacheco, P. Manzano-Fischer, G. Santos-Barrera y J. Cruzado. 2010. Rapid decline of a grassland system and its ecological and conservation implications. *PLoS ONE* 5:e8562.
- Curtin, C. G., N. F. Sayre y B. D. Lane. 2002. Transformations of the Chihuahuan Borderlands: grazing, fragmentation, and biodiversity conservation in desert grasslands. *Environ Sci. Policy.* 5:55-68.
- Duchini, P. G., G. C. Guzatti, J. R. Echeverría, L. F. Américo y A. F. Sbrissia. 2018. Experimental evidence that the perennial grass persistence pathway is linked to plant growth strategy. *PLoS ONE* 13:e0207360.

- Esqueda, M. H., A. Melgoza, M. Sosa, R. Carrillo y J. Jiménez. 2005. Emergencia y sobrevivencia de gramíneas con diferentes secuencias de humedad/sequía en tres tipos de suelo. *Téc. Pecu. Méx.* 43:101-115.
- Estrada, E. y J. Á. Villarreal. 2010. Flora del centro del estado de Chihuahua, México. *Acta Bot. Mex.* 92:51-118.
- Evans, S. E., K. M. Byrne, W. K. Lauenroth y I. C. Burke. 2011. Defining the limit to resistance in a drought-tolerant grassland: long-term severe drought significantly reduces the dominant species and increases ruderals. *J. Ecol.* 99:1500-1507.
- Ferrari, F. N. y C. A. Parera. 2015. Germination of six native perennial grasses that can be used as potential soil cover crops in drip-irrigated vineyards in semiarid environs of Argentina. *J. Arid Environ.* 113:1-5.
- Gallagher, M. K. y S. Wagenius. 2016. Seed source impacts germination and early establishment of dominant grasses in prairie restorations. *J. Appl. Ecol.* 53:251-263.
- Havstad, K. M., D. P. C. Peters, R. Skaggs, J. Brown, B. Bestelmeyer, E. Fredrickson, J. Herrick y J. Wright. 2007. Ecological services to and from rangelands of the United States. *Ecol. Econ.* 64:261-268.
- Herrera, Y. y P. M. Peterson. 2018. Grasses of Chihuahua, Mexico. *Smithsonian Contributions to Botany*. Washington, D. C., E.U.A. 107:0081-024X.
- Jurado, E. y M. Westoby. 1992. Germination biology of selected central Australian plants. *Aust. J. Ecol.* 17:341-348.
- Kildisheva, O. A., T. E. Erickson, D. J. Merritt y K. W. Dixon. 2016. Setting the scene for dryland restoration: an overview and key findings from a workshop targeting seed enablement technologies. *Restor. Ecol.* 24:S36-S42.
- Kildisheva, O. A., T. E. Erickson, M. D. Madsen, K. W. Dixon y D. J. Merritt. 2018. Seed germination and dormancy trails of forbs and shrubs important for restoration of North American dryland ecosystems. *Plant. Biol.* 21:458-469.
- Knutson, K. C., D. A. Pyke, T. A. Wirth, D. S. Pilliod, M. L. Brooks y J. C. Chambers. 2009. A chronosequence feasibility assessment of emergency fire rehabilitation records within the Intermountain Western United States – final report to the joint fire science program. Open-File Report 2009-1099. Project 08-S-08, U.S. Geological Survey, Reston, VA, USA.
- Maguire, J. D. 1962. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Mata-González, R., B. Figueroa-Sandoval, F. Clemente y M. Manzano. 2007. Vegetation changes after livestock grazing exclusion and shrub control in the Southern Chihuahuan Desert. *West N. Am. Naturalist* 67:63–70.
- Melgoza, A., C. Ortega-Ochoa, C. R. Morales-Nieto, P. Jurado-Guerra, C. Velez-Sanchez-Verin, M. H. Royo-Márques, G. Quintana-Martínez, A. Lafón-

- Terrazas, M. T. Alarcón-Herrera, G. Bezanilla-Enríquez y C. Pinedo-Álvarez. 2007. Propagación de plantas nativas para la recuperación de áreas degradadas: opción para mejorar ecosistemas. *Tecnociencia* 1:38-41.
- Mokany, K., R. J. Raison y A. S. Prokushkin. 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biol.* 12:84-96.
- Moreira, F., J. P. Silva, B. Estanque, J. M. Palmeirim, M. Lecoq, M. Pinto, D. Leitao, I. Alonso, R. Pedroso, E. Santos, T. Catry, P. Silva, I. Henriques y A. Delgado. 2012. Mosaic-level inference of the impact of land cover changes in agricultural landscapes on biodiversity: A case-study with a threatened grassland bird. *PLoS ONE* 7:e38876.
- Mummey, D. L., M. E. Herget, K. M. Hufford y L. Shreading. 2016. Germination timing and seedling growth of *Poa secunda* and the invasive grass, *Bromus tectorum*, in response to temperature: evaluating biotypes for seedling traits that improve establishment. *Ecol. Restor.* 34:200-208.
- McNair, J. N., A. Sunkara y D. Frobish. 2012. How to analyse seed germination data using statistical time-to-event analysis: nonparametric and semiparametric methods. *Seed Sci. Res.* 22:77-95.
- Panchal, K. R., N. R. Pandya, S. Albert y D. J. Gandhi. 2011. Germination responses of several Poaceae members towards differential storage durations. *Not. Sci. Biol.* 3:44-50.
- Pool, D. A., A. O. Panjabi, A. Macias-Duarte y D. M. Solhjem. 2014. Rapid expansion of croplands in Chihuahua, Mexico threatens declining North American grassland bird species. *Biol. Conserv.* 170:274-281.
- Poorter, H. y C. Remkes. 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia.* 83:553-559.
- Prado-Tarango, D., R. Mata-González, A. Melgoza-Castillo, S. G. Elias y E. Santellano-Estrada. 2019. Simulated rainfall sequences affect germination and biomass allocation of Chihuahuan desert native plants. *Arid Land Res. Manag.* 33:22-36.
- Rantala-Sykes, B. y D. Campbell. 2019. Should I pick that? A scoring tool to prioritize and value native wild seed for restoration. *Restor. Ecol.* 27:9-14.
- Renal, M. y D. Garcia de Santan. 2006. How and why to measure the germination process?. *Braz. J. Bot.* 29:1-11.
- Ruiz-Ramírez, S., A. Valdés-Oyervides, F. Facio-Parra y L. Arce-González. 2012. Efecto de Diferentes Niveles de Salinidad en la Germinación y Vigor de Semillas de Cinco Gramíneas Forrajeras. *Agraria.* 9:7-13.
- Sáenz-Flores, E., R. A. Saucedo-Terán, C. R. Morales-Nieto, P. Jurado-Guerra, C. R. Lara-Macías, A. Melgoza-Castillo y J. Á. Ortega-Gutiérrez. 2015.

- Producción y calidad de semilla de pastos forrajeros como respuesta a la fertilización en Aldama, Chihuahua. *Tecnociencia* 9:111-119.
- SAS Institute Inc. 2006. SAS 9.1.3 User's guide. Cary, NC, USA.
- Scott, S. J., R. A. Jones y W. A. Williams. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Sci.* 24:1129-1199.
- Shaban, M. 2013. Effect of water and temperature on seed germination and emergence as a seed hydrothermal time model. *Int. J. Adv. Biol. Biomedic. Res.* 1:1686-1691.
- Stokes, C. A., G. E. MacDonald, C. R. Adams, K. A. Langeland y D. L. Miller. 2011. Seed biology and ecology of natalgrass (*Melinis repens*). *Weed Sci.* 59:527-532.
- Thomson, A. J. y Y. A. El-Kassaby. 1993. Interpretin of seed-germination parameters. *New Forest.* 7:123-132.
- Vega-Mares, J. H., A. E. Estrada-Castillón, J. Á. Villarreal-Quintanilla y G. Q. Martínez. 2014. Flora of the halophytic grasslands in the Valle de Janos, Chihuahua, Mexico. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 8:151-163.
- Yao, J., W. Hu, Y. Chen, W. Huo, Y. Zhao, W. Mao y Q. Yang. 2019. Hydro-climatic changes and their impacts on vegetation in Xinjiang, Central Asia. *Sci Total Environ.* 660:724-732.
- Zanin, M. y A. L. Mangabeira-Albernaz. 2016. Impacts of climate change on native landcover: seeking future climatic refuges. *PLoS ONE* 11: e0162500.

**ESTUDIO 2. RESPUESTA DE GRAMÍNEAS DEL DESIERTO
CHIHUAHUENSE A UN GRADIENTE DE TEMPERATURA**

RESUMEN

RESPUESTA DE GRAMÍNEAS DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE A UN GRADIENTE DE TEMPERATURA

POR:

M. C. OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

Doctor in Philosophia en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Ph. D. Alicia Melgoza Castillo

Todas las especies tienen rangos de temperatura óptima, mínima y máxima donde se pueden desarrollar. Algunas especies presentan rangos amplios que pueden ser claves para su adaptación a incrementos en temperatura como parte del cambio climático. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de germinación y desarrollo de plántula en un gradiente de temperatura. Doce especies de gramíneas, exóticas y nativas, del desierto Chihuahuense se utilizaron en el experimento. En una mesa de termogradient se establecieron las temperaturas de 14, 18, 22, 26, 30 y 34 °C con cuatro repeticiones de 30 semillas cada una para cada nivel de temperatura y especie. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación estándar, velocidad de germinación y proporción radícula:plúmula (R:P). Del total de especies, solo 10 gramíneas presentaron germinación suficiente para llevar a cabo un análisis. Tres patrones de germinación se observaron: lineal, cuadrático y cúbico (bimodal). La mayor velocidad de germinación se presentó entre los 22 y 30 °C

para la mayoría de las especies ($P < 0.05$). Si bien se presentaron diferencias ($P < 0.05$) dentro de cada especie, en la proporción R:P no se observó una tendencia en relación al gradiente de temperaturas. Las gramíneas nativas *Bouteloua gracilis* y *Digitaria californica* mostraron mayor tolerancia a 34 °C. Esto representa que, ante incrementos de temperatura como parte del cambio climático, la germinación de estas especies no se verá reducida. Un patrón bimodal observado en la exótica *Eragrostis lehmanniana* le da la oportunidad de poder cambiar su tiempo de germinación de verano a la primavera, bajo los escenarios del cambio climático.

ABSTRACT

RESPONSE OF GRASS SPECIES OF THE CHIHUAHUAN DESERT TO A TEMPERATURE GRADIENT

BY

OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

All species have optimum, minimum and maximum ranges of temperature where they grow best. Species with wider temperature ranges may adapt to increases of temperature under climate change scenarios. The objective of this study was to evaluate germination and seedling development under a temperature gradient. Twelve species of grasses present in the Chihuahuan desert were evaluated. Temperatures were set at 14, 18, 22, 26, 30, and 34 °C on a thermogradient table with four replications of 30 seeds for each temperature level and grass species. The evaluated variables were: germination, speed of germination and root;shoot ratio (R:S). Only 10 grass species showed enough germination rates to carry out a statistical analysis. Three germination patterns were observed: linear, quadratic and cubic or bimodal. The highest rate of germination rate was between 22 and 30 ° C for most species ($P < 0.05$). Although there were differences ($P < 0.05$) in the R:S ratio, only *Bouteloua gracilis* and *Digitaria californica* showed greater tolerance to increases of temperature. Due to the bimodal pattern in *Eragrostis lehmanniana*, this species could change its germination form summer to spring, due to temperature increases under climatic change scenarios.

INTRODUCCIÓN

Los pastizales, como todos los ecosistemas, presentan un deterioro. Entre los diversos problemas causantes del deterioro están: el sobrepastoreo, invasión de especies exóticas y cambio de uso de suelo (Pool *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017). Una característica obvia de un pastizal deteriorado es la reducción o pérdida total de la vegetación y, en el caso de especies invasoras, el desplazamiento de la vegetación nativa (Williams y Baruch, 2000). Estos cambios en la vegetación reducen la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos y especialmente la productividad del pastizal como fuente de forraje para la ganadería (Ortega-Ochoa *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2017). Para mitigar este problema, la restauración de la vegetación es una práctica común (Miller *et al.*, 2017). Sin embargo, las plantas nativas no han sido exploradas a pesar de su potencial para restaurar pastizales. Un primer paso en la evaluación y selección de especies para restauración es el conocimiento sobre germinación y desarrollo en la etapa más crítica, la plántula (Dong *et al.*, 2014). Por otra parte, este conocimiento es útil en plantas exóticas para asentar las bases para el posible control o manejo de éstas (Flores *et al.*, 2016).

Como parte del cambio climático, el panel intergubernamental del cambio climático proyectó incrementos en la temperatura para el año 2100 de entre 4 a 6 °C para el desierto Chihuahuense (IPCC, 2014). El aumento en las temperaturas puede afectar la germinación y establecimiento de las gramíneas en el desierto Chihuahuense (Munson *et al.*, 2013). Todas las especies de plantas tienen su óptimo y rangos de temperatura donde pueden germinar (Funes *et al.*, 2009). Las especies con interés para la agricultura han sido las más estudiadas

para determinar los requerimientos de temperatura para germinar (Calzada-López *et al.*, 2014; Durr *et al.*, 2015). Por lo que existe un hueco de información sobre especies nativas y sus requerimientos de temperatura (Commander *et al.*, 2009; Jiménez-Alfaro *et al.*, 2016; Seal *et al.*, 2017). Kildisheva *et al.* (2018) evaluaron la respuesta de la germinación a diferentes niveles de temperatura en 26 especies de arbustos y hierbas perennes de un desierto frío. La conclusión fue que, en la mayoría de las semillas en esta región, la latencia está relacionada con temperatura. Por lo que, esta información es relevante en la restauración de ecosistemas con estas especies, ya que es importante maximizar las probabilidades de reclutamiento.

Las diferencias en respuestas del grupo de gramíneas al gradiente de temperatura es que, a pesar de ser del mismo grupo, e incluso del mismo hábitat, cada una ha evolucionado en función de su genotipo y plasticidad fenotípica (Bhatt y Santo, 2018). Cuatro gramíneas en áreas costeras presentaron valores de germinación cercanos al 100 % con variaciones noche:día de 25:35 °C (Khan y Gulzar, 2003). De nueve gramíneas estudiadas del desierto árabe estudiadas se encontró que el tiempo de germinación en días disminuyó en ocho de ellas al incrementarse la temperatura, mientras que en una no tuvo ningún efecto (Bhatt y Santo, 2018). La temperatura no solo influye en el tiempo de germinación, sino también en la rapidez con la que la radícula se desarrolla (Hardegree y Van Vactor, 2000). Paredesa *et al.* (2018) no encontraron diferencias en la respuesta de la semilla de gramíneas nativas y exóticas a exposiciones de calor de 50 a 150 °C. Ambos tipos de gramíneas redujeron su germinación a 130 °C, y ésta fue nula a 150 °C, con excepción de la especie exótica *Melinis minutiflora*. Este tipo

de resultados indica que un control con fuego no eliminará especies introducidas.

La caracterización de los requerimientos de temperatura para la germinación y desarrollo de plántula en especies nativas es información básica para asegurar el máximo establecimiento (Seal *et al.*, 2017). Por otra parte, este tipo de información se puede aplicar al manejo de especies exóticas, con fines de control (Paredesa *et al.*, 2018). Como parte de un proyecto a largo plazo en la evaluación y selección de especies para restauración y búsqueda de soluciones para controlar especies exóticas se desarrolló el presente trabajo. El objetivo fue evaluar la germinación y desarrollo de plántulas en un gradiente de temperaturas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Semilla de la Universidad Estatal de Oregón, USA. Debido a regulaciones internacionales, no fue posible trabajar con la semilla recolectada en el desierto Chihuahuense, por lo que se trabajó con semilla procedente de casas comerciales. Las especies nativas fueron: *Bouteloua gracilis* var Hachita, *B. curtipendula* Var Vaughn, *B. dactyloides* Var Texoka, *B. eriopoda* Var Nogal, *Leptochloa dubia* Var Van Horn y *Digitaria californica*. Las especies exóticas fueron: *Cynodon dactylon* Var Hulled, *Eragrostis lehmanniana*, *E. curvula* Var Ermelo, *E. superba*, *Melinis repens* y *Pennisetum ciliare*.

La germinación a diferentes temperaturas se llevó a cabo en una mesa de termo gradientes modelo TC-550AP-115. Sobre la mesa se colocaron dos capas de papel filtro (Anchor Paper Co., Minneapolis, MN, EE. UU.) y sobre el papel filtro se colocó una cuadrícula de 1.7 * 1.7 cm. Las temperaturas se mantuvieron a 14, 18, 22, 26, 30 y 34 (± 1.5 °C) durante 48 h para calibrar la mesa de termo-gradiente. Para monitorear la temperatura se utilizó un termómetro infrarrojo durante el tiempo de la prueba. Una vez calibrada, cuatro repeticiones con 30 semillas de cada especie se colocaron en cada nivel de temperatura y se mantuvieron a humedad constante con agua destilada. El diseño experimental que se utilizó fue un completamente al azar con cuatro repeticiones por nivel de temperatura para cada especie. La iluminación durante la prueba fue de 12 h de oscuridad y 12 h de luz (Baskin y Baskin, 1981; Elias *et al.*, 2012; Baskin y Baskin, 2014). La germinación se registró a las 11:00 h diariamente durante 21 d.

Variables Evaluadas

Las variables evaluadas fueron: germinación, velocidad de germinación (VG) a los 7 y 14 d, y la proporción radícula:plúmula (R:P) a los 10 d. La germinación se obtuvo con el conteo del total de semillas germinadas en un periodo de 14 d. La VG se obtuvo con la fórmula propuesta y descrita por Maguire (1962). La proporción R:P se midió a los 10 d de haber iniciado la prueba, se eligieron 4 plántulas al azar y se midió el tamaño de raíz y parte aérea con una regla graduada de 30 cm.

Análisis de los Datos

Para el caso de la variable binomial de germinación, se ajustó un modelo lineal generalizado con el paquete PROC GLIMMIX de SAS (versión 9.1.3; SAS Institute, Inc.), para lo cual se utilizó el enlace "logit", que incluyó los efectos fijos de especie, temperatura y su interacción. Para determinar la tendencia del efecto de temperatura se utilizaron contrastes ortogonales polinomiales, tanto para el efecto principal de temperatura como para la interacción de la especie por temperatura. Para graficar las tendencias, se obtuvieron las medias de los cuadrados mínimos (LSM) para germinación por nivel de temperatura, y con PROC GLIMMIX se ajustaron los modelos de regresión lineal correspondientes de germinación para la temperatura de acuerdo al orden de la tendencia determinada con el análisis de contrastes. Para las variables de velocidad de germinación, radícula, plúmula y proporción radícula:plúmula se ajustó un modelo mixto con PROC MIXED de SAS (versión 9.1.3; SAS Institute, Inc.), que incluyó los efectos fijos de especie, temperatura y su interacción. Para graficar las tendencias se obtuvieron las LSM para germinación por nivel de temperatura y

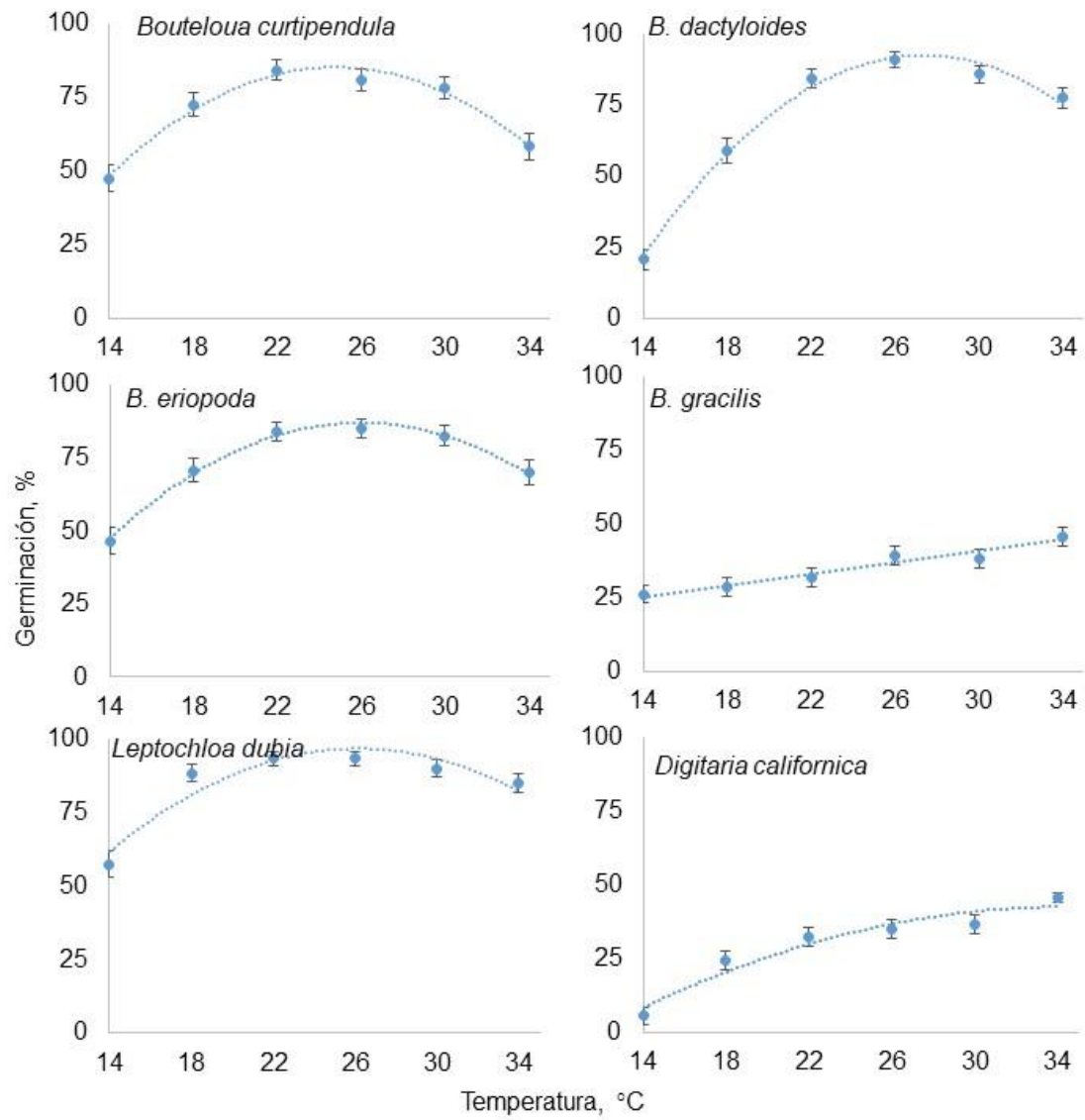
se realizó el análisis de regresión correspondiente para cada caso mediante el procedimiento PROC REG del Programa SAS (versión 9.1.3; SAS Institute, Inc.), donde se consideró a la temperatura como una variable continua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

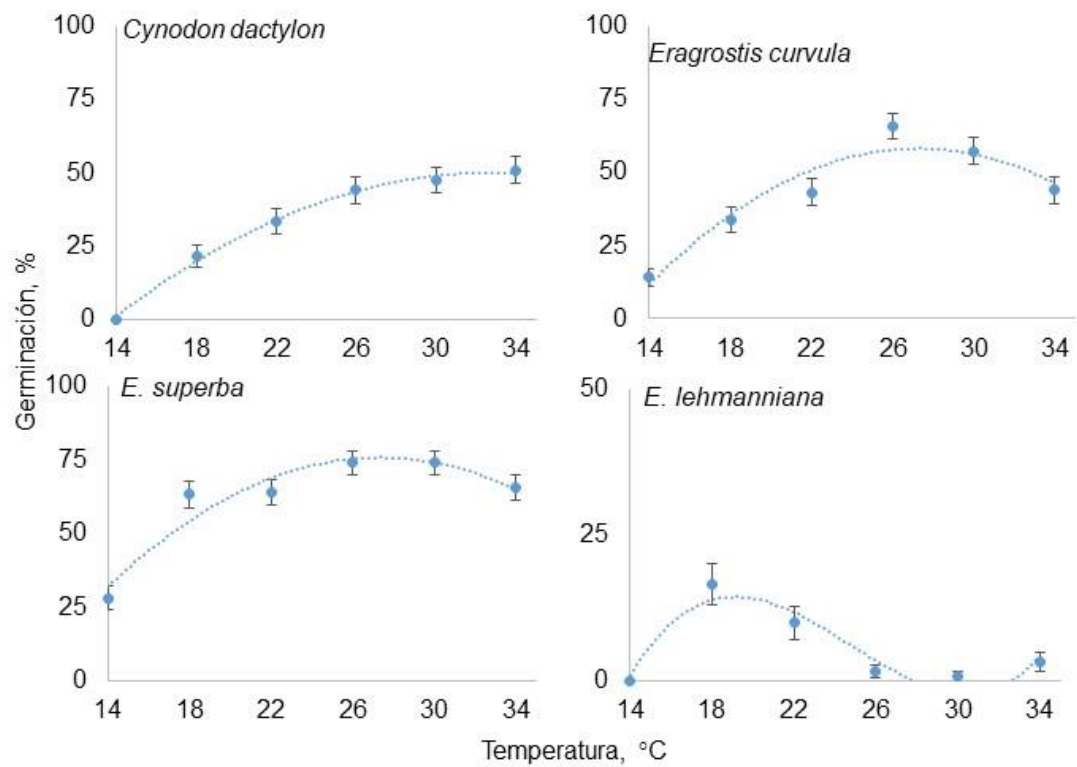
Germinación

Melinis repens y *Pennisetum ciliare* mostraron germinaciones inferiores al 5 %, por lo que no fueron incluidas en el análisis. En la Gráfica 3 se muestra el comportamiento de la germinación de las gramíneas nativas a un gradiente de temperatura. En todas las especies, las temperaturas inferiores a los 15 °C disminuyen la germinación mas no la inhiben. Las gramíneas nativas mostraron dos patrones de germinación en los rangos de temperatura analizados. En un primer patrón, las gramíneas *Bouteloua curtipendula*, *B. dactyloides*, *B. eriopoda* y *Leptochloa dubia* mostraron un pico máximo de germinación entre los 22 y 26 °C, y después de los 34 °C la germinación comenzó a disminuir. En el segundo patrón se observó un comportamiento lineal, esto es, los rangos de temperatura utilizada no redujeron la germinación. Con este patrón se identificó a *B. gracilis* y *Digitaria californica* como especies tolerantes a los aumentos de temperatura, que podrían extenderse más allá de los 34 °C.

Al igual que en las nativas, la mayoría de las especies reducen su germinación a 15 °C, con excepción de *Cynodon dactylon* que no germina a esta temperatura. En las especies exóticas se observaron tres patrones de germinación (lineal, cuadrática y cúbica o bimodal) en respuesta al gradiente de temperatura (Gráfica 4). Dentro del primer patrón se ubicó a *C. dactylon*, donde la germinación no disminuye ante los incrementos de las temperaturas. El segundo patrón se presentó en *Eragrostis curvula* y *E. superba*; con un pico máximo de germinación a los 26 °C y una disminución a partir de los 30 °C. Finalmente, con un tercer patrón bimodal se identificó a *E. lehmanniana*, con dos



Gráfica 3. Relación entre temperatura y germinación de especies nativas del desierto Chihuahuense.



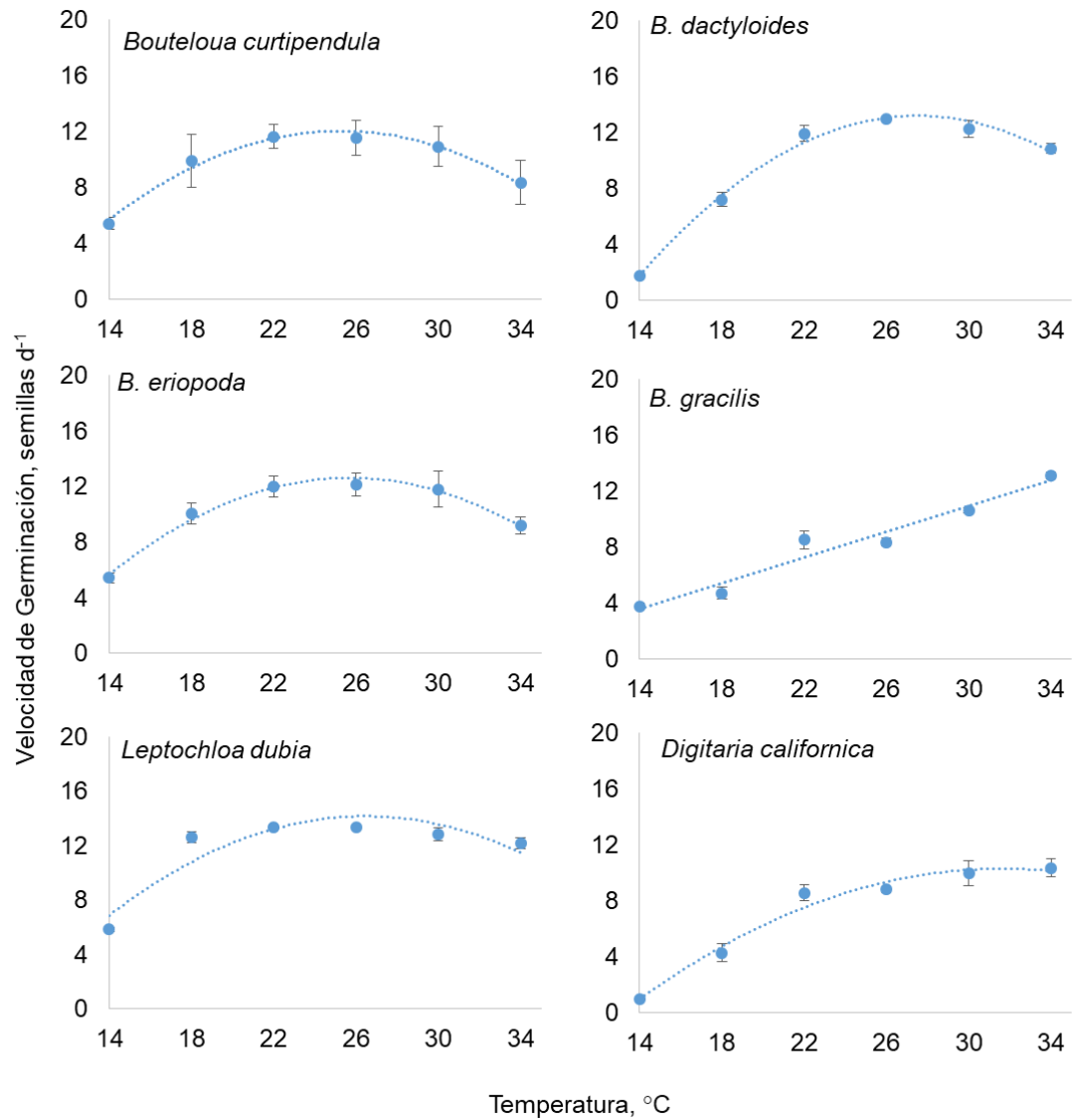
Gráfica 4. Relación entre temperatura y germinación de especies exóticas presentes en el desierto Chihuahuense.

picos de germinación a 18 y 34 °C.

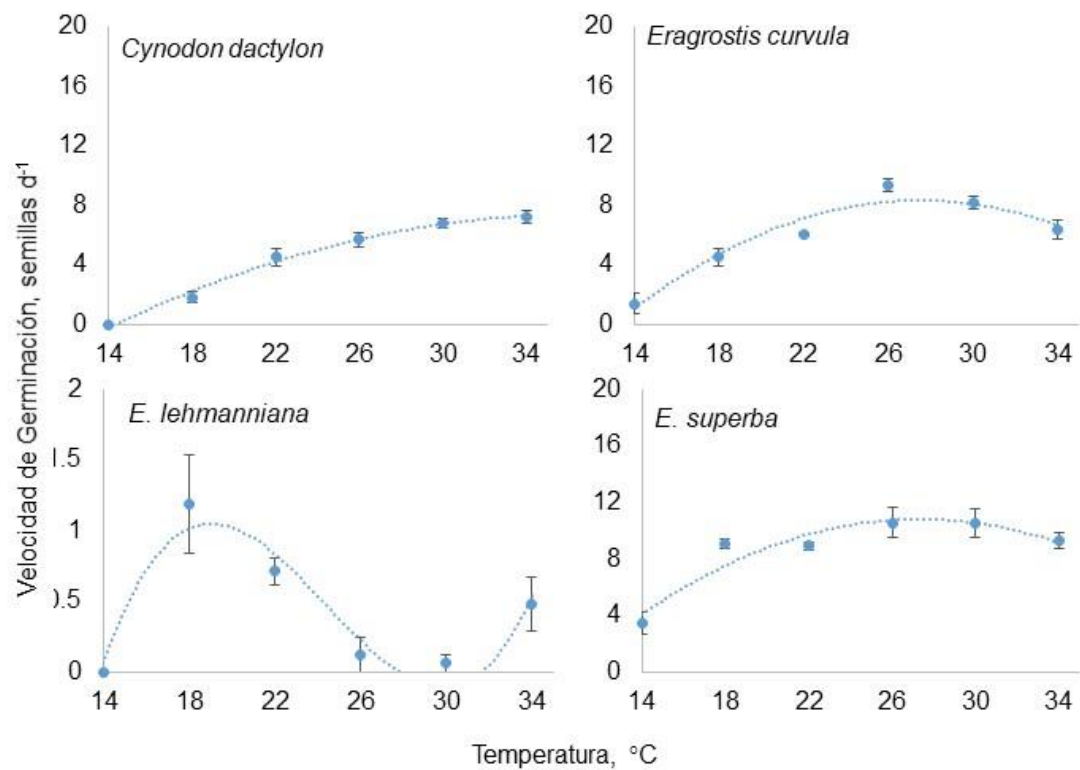
Las gramíneas evaluadas pertenecen al grupo de plantas con tipo de fotosíntesis C4. Estas son escasas en áreas con temperaturas promedio menores a los 13 °C durante la estación de crecimiento y abundantes donde se presenta una temperatura promedio superior a los 22 °C (Long, 1983; Sage *et al.*, 1998). Esto ayuda a explicar la reducción e incluso inhibición de la germinación de estas especies del desierto Chihuahuense a 15 °C. Los valores y patrones de germinación encontrados son similares a los reportados anteriormente para *D. californica* (Bellairs y Ashwath, 2007), *L. dubia*, *E. lehmanniana* y *D. californica* (Roundy y Biedenbender, 1996) y *E. curvula* y *E. lehmanniana* (Carrillo *et al.*, 2009). Según Biliget *et al.* (2011), *B. curtipendula* mostró su mayor germinación entre los 25 y 30 °C, cuando la semilla fue sometida a diferentes niveles de presión osmótica. Roundy *et al.* (1992) mencionan que con temperaturas menores a 20 °C y superiores a 30 °C *E. lehmanniana* muestra un mejor desarrollo. Esta respuesta se debe a la germinación bimodal que aprovecha la humedad que pudiera presentarse en la primavera y la del verano, durante la época de lluvias.

Velocidad de Germinación (VG)

La VG representa el número de semillas germinadas por día (Maguire, 1962). Ésta variable se vio afectada por los niveles de temperatura. La menor VG se presentó a los 14 °C para todas las especies. Los valores de VG mostraron tres patrones de comportamiento: lineal, cuadrático y cúbico o bimodal (Gráficas 5 y 6). El patrón lineal se presentó en *B. gracilis* y *D. californica*, donde la máxima temperatura de 34 °C no redujo la velocidad de germinación. El patrón cuadrático



Gráfica 5. Relación entre la velocidad de germinación y las temperaturas en gramíneas nativas del desierto Chihuahuense.



Gráfica 6. Relación entre la velocidad de germinación y las temperaturas en gramíneas exóticas presentes en el desierto Chihuahuense.

se presentó en *B. curtipendula*, *B. dactyloides*, *B. eriopoda* y *L. dubia*, con su pico máximo de VG, 13.33 semillas d⁻¹, entre los 22 y 26 °C; a los 30 °C comenzó a disminuir. El comportamiento bimodal se observó en *E. lehmanniana*, con picos máximos a los 18 y 34 °C. Las gramíneas nativas mostraron las mayores VG; de estas, *L. dubia* tuvo la VG mayor de 13.33 semillas d⁻¹ a temperaturas de entre los 18 y 30 °C. En las gramíneas exóticas, *E. superba* mostró la mayor VG de 10.53 semillas d⁻¹ entre los 22 y 30 °C. La VG máxima, de 8 a 13.33 semillas d⁻¹, se presentó entre los 22 y 30 °C. Sólo dos especies presentaron un comportamiento diferente; *E. lehmanniana* mostró una tendencia bimodal y *B. gracilis* una tendencia lineal simple. En ésta última es probable que no se alcanzara la temperatura óptima con el gradiente evaluado.

La temperatura afecta el tiempo promedio de germinación, de esta manera la VG disminuye cuando la temperatura es baja o alta y aumenta conforme se acerca a la temperatura óptima de germinación (Alvarado y Bradford, 2002; Horn *et al.*, 2015). *Eragrostis plana* mostró disminución en la VG a temperaturas inferiores a los 20 °C, y aumento en temperaturas superiores a los 35 °C (Bittencourt *et al.*, 2017). Resultados similares se han reportado para cultivos: maní con valores bajos de VG cuando la temperatura era inferior a los 20 °C (Caroca *et al.*, 2016); y tomate con mayores VG a temperaturas entre 20 y 30 °C (Calzada-López *et al.*, 2014). En gramíneas de climas cálidos, la germinación disminuye a temperaturas menores de 20 °C (Stubbenieck *et al.*, 2017). Según Roundy y Biedenbender (1996), en algunos de los pastos, la velocidad de germinación tiende a decaer después de los 30 °C. Por lo anterior, esta variable pudiera determinar el éxito o fracaso de una resiembra (Mollard y Naeth, 2014).

Raíz, Plúmula y Proporción (R:P)

Las menores longitudes de radícula y plúmula se presentaron a una temperatura de 14 °C en la mayoría de las especies; sin embargo, las mayores longitudes se obtuvieron en temperaturas superiores a los 26 °C. En las especies nativas, *B. dactyloides* no superó la relación 1:1 durante los diferentes niveles de temperatura (Cuadro 3). En las especies exóticas, *E. superba* superó esta relación de 1:1 con temperaturas superiores a los 30 °C (Cuadro 4). Las mayores proporciones se presentaron con temperaturas superiores a los 24 °C. En el caso de las especies nativas, las mayores proporciones iniciaron a partir de los 27 °C. Solamente *B. dactyloides* no superó la proporción R:P de 1:1 (Cuadro 3). Álvarez-Holguín *et al.* (2017) reportaron valores similares para radícula y plúmula en *B. curtipendula*. Además, cuando los pastos fueron sometidos a presiones osmóticas, la longitud de radícula y plúmula disminuyó. La proporción raíz/parte aérea en los ecosistemas es uno de los factores comúnmente utilizados para describir la relación del crecimiento de las plantas (Mokany *et al.*, 2006). Liu y Huang (2005) mencionan que existe una reducción en el tamaño de la radícula y plúmula cuando las plantas son sometidas a altas temperaturas de suelo. Además, longitudes de radícula de 7 y 4 mm para *P. ciliare* y *E. superba* fueron reportadas por Rassol *et al.* (2012). Estos valores de radícula son inferiores a los reportados en este estudio para *E. superba*, donde se encontraron valores de 13.5 a 18.7 mm con temperaturas superiores a los 18 °C. Cairns *et al.* (1997) mencionan que el conocimiento de cómo se desarrollan las plantas es importante para comprender el funcionamiento de los ecosistemas.

Cuadro 3. Comportamiento de plántulas de gramíneas nativas del desierto Chihuahuense sometidas a diferentes niveles de temperatura

Especie	Temperatura, °C	Radícula, cm	Plúmula, cm	Proporción R:P
<i>Bouteloua curtispindula</i>	14	1.67 ± 0.12 a	1.59 ± 0.16 a	1.05 ± 0.11 a
	18	3.25 ± 0.12 b	2.58 ± 0.16 b	1.28 ± 0.11 ab
	22	3.69 ± 0.12 bc	2.73 ± 0.16 b	1.36 ± 0.11 b
	26	4.58 ± 0.12 cd	3.50 ± 0.16 c	1.33 ± 0.11 ab
	30	4.46 ± 0.12 d	2.99 ± 0.16 bc	1.49 ± 0.11 b
	34	3.35 ± 0.12 b	2.39 ± 0.16 b	1.43 ± 0.11 b
<i>B. dactyloides</i>	14	0.45 ± 0.12 a	0.93 ± 0.16 a	0.50 ± 0.11 a
	18	1.53 ± 0.12 b	2.53 ± 0.16 b	0.61 ± 0.11 a
	22	2.34 ± 0.12 c	4.41 ± 0.16 c	0.53 ± 0.11 a
	26	2.70 ± 0.12 c	4.41 ± 0.16 c	0.62 ± 0.11 a
	30	2.61 ± 0.12 c	4.60 ± 0.16 c	0.57 ± 0.11 a
	34	2.46 ± 0.12 c	3.75 ± 0.16 b	0.66 ± 0.11 a
<i>B. eriopoda</i>	14	1.12 ± 0.12 a	1.19 ± 0.16 a	0.94 ± 0.11 a
	18	2.19 ± 0.12 b	1.69 ± 0.16 bc	1.30 ± 0.11 b
	22	2.56 ± 0.12 bc	1.89 ± 0.16 bc	1.37 ± 0.11 bc
	26	2.62 ± 0.12 bc	1.68 ± 0.16 bc	1.60 ± 0.11 c
	30	2.79 ± 0.12 c	1.88 ± 0.16 bc	1.52 ± 0.11 bc
	34	2.40 ± 0.12 bc	1.53 ± 0.16 ab	1.56 ± 0.11 b
<i>B. gracilis</i>	14	0.50 ± 0.12 a	0.52 ± 0.16 a	0.97 ± 0.11 a
	18	1.32 ± 0.12 b	1.15 ± 0.16 a	1.19 ± 0.11 abc
	22	2.15 ± 0.12 c	1.49 ± 0.16 b	1.48 ± 0.11 c
	26	2.53 ± 0.12 d	2.18 ± 0.16 bc	1.18 ± 0.11 a
	30	2.87 ± 0.12 e	2.55 ± 0.16 cd	1.13 ± 0.11 ab
	34	2.68 ± 0.12 e	2.24 ± 0.16 bc	1.22 ± 0.11 ab
<i>Digitaria californica</i>	14	0.31 ± 0.12 a	0.45 ± 0.16 a	0.69 ± 0.11 a
	18	1.13 ± 0.12 b	1.21 ± 0.16 b	0.98 ± 0.11 ab
	22	2.08 ± 0.12 c	1.64 ± 0.16 c	1.28 ± 0.11 cd
	26	2.53 ± 0.12 d	1.77 ± 0.16 cd	1.44 ± 0.11 d
	30	2.52 ± 0.12 d	2.08 ± 0.16 d	1.24 ± 0.11 bc
	34	2.41 ± 0.12 d	2.10 ± 0.16 d	1.19 ± 0.11 b
<i>Leptochloa dubia</i>	14	1.44 ± 0.12 a	1.43 ± 0.16 a	1.05 ± 0.11 a
	18	2.83 ± 0.12 b	2.33 ± 0.16 bc	1.22 ± 0.11 a
	22	3.57 ± 0.12 c	3.09 ± 0.16 d	1.17 ± 0.11 a
	26	3.35 ± 0.12 c	2.77 ± 0.16 cd	1.21 ± 0.11 a
	30	3.66 ± 0.12 c	3.06 ± 0.16 d	1.20 ± 0.11 a
	34	3.34 ± 0.12 c	2.03 ± 0.16 b	1.71 ± 0.11 b

^{abc} Literales diferentes en columna de cada especie denotan diferencia estadística (P <0.05).

Cuadro 4. Comportamiento de plántulas de gramíneas exóticas en el desierto Chihuahuense sometidas a diferentes niveles de temperatura

Especie	Temperatura, °C	Radícula, cm	Plúmula, cm	Proporción R:P
<i>Cynodon dactylon</i>	14	0 ± 0.12 ^a	0 ± 0.16 ^a	0 ± 0.11 ^a
	18	0.42 ± 0.12 ^b	0.96 ± 0.16 ^b	0.48 ± 0.11 ^b
	22	0.72 ± 0.12 ^c	1.46 ± 0.16 ^c	0.50 ± 0.11 ^b
	26	0.90 ± 0.12 ^d	1.29 ± 0.16 ^{bc}	0.71 ± 0.11 ^{bc}
	30	1.02 ± 0.12 ^{de}	1.65 ± 0.16 ^c	0.63 ± 0.11 ^{bc}
	34	1.07 ± 0.12 ^e	1.30 ± 0.16 ^{bc}	0.83 ± 0.11 ^c
<i>Eragrostis curvula</i>	14	1.04 ± 0.12 ^a	1.35 ± 0.16 ^a	0.77 ± 0.11 ^{ab}
	18	1.65 ± 0.12 ^{cd}	2.25 ± 0.16 ^{bc}	0.74 ± 0.11 ^{ab}
	22	1.87 ± 0.12 ^d	2.59 ± 0.16 ^c	0.73 ± 0.11 ^{ab}
	26	1.90 ± 0.12 ^d	2.58 ± 0.16 ^c	0.74 ± 0.11 ^{ab}
	30	1.77 ± 0.12 ^{cd}	2.84 ± 0.16 ^c	0.62 ± 0.11 ^a
	34	1.52 ± 0.12 ^{bc}	1.88 ± 0.16 ^{ab}	0.85 ± 0.11 ^b
<i>E. lehmanniana</i>	14	0.22 ± 0.12 ^a	0.11 ± 0.16 ^{ab}	2.04 ± 0.11 ^a
	18	0.49 ± 0.12 ^b	0.28 ± 0.16 ^b	1.69 ± 0.11 ^a
	22	0.19 ± 0.12 ^a	0.14 ± 0.16 ^a	1.26 ± 0.11 ^{ab}
	26	0.12 ± 0.12 ^a	0.10 ± 0.16 ^a	1.31 ± 0.11 ^{ab}
	30	0.08 ± 0.12 ^a	0.07 ± 0.16 ^a	1.50 ± 0.11 ^b
	34	0.12 ± 0.12 ^a	0.11 ± 0.16 ^a	1.01 ± 0.11 ^{ab}
<i>E. superba</i>	14	0.50 ± 0.12 ^a	1.01 ± 0.16 ^a	0.49 ± 0.11 ^a
	18	1.35 ± 0.12 ^b	1.72 ± 0.16 ^b	0.80 ± 0.11 ^b
	22	1.87 ± 0.12 ^c	2.21 ± 0.16 ^{cd}	0.86 ± 0.11 ^{bc}
	26	1.77 ± 0.12 ^c	2.17 ± 0.16 ^{cd}	0.82 ± 0.11 ^b
	30	1.78 ± 0.12 ^c	1.79 ± 0.16 ^{bc}	1.00 ± 0.11 ^{bc}
	34	1.79 ± 0.12 ^c	1.73 ± 0.16 ^b	1.07 ± 0.11 ^c

^{abc} Literales diferentes en columna de cada especie denotan diferencia estadística (P <0.05).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la mayoría de las especies las temperaturas óptimas para germinar variaron de 22 a 30 °C. Las gramíneas nativas *Bouteloua gracilis*, *Digitaria californica* y la exótica *Cynodon dactylon* van a tener mayor adaptación ante incrementos de temperatura, debido a que respondieron aún a los 34 °C. Además, en el caso de *Eragrostis lehmanniana*, un incremento en la temperatura y condiciones de humedad podrían hacer que cambie su fenología y germiné también durante la primavera para asegurar su reclutamiento.

Si bien las especies nativas *B. gracilis* y *D. californica* ya son recomendadas en las resiembras de pastizales, los incrementos en temperatura como parte del cambio climático no afectarán que se continúe con su uso. Así también, en estas dos especies se recomienda continuar con estudios que incluyan la evaluación a temperaturas superiores a los 34 °C para conocer sus límites para germinar.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, V. y K. J. Bradford. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant. Cell. Environ.* 25: 1061-1069.
- Álvarez-Holguín, A., C. R. Morales-Nieto, R. Corrales-Lerma, A. Melgoza-Castillo y G. Méndez-Zamora. 2017. Germinación de genotipos de pasto banderita (*Bouteloua Curtipendula*) bajo diferentes presiones osmóticas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4:161-168.
- Baskin, C. C. y J. M. Baskin. 2014. *Seeds: Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. 2a ed. Elsevier/Academic Press, San Diego, California, USA.
- Baskin, J. M. y C. C. Baskin. 1981. Seasonal changes in germination responses of buried seeds of *Verbascum thapsus* and *V. blattaria* and ecological implications. *Can. J. Bot.* 59:1769-1775.
- Bellairs, S. M. y N. Ashwath. 2007. Seed biology of tropical Australian plants. En *Seeds: Biology, Development and Ecology*. Adkins, S., S. Ashmore y S. Navie, eds. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire
- Bhatt, A. y A. Santo. 2018. Different ecological strategies during the seed germination phase of nine grasses inhabiting the hyper-arid Arabian desert. *Plant Spec. Biol.* 33:305-311.
- Biligetú, B., M. P. Schellenberg y J. G. McLeod. 2011. The effect of temperature and water potential on seed germination of poly-cross side-oats grama (*Bouteloua curtispindula* (Michx.) Torr.) population of Canadian prairie. *Seed Sci. Technol.* 39:74-81.
- Bittencourt, H. V. H., L. T. S. Bonome, M. M. Trezzi, R. A. Vidal y M. A. Lana. 2017. Seed germination ecology of *Eragrostis plana*, an invasive weed of South American pasture lands. *S. Afr. J. Bot.* 109: 246-252.
- Cairns, M. A., S. Brown, E. H. Helmer y G. A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11.
- Calzada-López, S. G., J. Kohashi-Shibata, E. Uscanga-Mortera, A. García Esteva y P. Yáñez-Jiménez. 2014. Temperaturas cardinales y velocidad de germinación en cultivares de tomate de cáscara. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8:1451-1458.
- Caroca, R., N. Zapata y M. Vargas. 2016. Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Chil. J. Agric. Anim. Sci.* 32: 94-101.
- Carrillo, S. M., J. T. Arredondo, E. Huber-Sannwald y J. Flores. 2009. Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Téc. Pecu. Méx.* 47:299-312.

- Chen, J., S. Yi y Y. Qin. 2017. The contribution of plateau pika disturbance and erosion on patchy alpine grassland soil on the Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for grassland restoration. *Geoderma* 297:1-9.
- Commander, L. E., D. J. Merritt, D. P. Rokich y K. W. Dixon. 2009. Seed biology of Australian arid zone species: germination of 18 species used for rehabilitation. *J. Arid. Environ.* 73:617-625.
- Dong, X., J. Patton, G. Wang, P. Nyren y P. Peterson. 2014. Effect of drought on biomass allocation in two invasive and two native grass species dominating the mixed-grass prairie. *Grass Forage Sci.* 69:160-166.
- Durr, C., J. B. Dickie, X. Y. Yang y H. W. Pritchard. 2015. Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: contribution to a seed trait database. *Agr. Forest Meteorol.* 200:222–232.
- Elias, S. G., L. O. Copeland, M. B. McDonald y R. Z. Baalbaki. 2012. *Seed testing: Principles and practices*. Michigan State University Press, East Lansing, USA
- Flores, E., M. Luna-Luna, C. Haubi-Segura, A. Díaz-Romo, L. Ruiz y J. de Jesús. 2016. Efecto del fuego en producción y calidad de zacate rosado en Aguascalientes. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 7:1271-1281.
- Funes, G., S. M. Díaz y M. P. Venier. 2009. La temperatura como principal determinante de la germinación en especies del Chaco seco de Argentina. *Ecología Austral* 19:129-138.
- Hardegree, S. P. y S. S. Van Vactor. 2000. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. *Ann. Bot-London.* 85:379-390.
- Horn, K. J., R. Nettles y S. B. S. Clair. 2015. Germination response to temperature and moisture to predict distributions of the invasive grass red brome and wildfire. *Biol. Invasions* 17:1849-1857.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. *Climate change 2013: a physical science basis*. In Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report. Joussaume, J. Penner y F. Tangang, eds Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014: *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo principal de redacción, Pachauri, R. K. y L. A. Meyer, eds. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Jiménez-Alfaro, B., F. A. O. Silveira, A. Fidelis, P. Poschold y L. E. Commander. 2016. Seed germination traits can contribute better to plant community ecology. *J. Veg. Sci.* 27:637-645.

- Khan, M. A. y I. A. Ungar 1999. Seed germination and recovery of *Triglochin maritima* from salt stress under different thermoperiods. *Great Basin Nat.* 59:144-150.
- Kildisheva, O. A., T. E. Erickson, M. D. Madsen, K. W. Dixon y D. J. Merritt. 2018. Seed germination and dormancy traits of forbs and shrubs important for restoration of North American dryland ecosystems. *Plant Biol.* 21:458-469.
- Liu, X. y B. Huang. 2005. Root physiological factors involved in cool-season grass response to high soil temperature. *Environ. Exp. Bot.* 53:233-245.
- Long, S. P. 1983. C4 photosynthesis at low temperatures. *Plant Cell Environ.* 6:345-363.
- Maguire, J. D. 1962. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Miller, B. P., E. A. Sinclair, M. H. M. Menz, C. P. Elliott, E. Bunn, L. E. Commander, E. Dalziel, E. David, B. Davis, T. E. Erickson, P. J. Golos, S. L. Krauss, W. Lewandowski, C. E. Mayence, L. Merino-Martín, D. J. Merritt, P. G. Nevill, R. D. Phillips, A. L. Ritchie, S. Ruoss y J. C. Stevens. 2017. A framework for the practical science necessary to restore sustainable, resilient, and biodiverse ecosystems. *Restor. Ecol.* 25:605-617.
- Mokany, K., R. J. Raison y A. S. Prokushkin. 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biol.* 12:84–96.
- Mollard, F. P. O. y M. A. Naeth. 2014. Photoinhibition of germination in grass seed e Implications for prairie revegetation. *J. Environ. Manage.* 142:1-9.
- Munson, S. M., E. H. Muldavin, J. Belnap, D. P. C. Peters, J. P. Anderson, M. H. Reiser, K. Gallo, A. Melgoza-Castillo, J. E. Herrick y T. A. Christiansen. 2013. Regional signatures of plant response to drought and elevated temperature across a desert ecosystem. *Ecology* 94:2030-2041.
- Paredesa, M. V. F., A. L. N. da Cunhaa, C. Mussoa, S. S. Airesa, M. N. Satoa y H. S. Miranda. 2018. Germination responses of native and invasive cerrado grasses to simulated fire temperatures. *Plant Ecol Divers.* 11:193-203.
- Pool, D. A., A. O. Panjabi, A. Macias-Duarte y D. M. Solhjem. 2014. Rapid expansion of croplands in Chihuahua, Mexico threatens declining North American grassland bird species. *Biol. Conserv.* 170:274-281.
- Ortega-Ochoa, C., C. Villalobos, J. Martinez, C. Britton y R. Sosebee, 2008. Chihuahua's cattle industry and a decade of drought: economical and ecological implications. *Rangelands* 30:2-7.
- Rassol, F., M. Ishaque, Z. Hussain, Z. Hussain, K. Mehmood y W. Muhammad. 2012. Growth comparison of some indigenous and exotic grasses at germination and seedling stage. *World Appl. Sci. J.* 19:1437-1442.

- Roundy, B. A. y S. H. Biedenbender. 1996. Germination of warm-season grasses under constant and dynamic temperatures. *J. Range. Manage.* 49:425-431.
- Roundy, B. A., R. B. Taylorson y L. B. Sumrall. 1992. Germination responses of Lehmann lovegrass to light. *J. Range. Manage.* 45:81-84.
- Sage, R. F., D. A. Wedin y M. Li. 1998. The biogeography of C4 photosynthesis. En: *C4 Plant Biology*. Sage R. F. y R. K. Monson, eds. Academic Press, San Diego, CA. EUA.
- SAS Institute Inc. 2006. SAS 9.1.3 User's guide. Cary, NC, USA.
- Seal, C. E., M. I. Daws, J. Flores, P. Ortega-Baes, G. Galíndez, P. León-Lobos, A. Sandoval, A. Ceroni Stuva, N. Ramírez-Bullón, P. Dávila-Aranda, C. A. Ordoñez-Salanueva, L. Yáñez-Espinosa, T. Ulian, C. Amosso, L. Zubani, A. Torres-Bilbao y H. W. Pritchard. 2017. Thermal buffering capacity of the germination phenotype across the environmental envelope of the Cactaceae. *Global Change Biol.* 23:5309-5317.
- Stubbendieck, J., S. L. Hatch, N. M. Bryan y C. D. Dunn. 2017. *North American Wildland Plants: A field guide*. 3a ed. Lincoln: University of Nebraska Press. EUA.
- Williams, D. G. y Z. Baruch. 2000. African grass invasion in the Americas: ecosystem consequences and the role of ecophysiology. *Biol. Invasions.* 2:123-140.

**ESTUDIO 3. DESARROLLO DE GRAMÍNEAS DEL DESIERTO
CHIHUAHUENSE BAJO DIFERENTES PATRONES DE HUMEDAD**

RESUMEN

DESARROLLO DE GRAMÍNEAS DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE BAJO DIFERENTES PATRONES DE HUMEDAD

POR:

M. C. OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

Doctor in Philosophia en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Ph. D. Alicia Melgoza Castillo

La baja disponibilidad de humedad es una limitante en el establecimiento de plantas en los programas de restauración de zonas áridas. El objetivo fue evaluar el desarrollo de gramíneas presentes en el desierto Chihuahuense ante diferentes secuencias de humedad/sequía. Se utilizaron 12 gramíneas con cuatro patrones de humedad/sequía con base en patrones de precipitación de verano en el desierto Chihuahuense y 5 repeticiones para cada una. Los patrones utilizados fueron alto, medio, bajo y muy bajo con 120, 100, 80 y 60 mm de lluvia simulada, respectivamente. Se utilizó el procedimiento GLIMMIX para las variables de emergencia y sobrevivencia, y MIXED para velocidad de emergencia, proporción radícula:plúmula del programa SAS 9.1.3. En general, los valores de número de plántulas, velocidad de emergencia, proporción radícula:plúmula (R:P) y sobrevivencia a los 40 d fueron mayores en la secuencia alta para todas las especies ($P < 0.05$). Estas variables disminuyeron ($P < 0.05$) a medida que el nivel de humedad se redujo. Una tendencia general en las

especies nativas fue la mayor proporción R:P en las secuencias con menor humedad, mientras que, en las especies exóticas, sólo *Eragrostis superba* mostró este comportamiento. A pesar de la reducción en emergencia y sobrevivencia, todas las especies nativas se desarrollan aun con 80 mm de riego durante 20 d y otro periodo igual sin humedad. A este nivel de humedad, las exóticas también se adaptan, pero con mayor variabilidad en respuesta. Con base en los resultados, las nativas tienen ventajas competitivas sobre las exóticas para establecerse. Sin embargo, las exóticas y especialmente las invasoras deben tener otras características que le confieren este comportamiento.

ABSTRACT

GRASSES DEVELOPMENT OF THE CHIHUAHUEN DESERT UNDER DIFFERENT PATTERNS OF MOISTURE

BY:

OBED GABRIEL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ

Low water availability is a limiting factor for plant establishment on restoration programs in arid lands. The objective of this study was to evaluate grasses perform with different simulated rainfall sequences. Twelve grass species and four sequences base on precipitation patterns at the Chihuahuan desert were use. Sequences used were high, medium, low, and very low with 120, 100, 80, and 60 mm, respectively. Data was analyzed with GLIMMIX procedures for emergency and survival, and MIXED for speed emergency, root, shoot, and root:shoot ratio, SAS 9.1.3. program. In general, number of seedlings, emergence velocity, root:shoot ratio, and survival at 40 d were highest ($P < 0.05$) with the high sequence for all species. Those variables decreased ($P < 0.05$) as the water sequences was reduced. As a general tendency on native species, root: shoot ratio was a highest at the lower moisture sequences. Among the exotic species, this pattern was observed only on *Eragrostis superba*. Despite of reduction on seedling emergence and survival, all native species can stand at 80 mm of water during 20 d and a similar period without water. At this water level, also exotic species can tolerate but response is variable. Based on the results, native species have competitive advantages over the exotic for establishment under low moisture conditions. However, exotic and especially the invasive must have other characteristics that give this behavior.

INTRODUCCIÓN

Si bien las plantas de zonas áridas están adaptadas a bajos niveles de humedad, esto es una limitante en la etapa de establecimiento (Van Swaaij *et al.*, 2001; Esqueda *et al.*, 2005, Prado-Tarango *et al.*, 2019). La disponibilidad del agua es una condición muy importante para la germinación de las semillas, debido a que determina la imbibición y activación de procesos metabólicos como rehidratación, mecanismos de reparación, crecimiento celular y aparición de la radícula (Dubreucq *et al.*, 2000; Zhu *et al.*, 2014). La baja disponibilidad de humedad para el establecimiento de plantas reviste una gran importancia en los programas de restauración, especialmente en zonas áridas (Mata-González *et al.*, 2012). Aunado a esto, los cambios en temperatura y precipitación debidos al cambio climático tendrán un impacto en el establecimiento de las plantas.

Sólo en relación a la precipitación, los especialistas calculan una disminución de hasta un 20 % para el año 2100 en el desierto Chihuahuense (IPCC, 2014). Esto traerá como consecuencia que muchas especies de plantas cambien sus patrones de crecimiento e incluso su distribución (Cang *et al.*, 2016). Los efectos inmediatos en cambios de patrones de lluvia se reflejarán en las etapas críticas de la planta; germinación, establecimiento y sobrevivencia de las plántulas (Gutterman, 2000; Fehmi *et al.*, 2014; Zhu *et al.*, 2014). Esqueda *et al.* (2005) mencionan que después de un evento de lluvia en zonas áridas, el suelo tiende a desecarse de forma más rápida, por lo que una evaluación de plantas en esta etapa refleja su tolerancia a la sequía. Ludwig *et al.* (2017) realizaron una evaluación de la dinámica de plantas durante 40 años donde se presentaron al menos 4 eventos de sequía. En este período, las gramíneas nativas *Bouteloua*

curtipendula y *B. ramosa* disminuyeron significativamente. Aunado a lo anterior, las gramíneas exóticas *Eragrostis lehmanniana* y *Pennisetum ciliare* invadieron el área.

Existen varios métodos que han sido utilizados con éxito para simular estrés hídrico, bajo condiciones de laboratorio en diferentes plantas. El estrés se puede lograr a través del uso de sustratos osmóticos o productos comerciales tales como manitol, glucosa y polietilenglicol (Álvarez-Holguín *et al.*, 2016; Prado-Tarango *et al.*, 2017). Además, con base en la información de las estaciones meteorológicas se pueden establecer secuencias de riego para simular patrones de lluvia (Esqueda *et al.*, 2002; 2005; Moreno-Gómez *et al.*, 2012). Estas metodologías son de fácil manejo para evaluar la respuesta de diferentes especies o genotipos a precipitación y sequía (Turhan y Baser, 2004).

Es importante la evaluación de la respuesta de especies nativas e invasoras bajo diferentes niveles de humedad para determinar su posible comportamiento ante cambios en patrones de lluvia. En el caso de especies nativas y con valor forrajero, esta información se debe incorporar en programas de resiembra (Silva-Olivas *et al.*, 1993; Esqueda y Carrillo, 2001; Melgoza-Castillo *et al.*, 2007; Beltrán-López *et al.*, 2010; 2013; 2018). Por otro lado, en el caso de especies invasoras esta información puede contribuir para desarrollar estrategias de control o manejo (Sanguinetti *et al.*, 2014; Jernigan *et al.*, 2016; Miller *et al.*, 2017). Debido a lo anterior, existe la necesidad de evaluar las especies que puedan ser utilizadas en programas de resiembras o desarrollar planes de control. El objetivo del presente estudio fue evaluar gramíneas del desierto Chihuahuense bajo diferentes secuencias de humedad/sequía.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero en las instalaciones de Oregon State University (OSU) durante los meses de septiembre a octubre de 2018. La temperatura promedio que se manejó dentro del invernadero fue de 30 ± 1 °C durante el día y de 20 °C durante la noche. Estas temperaturas simulan las condiciones ambientales del mes de julio cuando inicia la temporada de lluvias en las zonas desérticas del estado de Chihuahua (Esqueda *et al.*, 2005; Prado-Tarango *et al.*, 2019). Las semillas utilizadas en el experimento fueron obtenidas de casas comerciales en los Estados Unidos de América. En total se utilizaron 12 especies que crecen de forma silvestre en el desierto Chihuahuense, seis nativas y seis exóticas (Cuadro 5).

Prueba de Tetrazolio y Germinación Estándar

Las semillas se probaron para determinar su viabilidad y hacer un ajuste para la germinación en las secuencias humedad/sequía. La prueba de viabilidad se realizó con cloruro de tetrazolio (TZ), con base en los lineamientos del Seed Laboratory-OSU; además, una prueba de germinación estándar. Las semillas se colocaron en cajas Petri provistas de papel de filtro humedecido con agua destilada. Estas se colocaron en una cámara de germinación Hoffman SG3-22 (Jefferson, Oregon, EE. UU.). Para cada especie se utilizaron cuatro repeticiones de 100 semillas. Las semillas se mantuvieron con humedad constante a 30/20 °C y se contabilizó diariamente el número de semillas germinadas (Elias *et al.*, 2012; AOSA, 2016).

Secuencias de Humedad

La siembra se realizó en conos de 25.4 cm de altura y 6.35 cm de diámetro

Cuadro 5. Viabilidad y germinación (Media \pm EE) de las semillas de gramíneas silvestres del desierto Chihuahuense

Especie	Viabilidad, %	Germinación, %
<i>Bouteloua curtipendula</i>	80.00 \pm 0.91	62.75 \pm 2.56
<i>Bouteloua dactyloides</i>	98.58 \pm 0.46	64.75 \pm 3.66
<i>Bouteloua eriopoda</i>	87.61 \pm 2.78	91.75 \pm 1.11
<i>Bouteloua gracilis</i>	95.10 \pm 0.46	88.00 \pm 2.04
<i>Cynodon dactylon</i>	93.33 \pm 0.95	85.00 \pm 2.04
<i>Digitaria californica</i>	59.15 \pm 4.80	35.50 \pm 1.50
<i>Eragrostis curvula</i>	72.77 \pm 1.32	74.50 \pm 1.76
<i>Eragrostis lehmanniana</i>	68.14 \pm 4.46	9.25 \pm 1.03
<i>Eragrostis superba</i>	89.90 \pm 0.58	72.25 \pm 1.70
<i>Leptochloa dubia</i>	94.23 \pm 0.06	88.00 \pm 1.00
<i>Melinis repens</i>	40.48 \pm 1.43	12.75 \pm 3.99
<i>Pennisetum ciliare</i>	42.92 \pm 0.82	3.25 \pm 1.49

y un volumen de 656 ml (40 in³) con una mezcla de suelo de textura franco arenosa, color marrón dorado, con 70 % de arena, 15 % de arcilla y 15 % de limo. El suelo utilizado se analizó en el Central Analytical Laboratory (CAL) de OSU. El pH del suelo fue de 6.7, materia orgánica en suelo de 1.3 %, nitrato de 11 mg kg⁻¹, conductividad eléctrica de 0.5 mS cm⁻¹, capacidad de campo a -0.03 MPa y punto de marchites permanente a -1.5 MPa (Abdallah *et al.*, 2017). Para cada especie se utilizaron cinco conos. En cada cono se colocaron 5 a 10 semillas de la especie seleccionada, de acuerdo con la viabilidad de la semilla y la prueba estándar de germinación.

Para los riegos se utilizaron cuatro secuencias de humedad/sequía que simulan los patrones de lluvia en verano que se presentan en el desierto Chihuahuense (Esqueda *et al.*, 2005). Estas secuencias representan el promedio de 35 años de estudio en estaciones meteorológica. La secuencia Muy baja fue 1-1, 1-1, 1-2, 1-2, 1-4, 1-12 (en total seis días con lluvia); 60 mm de precipitación. La secuencia Baja fue 1-2, 1-2, 1-1, 1-1, 2-4, 2-12 (ocho días con lluvia); 80 mm de precipitación. La secuencia Media fue 1-1, 1-1, 2-2, 2-2, 2-4, 2-12 (diez días con lluvia); 100 mm de precipitación. La secuencia Alta fue 2-1, 2-1, 2-1, 2-1, 2-4, 2-12 (doce días con lluvia); 120 mm de precipitación. En cada día de riego se aplicó una lámina de 10 mm de agua. Esta cantidad se basa en que los eventos de lluvia entre 8 y 12 mm de agua son los que humedecen los primeros centímetros del suelo (Gutiérrez-Ronquillo, 1999; Esqueda *et al.*, 2005). Debido a lo anterior y al diámetro de los conos, en cada riego se vertieron 32 ml de agua. El diseño experimental fue parcelas divididas. Los conos se aleatorizaron en cinco bloques, dentro de cada bloque se aleatorizó la secuencia de humedad y

dentro de ésta la especie. Así, la parcela grande correspondió a la secuencia y el bloque y la parcela chica fué el bloque, la secuencia y la especie.

Variables Evaluadas

El número de plántulas emergidas y su supervivencia se contabilizó diariamente a lo largo de los 40 d de la prueba. Con estos datos se calculó la velocidad de emergencia (VE; Maguire, 1962), el primer día de emergencia (PDE) y porcentaje de emergencia y sobrevivencia. La producción de biomasa se midió después de 40 d, se tomaron las plantas al azar y se enjuagaban con agua corriente para eliminar el suelo de ellas, una vez retirado el suelo se midió el tamaño de radícula y plúmula. Después de lo anterior, se colocaban en bolsas de papel previamente etiquetadas y fueron llevadas a una estufa de aire forzado a 65 °C por 72 h (VWR Scientific Modelo 1380FM). Lo anterior para calcular la producción de biomasa aérea y radicular. Las muestras se pesaron en una balanza analítica de la marca Viper BC, Mettler Toledo. La proporción longitudinal de radícula:plúmula (R:PL) se calculó dividiendo el tamaño de la radícula sobre la parte aérea. La proporción radícula:plúmula con respecto a peso (R:PW) se calculó dividiendo la biomasa radicular seca sobre la biomasa aérea seca.

Análisis Estadístico

Para las variables binomiales de emergencia y sobrevivencia se ajustó un modelo lineal generalizado con el paquete PROC GLIMMIX de SAS (versión 9.1.3; SAS Institute, Inc.), para lo cual se utilizó el enlace "logit", que incluyó los efectos fijos de secuencia, especie y su interacción, así mismo, el bloque y la interacción como efecto aleatorio. Para las variables VE, ND, R:PL y R:PW se utilizó el MIXED de SAS (versión 9.1.3; SAS Institute, Inc.), donde se incluyó los

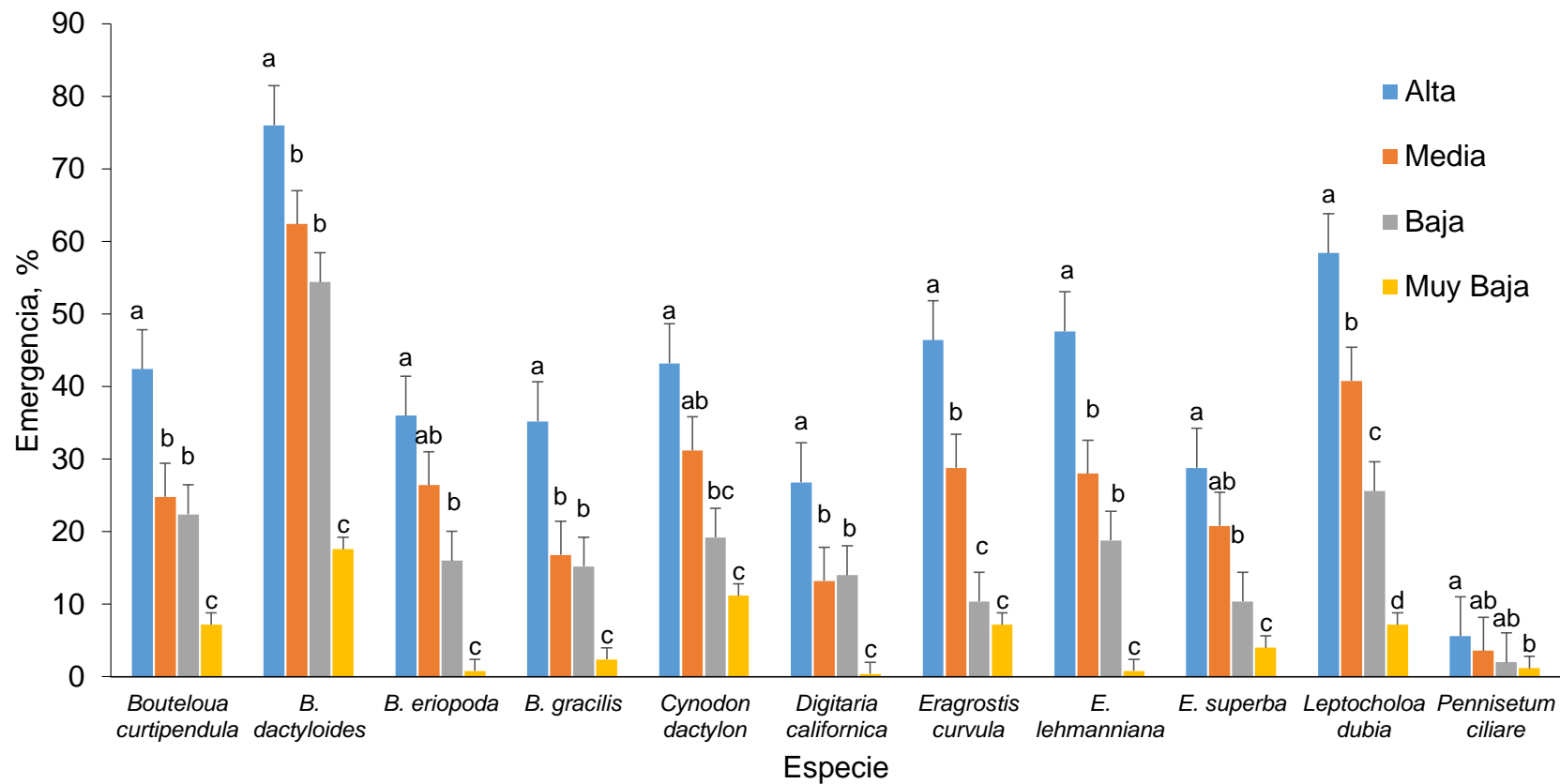
efectos fijos de especie, temperatura y su interacción, así mismo, se tomo a la bloque y la interacción como efecto aleatorio. Cuando se detecto significancia ($P > 0.05$) en alguno(s) de los efectos ajustados se corrió la prueba de contrastes para la comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Emergencia

La emergencia presentó diferencias ($P < 0.05$) en respuesta a la cantidad de agua disponible en cada uno de los tratamientos (Gráfica 7). La emergencia fue mayor con la secuencia alta y disminuyó a medida que se redujo la humedad ($P < 0.05$). En el caso de *Melinis repens* no se pudieron realizar análisis estadísticos debido a que se presentaron germinaciones de 2.8 % en la secuencia alta, 0.40 % en la media y baja, y 0.20 % en la muy baja. Las especies con menores valores de emergencia fueron *Digitaria californica* y *Eragrostis lehamanniana* en la secuencia más baja. *Pennisetum ciliare* mostró una germinación baja en todas las secuencias. Algunos autores mencionan que *P. ciliare* necesita al menos tres eventos de lluvia continua de 8 mm para poder germinar (Bracamonte *et al.*, 2017), lo cual no se tuvo en las secuencias estudiadas en el presente estudio. *Cynodon dactylon* fue la gramínea exótica que tuvo la menor reducción de emergencia en la secuencia baja. Sin embargo, de la secuencia alta a la baja hubo una disminución de la emergencia de hasta un 98 % ($P < 0.05$). Shi *et al.* (2012) encontraron una disminución entre 100 y 39 % en la sobrevivencia en *C. dactylon* bajo condiciones de sequía. *Bouteloua dactyloides* fue la especie nativa que presentó la menor reducción de emergencia en función de las secuencias de humedad/sequía.

La disminución de la emergencia se debe a que las plantas necesitan una cantidad mínima de humedad para llevar a cabo los procesos de germinación (Zhu *et al.*, 2014). Esqueda *et al.* (2005) encontraron que las gramíneas adaptadas a zonas áridas podían germinar bajo condiciones extremas, esto



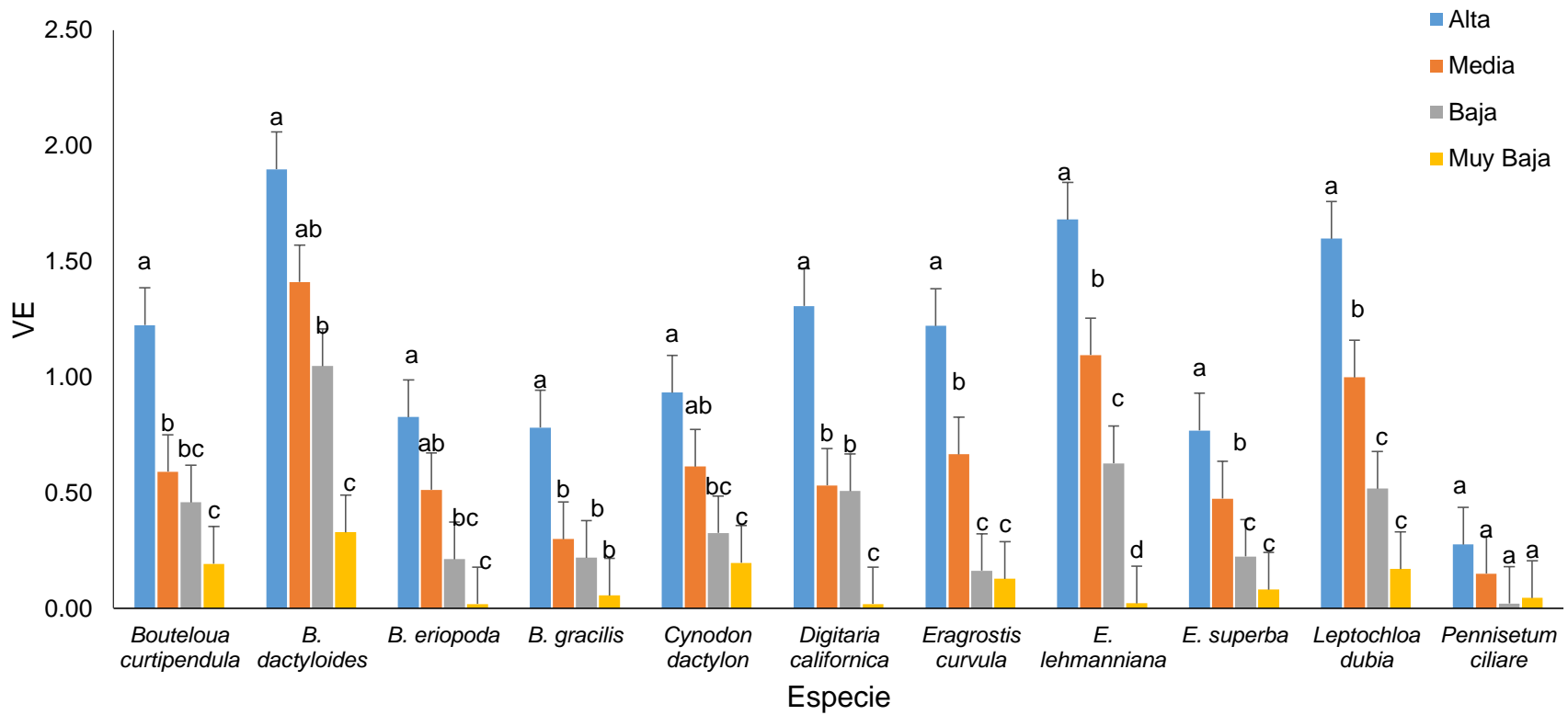
Gráfica 7. Medias (\pm EE) de la emergencia de 11 gramíneas sometidas a cuatro secuencias de humedad/sequía.

^{abc} Literales diferentes denotan diferencia estadística para cada especie ($P < 0.05$).

comparado con gramíneas no adaptadas. En un estudio similar, el pasto *Melinis repens* demostró su capacidad para germinar en bajas condiciones de humedad (Baladrán *et al.*, 2014). La disminución de la emergencia es considerada como una estrategia de sobrevivencia de las especies; ya que retrasan la germinación hasta tener las condiciones óptimas de humedad (Sfairi *et al.*, 2012).

Velocidad de Emergencia (VE)

La velocidad de emergencia (VE) resultó estar influenciada ($P < 0.05$) por las secuencias humedad/sequía para todas las especies (Gráfica 8). La secuencia con mayores días de humedad presentó la mayor VE ($P < 0.05$). Estas respuestas fueron similares a las reportadas por Prado-Tarango *et al.* (2019), quienes observaron un comportamiento similar en plantas del desierto Chihuahuense cuando eran sometidas a secuencias de humedad/sequía. Así mismo, la velocidad de emergencia es un factor importante para la sobrevivencia de las especies ante los patrones de lluvia presentes en el desierto Chihuahuense. La rápida germinación pudiera favorecer al establecimiento de especies cuando son expuestas a eventos de sequía (Jurado y Westoby, 1992; Rogers *et al.*, 1995). También, la germinación rápida está asociada con la adaptación que tengan a los hábitats secos, donde se han desarrollado las especies (Bochet *et al.*, 2007). Además, las secuencias retrasaron la emergencia de las especies, cuando la secuencia era más baja, la germinación era más lenta y el tiempo a la primera emergencia era mayor ($P < 0.05$). La mayoría de las especies comenzaban a emerger al acumular al menos 60 mm de lluvia. Esto se debe probablemente a las estrategias de crecimiento que tienen las gramíneas para tolerar los ambientes áridos (Sfairi *et al.*, 2012).



Gráfica 8. Velocidad de emergencia para 11 especies de gramíneas sometidas a secuencias de humedad/sequía.
^{abc} Literales diferentes denotan diferencia estadística para cada especie (P <0.05).

Sobrevivencia

Las gramíneas disminuyeron la sobrevivencia al término de los 40 d de prueba ($P < 0.05$). Al aplicar los niveles de humedad más bajos, la sobrevivencia fue menor. En las especies nativas, *B. dactyloides*, *D. californica* y *Leptochloa dubia* presentaron la menor pérdida de sobrevivencia en la secuencia baja (Cuadro 6). Debido a la cantidad de datos de sobrevivencia en la secuencia muy baja, no se pudieron realizar los análisis estadísticos correspondientes. *B. eriopoda*, *D. californica* y *L. dubia* no mostraron diferencia en sobrevivencia en los diferentes niveles de humedad ($P > 0.05$). De las gramíneas exóticas, *C. dactylon* y *E. curvula* toleraron más a la secuencia alta. Además, *C. dactylon* fue la que presentó más tolerancia durante la secuencia baja. En las especies exóticas, *E. lehmanniana* fue la especie que tuvo el menor porcentaje de sobrevivencia de plántulas durante las secuencias alta, media y baja (Cuadro 7). Waller y Lewis (1979) mencionaron que las plantas que sean tolerantes a sequía o falta de humedad tendrán ventaja sobre aquellas que no toleran la sequía ante escenarios futuros. Además, Ferrari y Parera (2015) mencionan que las especies nativas están adaptadas a las condiciones de sequía del lugar. Báez *et al.* (2013) encontraron una disminución en la cobertura de *B. eriopoda* luego de 5 años de sequía en un estudio realizado en el desierto Chihuahuense. Así mismo, en este estudio se encontró una disminución de la emergencia y sobrevivencia de *B. eriopoda* cuando las secuencias fueron bajas. Según Zhu *et al.* (2014), la cantidad de agua que recibe una planta es un factor importante, ya que éste afecta el establecimiento y sobrevivencia de las especies de plantas en el ecosistema.

Cuadro 6. Medias (\pm E.E.) de las variables de respuesta de las gramíneas nativas del desierto Chihuahuense sometidas a secuencias de humedad/sequía

Especie	Secuencia	PDE, d	Sobrevivencia, %	R:PL	R:PW
<i>Bouteloua curtipendula</i>	Alta	7.4 \pm 1.01 ^a	53 \pm 14 ^a	0.93 \pm 0.14 ^a	0.53 \pm 0.16 ^a
	Media	9.4 \pm 1.01 ^a	66 \pm 14 ^a	0.90 \pm 0.14 ^a	0.92 \pm 0.16 ^a
	Baja	12.6 \pm 1.01 ^b	20 \pm 10 ^b	1.09 \pm 0.22 ^a	0.89 \pm 0.22 ^a
	Muy Baja*		- *	1.27 \pm 0.30 ^a	1.97 \pm 0.32 ^b
<i>B. dactyloides</i>	Alta	8.8 \pm 1.01 ^a	72 \pm 11 ^a	1.15 \pm 0.14 ^a	0.72 \pm 0.16 ^a
	Media	9.8 \pm 1.01 ^{ab}	70 \pm 12 ^a	1.25 \pm 0.14 ^{ab}	0.87 \pm 0.16 ^{ab}
	Baja	12.2 \pm 1.01 ^b	44 \pm 13 ^b	1.61 \pm 0.14 ^{bc}	1.15 \pm 0.16 ^b
	Muy Baja*		-	1.75 \pm 0.15 ^c	1.72 \pm 0.17 ^c
<i>B. eriopoda</i>	Alta	9.4 \pm 1.01 ^a	33 \pm 13 ^a	0.83 \pm 0.18 ^a	0.74 \pm 0.19 ^a
	Media	11.8 \pm 1.01 ^{ab}	46 \pm 15 ^a	0.92 \pm 0.16 ^{ab}	0.95 \pm 0.17 ^a
	Baja	14.3 \pm 1.10 ^b	30 \pm 14 ^a	1.32 \pm 0.15 ^b	1.45 \pm 0.17 ^b
	Muy Baja*		-	0.59 \pm 0.31 ^a	0.93 \pm 0.32 ^a
<i>B. gracilis</i>	Alta	9.6 \pm 1.01 ^a	56 \pm 14 ^a	1.10 \pm 0.14 ^a	0.78 \pm 0.16 ^a
	Media	12.2 \pm 1.01 ^b	29 \pm 14 ^{ab}	1.05 \pm 0.16 ^a	0.98 \pm 0.17 ^{ab}
	Baja	15.3 \pm 1.10 ^c	9 \pm 7 ^b	1.28 \pm 0.30 ^a	1.20 \pm 0.30 ^{ab}
	Muy Baja*		-	0.93 \pm 0.30 ^a	1.67 \pm 0.31 ^b
<i>Digitaria californica</i>	Alta	9.2 \pm 1.01 ^a	70 \pm 12 ^a	1.14 \pm 0.14 ^a	0.57 \pm 0.16 ^a
	Media	11.8 \pm 1.01 ^b	74 \pm 13 ^a	1.16 \pm 0.14 ^a	0.78 \pm 0.16 ^{ab}
	Baja	13.0 \pm 1.01 ^b	49 \pm 15 ^a	1.43 \pm 0.14 ^a	1.02 \pm 0.16 ^b
	Muy Baja*		-	-	-
<i>Leptochloa dubia</i>	Alta	7.2 \pm 1.01 ^a	59 \pm 13 ^a	0.82 \pm 0.14 ^a	0.56 \pm 0.16 ^a
	Media	8.6 \pm 1.01 ^a	41 \pm 14 ^a	0.73 \pm 0.14 ^a	0.75 \pm 0.16 ^{ab}
	Baja	12.2 \pm 1.01 ^b	50 \pm 15 ^a	1.07 \pm 0.16 ^a	0.68 \pm 0.17 ^{ab}
	Muy Baja*		-	1.023 \pm 0.22 ^a	1.12 \pm 0.23 ^b

^{abc} Literales diferentes indican diferencia estadística entre medias de hilera dentro de columna para cada especie.

Secuencia: Nivel de humedad con base en Esqueda *et al.* (2005); PDE: Primer día a la emergencia; Sobrevivencia = conteo a los 40 d de iniciado la prueba; R:PL= Proporción Radícula/Plúmula en longitud; R:PW= Proporción Radícula/Plúmula en peso. * No datos suficientes para realizar el análisis.

Cuadro 7. Medias (\pm E.E.) de las variables de respuesta de las gramíneas exóticas en el desierto Chihuahuense ante las secuencias de humedad/sequía

Especie	Secuencia	PDE, d	Sobrevivencia, %	R:PL	R:PW
<i>Cynodon dactylon</i>	Alta	11.2 \pm 1.01 a	68 \pm 12 a	1.77 \pm 0.16 ab	0.94 \pm 0.17 a
	Media	11.4 \pm 1.01 a	63 \pm 14 ab	1.53 \pm 0.14 a	0.86 \pm 0.16 a
	Baja	13.4 \pm 1.01 a	40 \pm 16 b	1.62 \pm 0.18 ab	0.84 \pm 0.19 a
	Muy Baja*		- *	2.03 \pm 0.22 b	1.10 \pm 0.23 a
<i>Eragrostis curvula</i>	Alta	8.8 \pm 1.01 a	67 \pm 12 a	0.91 \pm 0.14 a	0.64 \pm 0.16 a
	Media	11.0 \pm 1.01 a	54 \pm 15 a	0.81 \pm 0.14 a	0.68 \pm 0.16 a
	Baja	14.9 \pm 1.10 b	12 \pm 9 b	0.79 \pm 0.18 a	0.35 \pm 0.19 a
	Muy Baja*		-	1.18 \pm 0.22 a	0.63 \pm 0.23 a
<i>E. lehmanniana</i>	Alta	12.0 \pm 1.01 a	24 \pm 9 a	1.21 \pm 0.14 a	0.83 \pm 0.16 a
	Media	12.6 \pm 1.01 ab	10 \pm 5 b	1.56 \pm 0.18 a	0.72 \pm 0.19 a
	Baja	14.8 \pm 1.01 b	4 \pm 3 b	1.21 \pm 0.22 a	0.49 \pm 0.22 a
	Muy Baja*		-	-	-
<i>E. superba</i>	Alta	8.8 \pm 1.01 a	55 \pm 15 a	1.31 \pm 0.14 a	0.42 \pm 0.16 a
	Media	11.6 \pm 1.01 b	57 \pm 16 a	1.25 \pm 0.15 a	0.67 \pm 0.17 ab
	Baja	15.2 \pm 1.23 c	19 \pm 12 b	1.64 \pm 0.18 a	0.67 \pm 0.19 ab
	Muy Baja*		-	1.18 \pm 0.18 a	1.01 \pm 0.19 b
<i>Pennisetum ciliare</i>	Alta	12.1 \pm 1.10 a	34 \pm 16 a	0.91 \pm 0.16 ab	0.60 \pm 0.17 a
	Media	12.7 \pm 1.23 a	83 \pm 16 a	0.76 \pm 0.18 a	0.96 \pm 0.19 a
	Baja	19.0 \pm 1.46 b	30 \pm 22 a	1.32 \pm 0.22 b	0.58 \pm 0.22 a
	Muy Baja*		-	1.02 \pm 0.30 ab	1.00 \pm 0.32 a

abc Literales diferentes indican diferencia estadística por columna para cada especie.

Secuencia: Nivel de humedad con base en Esqueda *et al.* (2005); PDE: Primer día a la emergencia; Sobrevivencia= conteo a los 40 d de iniciado la prueba; R:PL= Proporción Radícula/Plúmula de la longitud; R:PW= Proporción Radícula/Plúmula del peso. * No datos suficientes para realizar el análisis.

Proporción Radícula:Plúmula (R:P)

Las gramíneas nativas *B. dactyloides* y *B. eriopoda* mostraron un incremento en la proporción de R:PL ($P < 0.05$) cuando disponían de menos humedad. Así mismo, en las especies exóticas, *C. dactylon* y *P. ciliare* aumentaron su proporción de R:PL ($P < 0.05$) cuando fueron sometidas a las secuencias baja y muy baja. Sin embargo, *E. curvula*, *E. lehmanniana* y *E. superba* no mostraron diferencia ($P > 0.05$). Algunos autores mencionan que cuando las gramíneas son sometidas a efectos de sequía, las raíces tienden a crecer en aquellas donde la humedad es limitada; lo anterior en la búsqueda de la humedad necesaria para la sobrevivencia (Trachsel *et al.*, 2010a; Ji *et al.*, 2014). Sin embargo, el tamaño de las raíces también puede ser influenciado por el contenedor donde se encuentren.

Las especies nativas presentaron un aumento en las proporciones R:PW cuando fueron sometidas a diferentes secuencias de humedad/sequía ($P < 0.05$; Cuadro 6). En las especies exóticas no se encontró diferencia ($P > 0.05$) entre R:PW, excepto para *E. superba* (Cuadro 7). Se esperaría que se observara tendencia similar a la de la longitud de las plántulas; sin embargo, se observa que algunas de las especies evaluadas dedican más nutrientes a producir parte aérea. En cambio, las especies nativas siguen una tendencia que a más falta de agua es mayor R:PW ($P < 0.05$; Cuadro 6). En un estudio similar, Santos *et al.* (2013) observaron una disminución de la materia seca aérea y un aumento en el tamaño de las raíces de las especies cuando eran sometidas a las secuencias de humedad/sequía; esto coincide con lo encontrado en este trabajo. Así mismo, Mattos *et al.* (2005) mencionan que con la falta de agua existe disminución de la

producción de materia seca (MS) de las plántulas de *Brachiaria spp.*; en este trabajo se observa una disminución de la MS conforme bajan las secuencias de humedad. Algunas especies tienen un crecimiento mayor en sus raíces con el propósito de obtener la humedad que está menos ligada al suelo subterráneo; así mismo, el peso es mayor (Trachsel *et al.*, 2010b; Aasamaa y Söheber, 2011). Las proporciones se pueden deber a la morfología (tamaño de hojas) que presentan algunos pastos como lo es el *P. ciliare* y *E. superba* (Mganga *et al.*, 2010). Kim *et al.* (2016) encontraron mayor volumen en plantas de *B. eriopoda*, *B. curtipendula* y *B. gracilis* cuando los niveles de irrigación eran más altos. Así mismo, en este trabajo se encontraron estos mismos patrones de crecimiento. La habilidad que tengan las semillas para germinar en humedades bajas les permitirá sobrevivir a las condiciones de áreas desérticas (Arnold *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La reducción de la humedad retardó la emergencia de 4 a 7 d. Con excepción de *Leptochloa dubia*, las especies nativas disminuyen, pero no inhiben, la emergencia y sobrevivencia ante reducciones de 20 a 40 % de humedad, como se prevé para zonas áridas. Las exóticas *Melinis repens* y *Eragrostis superba* son sensibles en emergencia y/o sobrevivencia ante estas reducciones de humedad. Por lo que, estas especies deben tener otras estrategias que les da el éxito como invasoras. La proporción R:P se incrementa a medida que se reduce la humedad, como respuesta a explorar mayor área en búsqueda de humedad.

Es importante continuar evaluando y seleccionado un mayor número de especies nativas con potencial para restauración ante los escenarios de Cambio Climático. Chihuahua cuenta con alrededor de 6000 especies de plantas vasculares, por lo que existe un potencial para investigar y seleccionar especies para restauración. Además de incluir un mayor número de especies, con base en los resultados obtenidos un siguiente paso sería llevar este experimento a campo para validar el comportamiento en el proceso del establecimiento de plantas.

LITERATURA CITADA

- Aasamaa, K. y A. Sõber. 2011. Stomatal sensitivities to changes in leaf water potential, air humidity, CO₂ concentration and light intensity, and the effect of abscisic acid on the sensitivities in six temperate deciduous tree species. *Environ. Exp. Bot.* 71:72-78.
- Abdallah, M. A. B., R. Mata-González, D. W. Martin, R. Trejo-Calzada y J. S. Noller. 2017. Effects of surface and subsurface water application on nitrogen and sodium relations of desert graminoids of different geographic origin. *Arid Land Res. Manag.* 31:1-13.
- Álvarez-Holguín, A., C. R. Morales-Nieto, R. Corrales-Lerma, A. Melgoza-Castillo y G. Méndez-Zamora. 2017. Germinación de genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) bajo diferentes presiones osmóticas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4:161-168.
- Arnold, S., C. Thornton y T. Baumgartl. 2012. Ecohydrological feedback as a land restoration tool in the semi-arid Brigalow Belt, QLD, Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 163:61-71.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 2016. AOSA rules for testing seeds. Association of Official Seed Analysts Inc., Washington DC. USA.
- Báez, S. S. L. Collins, W. T. Pockman, J. E. Johnson y E. E. Small. 2013. Effects of experimental rainfall manipulations on Chihuahuan Desert grassland and shrubland plant communities. *Oecologia* 172:1117–1127.
- Balandrán, M., D. L. Ojeda-Barrios, A. Melgoza-Castillo y R. Mata-González. 2015. Emergencia y sobrevivencia del zacate rosado en diferentes suelos y patrones de humedad-sequía. *Terra Latinoamericana* 33: 169-178.
- Beltrán-López, S. B., C. A. García-Díaz, J. A. Hernández-Alatorre, C. Loredó-Osti, J. Urrutia-Morales, L. A. González-Eguiarte y H. G. Gámez-Vázquez. 2010. "Navajita Cecilia" *Bouteloua gracilis* hbk (lag.) nueva variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1:127-130.
- Beltrán-López, S., C. A. G. Díaz, C. L. Osti, J. U. Morales, J. A. H. Alatorre y H. G. G. Vázquez. 2018. "Llorón Imperial", *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees, variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Rev. Méx. Cienc. Pecu.* 9:400-407.
- Beltrán-López, S., C. A. García-Díaz, J. A. Hernández-Alatorre, C. Loredó Osti, J. Urrutia Morales, L. A. González Eguiarte y H. G. Gámez Vázquez. 2013. "Banderilla Diana" *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., nueva variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 4:217-221.
- Bracamonte, J. A., C. Tinoco-Ojanguren, M. E. Sánchez-Coronado y F. Molina-Freaner. 2017. Germination requirements and the influence of buffelgrass invasion on a population of *Mammillaria grahamii* in the Sonoran Desert. *J. Arid Environ.* 137:50-59.

- Bochet, E., P. García-Fayos, B. Alborch y J. Tormo. 2007. Soil water availability effects on seed germination account for species segregation in semiarid roadslopes. *Plant Soil* 295:179-191.
- Cang, F. A., A. A. Wilson y J. J. Wiens. 2016. Climate change is projected to outpace rates of niche change in grasses. *Biol. Letters*. 12:20160368.
- Dubreucq, B., N. Berger, E. Vincent, M. Boisson, G. Pelletier, M. Cabache y L. Lepinnee. 2000. The *Arabidopsis* AtEPR1 extensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. *Plant J.* 23:643-652.
- Elias, S. G., L. O. Copeland, M. B. McDonald y R. Z. Baalbaki. 2012. Seed testing: Principles and practices. Michigan State University Press, East Lansing, USA
- Esqueda, M. H, R. Carrillo, M. Sosa, A. Melgoza, M. H. Royo y J. Jiménez. 2002. Emergencia y sobrevivencia de gramíneas inoculadas con biofertilizantes en condiciones de invernadero. *Téc. Pecu. Méx.* 42:459-475.
- Esqueda, M. H. y R. L. Carrillo. 2001. Producción de forraje y carne en pastizales resembrados con gramíneas introducidas. *Rev. Méx. Cienc. Pecu.* 39:139-152.
- Esqueda, M. H., A. Melgoza, M. Sosa, R. Carrillo y J. Jiménez. 2005. Emergencia y sobrevivencia de gramíneas con diferentes secuencias de humedad/sequía en tres tipos de suelo. *Téc. Pecu. Méx.*43:101-115.
- Fehmi, J. S., G.-Y. Niu, R. L. Scott y A. Mathias. 2014. Evaluating the effect of rainfall variability on vegetation establishment in a semidesert grassland. *Environ. Monit. Assess.* 186:395–406.
- Ferrari, F. N. y C. A. Parera. 2015. Germination of six native perennial grasses that can be used as potential soil cover crops in drip-irrigated vineyards in semiarid environs of Argentina. *J. Arid Environ.* 113:1-5.
- Gutiérrez-Ronquillo, E. 1999. Evaluación del efecto de la cubierta vegetal en el escurrimiento, pico de escurrimiento y arrastra de sedimentos bajo dos intensidades de lluvia simulada. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chihuahua, México.
- Gutterman, Y. 2000. Maternal effects on seeds during development. In *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. 2a ed. M. Fenner, ed. CABI Publishing. New York, E.U.A.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo principal de redacción, Pachauri, R. K. y L. A. Meyer, eds. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Jernigan, M. B., M. P. McClaran, S. H. Biedenbender y J. S. Fehmi. 2016. Uprooted buffelgrass thatch reduces buffelgrass seedling establishment. *Arid Land Res. Manag.* 30:320-329.

- Jurado, E. y M. Westoby. 1992. Germination biology of selected central Australian plants. *Aust. J. Ecol.* 17:341-348.
- Kim, S., A. Williams, J. R. Kiniry y C. V. Hawkes. 2016. Simulating diverse native C4 perennial grasses with varying rainfall. *J. Arid Environ.* 134:97-103.
- Maguire, J. D. 1962. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177
- Mata-González, R., T. McLendon, D. W. Martin, M. J. Trlica y R. Pearce. 2012. Vegetation as affected by groundwater depth and microtopography in a shallow aquifer area of the Great Basin. *Ecohydrology* 5:54-63.
- Mattos, J. L. S., J. A. Gomide y C. A. Martinez y Huaman. 2005. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. *Rev. Bras. Zootecn.* 34:746-754.
- Melgoza-Castillo, A., C. Ortega-Ochoa, C. R. Morales-Nieto, P. Jurado-Guerra, C. Velez-Sanchez-Verin, M. H. Royo-Márques, G. Quintana-Martínez, A. Lafón-Terrazas, M. T. Alarcón-Herrera, G. Bezanilla-Enríquez y C. Pinedo-Alvarez. 2007. Propagación de plantas nativas para la recuperación de áreas degradadas: opción para mejorar ecosistemas. *Tecnociencia* 1:38-41.
- Mganga, K. Z., N. K. R. Musimba, D. M. Nyariki, M. M. Nyangito, A. W. Mwang'ombe, W. N. Ekaya, D. Clavel, J. Francis, R. von Kaufmann, J. Verhagen y W. M. Muiru. 2010. Dry matter yields and hydrological properties of three perennial grasses of a semi-arid environment in east Africa. *Afr. J. Plant Sci.* 4:138-144.
- Miller, B. P., E. A. Sinclair, M. H. M. Menz, C. P. Elliott, E. Bunn, L. E. Commander, E. Dalziell, E. David, B. Davis, T. E. Erickson, P. J. Golos, S. L. Krauss, W. Lewandrowski, C. E. Mayence, L. Merino-Martín, D. J. Merritt, P. G. Nevill, R. D. Phillips, A. L. Ritchie, S. Ruoss y J. C. Stevens. 2017. A framework for the practical science necessary to restore sustainable, resilient, and biodiverse ecosystems. *Restor. Ecol.* 25:605-617.
- Moreno-Gómez, B., E. García-Moya, Q. Rascón-Cruz y G. A. Aguado-Santacruz. 2012. Crecimiento y establecimiento de plántulas de *Bouteloua gracilis* (Kunth) Lag. ex Griffiths y *Eragrostis curvula* var. *conferta* Stapf bajo un régimen simulado de lluvia. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:299-308.
- Prado-Tarango, D. E., A. Melgoza-Castillo, R. Mata-González y F. Villarreal-Guerrero. 2017. Estrés osmótico y germinación de *Yucca elata* y *Menodora scabra*, dos especies de plantas nativas del desierto Chihuahuense. *Rev. Chapingo Ser Zonas Áridas* 16:39-44.
- Prado-Tarango, D., R. Mata-González, A. Melgoza-Castillo, S. G. Elias y E. Santellano-Estrada. 2019. Simulated rainfall sequences affect germination and biomass allocation of Chihuahuan desert native plants. *Arid Land Res. Manag.* 33:22-36.

- Rogers, M. E., C. L. Noble, G. M. Halloran y M. E. Nicolas. 1995. The effect of NaCl on germination and early seedling growth of white clover (*Trifolium repens* L.) population selected for high and low salinity tolerance. *Seed Sci. Technol.* 23:277-287.
- Sanguinetti, J., L. Buria, L. Malmierca, A. E. Valenzuela, C. Núñez, H. Pastore, L. Chauchard, N. Ferreyra, G. Massaccesi, E. Gallo y C. Chehébar. 2014. Manejo de especies exóticas invasoras en Patagonia, Argentina: Priorización, logros y desafíos de integración entre ciencia y gestión identificados desde la Administración de Parques Nacionales. *Ecología Austral* 24:183-192.
- Santos, P., P. Cruz, L. Araujo, J. Pezzopane, C. Valle y C. Pezzopane. 2013. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. *Rev. Bras. Zootecn.* 42:767-773.
- SAS Institute Inc. 2006. SAS 9.1.3 User's guide. Cary, NC, USA.
- Sfairi, Y., O. Lahcen, M. N. Al Feddy y A. Abbad. 2012. Dormancy-breaking and salinity/water stress effects on seed germination of Atlas cypress, an endemic and threatened coniferous species in Morocco. *Afr. J. Biotechnol.* 11:4385-4390.
- Shi, H., Y. Wang, Z. Cheng, T. Ye y Z. Chan. 2012. Analysis of natural variation in Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) reveals physiological responses underlying drought tolerance. *PLoS ONE* 7: e53422.
- Silva-Olivas, M. F., F. Ramírez-Moreno, M. A. Parra-Galindo, M. H. Martín-Rivera y F. R. Burboa-Cabrera. 1993. Evaluación de 20 variedades de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en el matorral arbosubfrutescente de Sonora. *Téc. Pec. Méx.* 31:51-55.
- Trachsel, S., P. Stamp y A. Hund. 2010a. Growth of axile and lateral roots of maize: Response to desiccation stress induced by polyethylene glycol 8000. *Maydica* 55:101-109.
- Trachsel, S., P. Stamp y A. Hund. 2010b. Effect of high temperatures, drought and aluminum toxicity on root growth of tropical maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Maydica* 55:249-260.
- Turhan, H. y I. Baser. 2004. Callus induction from mature embryo of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian J. Plant Sci.* 3:17-19.
- Van Swaaij, A. C. P. M., W. Heijbroek y J. L. Basting. 2001. Testing and improving seed vigour in sugar beet. *Int. Sugar J.* 103:467-472.
- Waller, S. S. y J. K. Lewis. 1979. Occurrence of C3 and C4 photosynthetic pathways in North American grasses. *J. Range. Manage.* 32:12-28.
- Zhu, Y., X. Yang, C. C. Baskin, J. M. Baskin, M. Dong y Z. Huang. 2014. Effects of amount and frequency of precipitation and sand burial on seed germination, seedling emergence and survival of the dune grass *Leymus secalinus* in semiarid China. *Plant Soil* 374:399-409.

DISCUSIÓN GENERAL

La evaluación de gramíneas nativas y exóticas ante escenarios de Cambio Climático (CC), los patrones de germinación y desarrollo de plántula, sientan las bases para su manejo (Melgoza *et al.*, 2007; Carrillo *et al.*, 2009; Gray y Brady, 2016). La exótica *Eragrostis curvula* y las nativas *Bouteloua curtipendula* y *Leptochloa dubia* presentan características con ventajas competitivas para establecerse en períodos cortos de humedad. Sin embargo, ante lo incierto de las precipitaciones en el verano, las especies con características de germinación lenta presentan ventajas, ya que no gastan su banco de semillas en suelo ante un evento de precipitación y enseguida un periodo sin lluvia (Jurado y Westoby, 1992; Wiegand *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2019). Por lo que, bajo estas condiciones, las nativas *B. curtipendula* y *L. dubia* y la exótica *E. curvula* pudieran tener mayor número de reclutamiento de individuos en sus poblaciones. En las exóticas, consideradas como invasoras, *E. lehmanniana* y *Melinis repens* no muestran valores que sean sobresalientes para su mejor establecimiento. Sin embargo, *M. repens* superó por mucho la proporción R:P que le da ventajas competitivas para su establecimiento una vez que ha germinado (Prado-Tarango *et al.*, 2019). Estas especies deben presentar otras características que las hacen invasoras como cantidad de semillas que producen (Carrillo *et al.*, 2009), formas de dispersión (Pesendorfer *et al.*, 2016), entre otras.

La exótica *Cynodon dactylon* y las nativas *B. gracilis* y *Digitaria californica* no se vieron afectadas en su germinación aun a temperatura constante de 34 °C. Por lo que ante un incremento en temperatura como parte del CC (IPCC, 2014), estas especies son las que más probablemente podrán adaptarse. En el caso de

C. dactylon, además de que puede adaptarse a un incremento de temperatura de verano, la germinación puede cambiar a primavera. La variable proporción R:P no se vio afectada por la temperatura.

La reducción de la humedad afecta el desarrollo de las plantas, aun en especies adaptadas a zonas áridas (Prado-Tarango *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019). Las gramíneas estudiadas retrasaron su emergencia de 4 a 7 d. Con base en los patrones de precipitación en zonas áridas, los eventos de 5 a 10 mm son los más frecuentes y representan humedad efectiva para los procesos ecológicos (Wiegand *et al.*, 2004; Esqueda *et al.*, 2005). En los valles centrales de pastizales, una precipitación promedio es de 340 mm anuales, y alrededor del 85 % se presenta en el verano, 272 mm. Después de 20 d con humedad y 20 sin esta, las especies nativas presentaron emergencia y lograron sobrevivir aun con sólo 80 mm. Con excepción de *M. repens*, todas las exóticas presentaron los mismos resultados. La exótica *M. repens* probablemente no siguió el mismo patrón debido a que puede comportarse como anual o perenne, muy probablemente dependiendo de las condiciones climáticas (Melgoza *et al.*, 2014). En general, la proporción R:P se incrementó a medida que se redujo la humedad. Esta respuesta es común, ya que la planta invierte más en raíces en busca de humedad (De Long *et al.*, 2019; Prado-Tarango *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Las especies nativas se podrán continuar utilizando para resiembra aún bajo los escenarios de cambio climático, especialmente *Bouteloua curtipendula*, *B. gracilis* y *Digitaria californica*. Las gramíneas exóticas *Eragrostis superba*, *E. curvula* y *Pennisetum ciliare* también podrán adaptarse a incrementos de temperatura y reducciones de humedad. Las características evaluadas en este trabajo no contribuyen a entender el carácter invasivo de *E. lehmanniana* y *Melinis repens*.

Es importante continuar evaluando a más altas temperaturas para determinar los límites de adaptación a incrementos de temperatura de las especies. Por otro lado, es importante integrar los factores humedad y temperatura, e incluir niveles de CO₂ para evaluar a las especies de forma integral. Estos estudios se recomienda llevarlos a cabo bajo condiciones de campo para validar la información hasta ahora obtenida. Por último, la flora de zonas áridas incluye una gran variedad de especies que pueden ser evaluadas. Esto acelerará la toma de decisiones para llevar a cabo programas de restauración y tratar de mantener el equilibrio ecológico ante el cambio climático.

LITERATURA CITADA

- De Long, J. R., M. Semchenko, W. J. Pritchard, I. Cordero, E. L. Fry, B. G. Jackson, K. Kurnosova, N. J. Ostle, D. Johnson, E. M. Baggs y R. D. Bardgett. 2019. Drought soil legacy overrides maternal effects on plant growth. *Funct. Ecol.* 33:1400-1410.
- Esqueda, M. H., A. Melgoza, M. Sosa, R. Carrillo y J. Jiménez. 2005. Emergencia y sobrevivencia de gramíneas con diferentes secuencias de humedad/sequía en tres tipos de suelo. *Téc. Pecu. Méx.* 43:101-115.
- Gray, S. B. y S. M. Brady. 2016. Plant developmental responses to climate change. *Dev. Biol.* 419: 64-77.
- Prado-Tarango, D., R. Mata-González, A. Melgoza-Castillo, S. G. Elias y E. Santellano-Estrada. 2019. Simulated rainfall sequences affect germination and biomass allocation of Chihuahuan desert native plants. *Arid Land Res Manag.* 33: 22-36.
- Pesendorfer, M. B., T. S. Sillett, W. D. Koenig y S. A. Morrison. 2016. Scatterhoarding corvids as seed dispersers for oaks and pines: a review of a widely distributed mutualism and its utility to habitat restoration. *The Condor: Ornithol Appl.* 118:215-237.
- Wang, G., Q. Gou y W. Zha. 2019. Effects of small rainfall events on *Haloxylon ammodendron* seedling establishment in Northwest China. *Curr. Sci. India.* 116: 121-127.
- Wiegand, K., F. Jeltsch y D. Ward. 2004. Minimum recruitment frequency in plants with episodic recruitment. *Oecologia* 141: 363–372.
- Melgoza, A., M. I. Balandrán, R. Mata-González y C. Pinedo. 2014. Biología del pasto rosado *Melinis repens* (Willd.) e implicaciones para su aprovechamiento o control. Revisión. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 5:429-442.
- Melgoza, A., C. Ortega-Ochoa, C. R. Morales-Nieto, P. Jurado-Guerra, C. Velez-Sanchez-Verin, M. H. Royo-Márques, G. Quintana-Martínez, A. Lafón-Terrazas, M. T. Alarcón-Herrera, G. Bezanilla-Enríquez y C. Pinedo-Álvarez. 2007. Propagación de plantas nativas para la recuperación de áreas degradadas: opción para mejorar ecosistemas. *Tecnociencia.* 1:38-41.
- Jurado, E. y M. Westoby. 1992. Germination biology of selected Central Australian plants. *Aust. J. Ecol.* 17: 341-348.
- Carrillo, S. M., J. T. Arredondo-Moreno, E. Huber-Sannwalda y J. Flores-Rivas. 2009. Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Téc. Pecu. Méx.* 47:299-312.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de

Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo principal de redacción,
Pachauri, R. K. y L. A. Meyer, eds. IPCC, Ginebra, Suiza.