



Morfología, calidad de semillas y plántulas de *Yucca endlichiana* e implicaciones en su conservación

Morfology, seed and seedlings quality of *Yucca endlichiana* and implications in its conservation

Ana Bertha Meza-Cota¹ ,
J. Jesús Vargas-Hernández² ,
Mario Ernesto Vázquez-Badillo¹ ,
José Ángel Villarreal-
Quintanilla¹ ,
Ricardo López-Aguillón³ ,
Celestino Flores-López^{1*} 

¹Programa Doctoral en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas, Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista. CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

²Postgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo. CP. 56230, Texcoco, Estado de México, México.

³Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional Km 145 Linares. CP. 67700. Nuevo León, México.

*Autor de correspondencia: cele64@gmail.com

Artículo científico

Recibido: 01 de febrero 2021

Aceptado: 09 de febrero 2022

Como citar: Meza-Cota AB, Vargas-Hernández JJ, Vázquez-Badillo ME, Villarreal-Quintanilla JA, López-Aguillón R, Flores-López C (2022) Morfología, calidad de semillas y plántulas de *Yucca endlichiana* e implicaciones en su conservación. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(1): e2834. DOI: 10.19136/era.a9n1.2834

RESUMEN. La *Yucca endlichiana* Trel. es una especie microendémica en el estado de Coahuila y en estatus de protección especial. El objetivo fue conocer la variabilidad morfológica, calidad de semilla y de plántula de *Y. endlichiana* para proponer acciones de conservación. Se colectaron cápsulas en más de 30 plantas seleccionadas en las localidades El Dorado, San Antonio del Jaral y Las Coloradas. A las que se les evaluaron ocho variables morfológicas, siete de calidad de semilla, y una en plántula. El análisis de varianza diferenció morfológicamente a la semilla de El Dorado en el peso de 100 semillas, grosor de semilla y testa. En las pruebas de sanidad en PDA (agar de papa y dextrosa) y MSA (agar manitol salado), las localidades presentaron incidencia de los hongos *Aspergillus niger* (61.11% PDA y 66.66% MSA) y *A. flavus* (50.00% PDA y 50.00% MSA). No hay diferencias significativas entre las localidades para viabilidad de semillas, germinación de plántulas normales y anormales, vigor de germinación y calidad de plántula. Los valores óptimos en calidad de semilla y plántulas de *Y. endlichiana* facilitarán la conservación *in situ* y *ex situ* en el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal y el manejo de semillas en bancos de germoplasma, valorando la selección de individuos en la conservación a corto y largo plazo.

Palabras clave: Germinación, hongos fitopatógenos, índice de Dickson, valor de germinación, viabilidad.

ABSTRACT. *Yucca endlichiana* Trel. is a microendemic species in the state of Coahuila and under special protection status. The objective was to of the study was to know the morphological variability, seed and seedling quality of *Y. endlichiana* to propose conservation actions. Capsules were collected in more than 30 selected plants in the localities of El Dorado, San Antonio del Jaral and Las Coloradas. To which eight morphological variables were evaluated, seven of seed quality, and one in seedling. The analysis of variance morphologically differentiated the El Dorado seed in the weight of 100 seeds, thickness of the seed and seed coat. In the sanity tests on PDA (potato dextrose agar) and MSA (mannitol salt agar), the localities showed incidence of the fungi *Aspergillus niger* (61.11% PDA and 66.66% MSA) and *A. flavus* (50.00% PDA and 50.00% %MSA). There are no significant differences between locations for seed viability, normal and abnormal seedling germination, germination vigor and seedling quality. The optimal values in seed quality and seedlings of *Y. endlichiana* will facilitate *in situ* and *ex situ* conservation in the establishment of forest germplasm production units and seed management in germplasm banks, valuing the selection of individuals in short- and long-term conservation.

Key words: Germination, phytopathogenic fungi, Dickson quality index, germination value, viability.

INTRODUCCIÓN

En México hay 29 especies de *Yucca*, de las cuales 11 se encuentran en el estado de Coahuila, dentro de las que *Y. endlichiana*, es la única endémica (Villaseñor 2016). Esta especie tiene características distintivas del resto de las especies de *Yucca*, es una planta acaulescente, que carece de tallo aparente, por lo que se confunde de manera frecuente con *Agave lechuguilla* (Matuda y Piña 1980). Es una especie de distribución microendémica, ya que su área de distribución se encuentra reducida a una porción del estado de Coahuila (García-Mendoza 2003). Su hábitat son lomas de pendiente suave, suelo arenoso con substrato rocoso, y altitudes alrededor de 1 200 msnm (Matuda y Piña 1980).

A causa de su distribución limitada y a la fragmentación del hábitat, esta especie se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, sujeta a protección especial (SEMARNAT 2010). El impacto de la fragmentación de hábitats afecta la viabilidad reproductiva y va depender de los polinizadores para extender el rango de dispersión del polen entre las poblaciones remanentes y no afectar el rendimiento reproductivo (Delnevo et al. 2021). En este sentido, el género *Yucca* depende de polinización entomófila, que a veces es una polilla específica (*Pronuba yuccasella*) o bien la polilla puede polinizar varias especies de *Yucca* para llevar a cabo su ciclo biológico; por lo que la ausencia de esta polilla puede limitar la producción de semillas, además de que se desconocen los polinizadores de *Y. endlichiana* (Althoff et al. 2004).

Por las razones antes mencionadas, es necesario establecer acciones de conservación, donde se conozcan los protocolos de germinación y propagación (Maschinski et al. 2019). Para poder realizar la conservación *in situ*, considerando el mantenimiento continuo de las poblaciones dentro del medio ambiente donde fue originado y con lo cual se asume que tiene adaptación (Loo 2011). Para la conservación *Y. endlichiana* es esencial conocer la morfología de la semilla, la germinación, así como la presencia de patógenos que influyen en la calidad de la semilla (Rueda-Sánchez et al. 2012, Suárez-

Montealegre et al. 2014); además, que la calidad de la plántula producida asegure la sobrevivencia y desarrollo de la planta en campo (Sáenz-Reyes et al. 2014). Por lo anterior, el objetivo fue conocer la variabilidad morfológica, calidad de semilla y de plántula de *Y. endlichiana* para proponer acciones de conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de áreas de colecta de semilla

La colecta de las cápsulas de *Y. endlichiana* se realizó de acuerdo con la autorización de licencia de colecta científica otorgado por la Dirección de Vida Silvestre (oficio número SGPA/DGVS/004758/18) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dos de las localidades de colecta se encuentran en el municipio General Cepeda: El Dorado a 1 149 msnm y San Antonio del Jaral a 1 151 msnm, y la tercera localidad en el municipio de Ramos Arizpe: Ejido Las Coloradas con 1 206 msnm. Las tres localidades están asociadas al matorral xerófilo-micrófilo, y presentan un clima tipo BSohw: árido, semi-cálido, temperaturas entre 18 y 22°C, con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual (INIFAP-CONABIO 1995).

Por medio de muestreo selectivo se eligieron plantas con presencia de cápsulas, considerando una separación mínima de 50 m entre plantas, para reducir la posibilidad de parentesco (Schreuder et al. 2004). Cada planta se identificó en campo y georreferenció con un GPS Garmin, las cápsulas se conservaron en bolsas de papel estraza, previamente identificadas. Las plantas muestreadas en el Ejido Las Coloradas fueron 55 de las cuales se colectaron entre 2 y 18 cápsulas por planta, en el Ejido El Dorado 41 plantas y se colectaron entre 2 y 10 cápsulas por planta; mientras que en el Ejido San Antonio del Jaral se muestrearon 32 plantas y colectaron entre 2 y 9 cápsulas por planta. Las cápsulas obtenidas se dejaron secar a temperatura ambiente por 15 días.

Morfología de las semillas

El análisis de variables morfológicas se realizó en 100 semillas seleccionadas por localidad, con-

siderando cinco repeticiones de 20 semillas cada una (Hidalgo 2003, ISTA 2018), obteniendo al menos una semilla al azar de cada planta. Las mediciones de las semillas se realizaron por rayos X, utilizando el equipo Faxitron X-Ray Model MX-20, a una potencia de 31Kv y tiempo promedio de 12.6 segundos. Las variables evaluadas fueron: largo (LE) y ancho de embrión (AE), largo (LS) y ancho de semilla (AS), y grosor de testa (GT) (Figura 1). Para el grosor de las semillas (GS) se tomó una muestra al azar de 50 semillas por localidad y se midieron con un vernier digital (± 0.01 mm), el peso de 100 semillas (P100S) se obtuvo al pesar semillas de cada planta colectada en una balanza con precisión de 0.01 g (Romero-Saritama y Pérez-Ruiz 2016, ISTA 2018). El color de la semilla se determinó en 50 semillas de cada localidad utilizando la tabla de colores de suelo de Munsell (2009) de acuerdo con Romero-Saritama y Pérez-Ruiz (2016).

Identificación de hongos fitopatógenos en semillas

La identificación de hongos fitopatógenos presentes se realizó en 10 semillas, que se tomaron de forma aleatoria de las capsulas colectadas en cada localidad. Los medios de cultivo utilizados fueron agar dextrosa papa (PDA) para microorganismos provenientes de campo (Tapia y Amaro 2014, Alvarenga *et al.* 2016) y en Agar Manitol Salado (MSA) para microorganismos desarrollados en almacén (Ochoa *et al.* 2015). Las colonias de hongos se clasificaron de acuerdo con sus características de crecimiento: color, textura, uniformidad, estructuras visualizadas en microscopio, de acuerdo con las claves de Barnett y Hunter (1998) y Warham *et al.* (1996).

Viabilidad

Se determinó en cinco repeticiones de 10 semillas de cada localidad, por medio de la prueba de tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifenil tetrazolio) al 0.1%, las semillas se embebieron en la obscuridad por 24 h previo a la tinción con tetrazolio. Posteriormente, se disectaron realizando un corte longitudinal a lo largo del embrión; las secciones a teñir se colocaron en

frascos con la solución de tetrazolio, los cuales se cubrieron con papel aluminio y se pusieron en estufa por 18 h a 30 °C. Al terminar el tiempo, se enjuagaron las semillas con agua destilada y observaron los tejidos, para luego de acuerdo con el manual de la ISTA (2018) clasificarlas, y separar semillas viables (tinción completa o a 2/3 del tejido embrionario) y no viables (tejido embrionario no teñido).

Germinación

Previamente se determinó la concentración del pretratamiento con peróxido de hidrógeno y tiempo de exposición, utilizando una mezcla de semillas de las tres localidades. En esta prueba se aplicaron cuatro pretratamientos germinativos y el testigo, los cuales fueron dos concentraciones de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), con dos tiempos de imbibición, con remojo previo de 12 h en agua destilada, y el testigo sólo se remojó por 12 h. El primer tratamiento fue imbibición en H_2O_2 al 3% por 3 min, el segundo imbibición en H_2O_2 al 1.5% por 3 min, el tercero imbibición en H_2O_2 al 3% por 6 min, y el cuarto imbibición en H_2O_2 al 1.5% por 6 min (Wojtyla *et al.* 2016, Fredrick *et al.* 2017). Se utilizaron cuatro repeticiones de 25 semillas para cada pretratamiento y el testigo. Debido a que las concentraciones con peróxido de hidrógeno no presentaron diferencias significativas, para comparar la germinación entre localidades se utilizó el pretratamiento con remojo previo de las semillas en agua destilada por 12 h con la imbibición de las semillas en H_2O_2 al 3% por 6 min, debido a que fue la que presentó menor infestación de estructuras micóticas.

Para la germinación se consideró el efecto de las localidades, con cuatro repeticiones de 25 semillas por localidad, con la prueba entre papel, poniendo la semilla en papel secante tipo anchor para luego formar los rollos, que se colocaron en bolsas de plástico perforadas y poner en una cámara de germinación a temperatura constante de 27 ± 2 °C. Durante 28 días se realizaron conteos para evaluar plántulas normales y anormales de acuerdo con la clasificación y criterios de Flores *et al.* (2018) e ISTA (2018). Para la estimación del valor de germinación se utilizó la información generada en la germi-

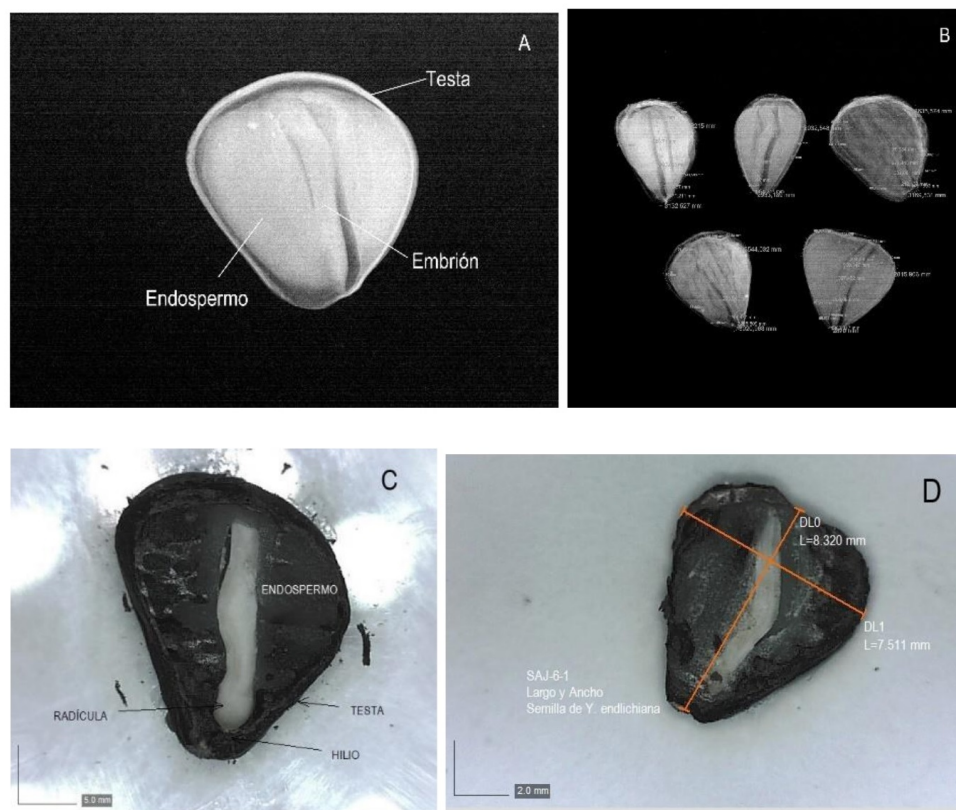


Figura 1. Semillas de *Yucca endlichiana* Trel. Expuestas a Rayos X, (A) partes de la semilla, (B) mediciones en la semilla. En microscopio digital, (C) partes de la semilla, (D) mediciones en la semilla.

nación con los mismos criterios de evaluación (Czabator 1962, Djavanshir y Pourbeik 1976, Suárez-Montealegre *et al.* 2014, Sánchez-Gómez *et al.* 2018) con las siguientes fórmulas:

Valor de germinación de Czabator:

$$VG = (GDM)(VM)$$

Donde: VG = Valor de germinación, GDM = Germinación diaria media final y VM = Valor máximo

Valor de Germinación de Djavanshir y Pourbeik:

$$VG = \left(\frac{\sum VGD}{N} \right) \left(\frac{PG}{10} \right)$$

Donde: VG = Valor de germinación, PG = Porcentaje de germinación al final del ensayo, VGD = Velocidad de germinación diaria, que se obtiene dividiendo el porcentaje de germinación acumulado por el número

de días transcurridos desde la siembra, $\sum VGD =$ Total se obtiene sumando todas las cifras de VGD obtenidas en los recuentos diarios y N = Número de recuentos diarios, empezando a contar a partir de la fecha de la primera germinación.

Calidad de plántula

Para determinar el índice de calidad de Dickson (ICD) se utilizó el mismo procedimiento y diseño de la germinación, solo que en la última evaluación correspondiente al día 28 se tomaron las plántulas normales por repetición. A cada plántula se le evaluó la altura total (H) y el diámetro de la base (D) en centímetros. Posteriormente, se obtuvo el peso verde, peso verde de la parte aérea, peso verde radicular y peso verde total en báscula analítica. Después, las plántulas se pasaron a bolsas de papel estraza perforadas, identificando tanto la parte aérea como la parte radicular de cada repetición, las cuales se colo-

caron en una estufa a 101°C por 48 h, para después pesar en una balanza analítica, para determinar el ICD (Dickson *et al.* 1960, Lin *et al.* 2019):

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\left(\frac{\text{Altura(cm)}}{\text{Diámetro cuello raíz(mm)}}\right) - \left(\frac{\text{Peso seco parte aérea(g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}\right)}$$

Para definir las acciones de conservación se consideraron los resultados de calidad de semilla y plántula. Se revisó la normatividad mexicana y en especial la información relacionada con estrategias de conservación *in situ* y *ex situ* (SEMARNAT 2010, Loo 2011, DOF 2014, SE 2016, DOF 2018).

Análisis estadístico

Previo a los análisis se realizó una prueba de normalidad de datos de las variables. Para las variables discretas expresadas en porcentaje se utilizó la transformación angular arcoseno y para las continuas se utilizó las transformaciones de potencia de Box-Cox (Zar 2010). Para la determinación de los pretratamientos germinativos el ensayo preliminar de germinación, así como en la diferenciación entre localidades para las variables morfológicas de semillas, las variables de calidad de semilla y de plántula, se realizó un análisis de varianza utilizando el diseño experimental completamente aleatorio y la prueba de comparación de medias de Tukey con un 95% de confiabilidad empleando el programa estadístico SAS 9.0 (SAS 2002).

RESULTADOS

Morfología de semillas

Para las variables longitud de semillas (LS) (6.04 - 6.19 mm), ancho de semillas (AS) (5.36 - 5.54 mm), longitud del embrión (LE) (4.53 - 4.81 mm) y ancho de embrión (AE) (0.61 - 0.63 mm) no se observaron diferencias significativas entre localidades (Tabla 1). Mientras que para las variables peso de 100 semillas (P100S), grosor de la semilla (GS) y testa (GT), se observaron diferencias significativas entre localidades, presentando la localidad El Dorado diferencias estadísticas con respecto a las localidades de Las Coloradas y San Antonio del Jaral, con los menores promedios de peso de 100 semillas

(6.23 g), grosor de semillas (1.93 mm) y testa (0.13 mm). Con respecto, al color de la semilla, el color dominante fue N 2.5/2 negro en un 70.00% para la localidad Las Coloradas, 40.00% para El Dorado y 64.00% para San Antonio del Jaral. Mientras que el color N 2/0 negro tuvo la menor presencia con 8.00, 30.00 y 16.00%, respectivamente, y con escasa presencia el N 2.5/0 negro y N3/0 gris muy oscuro que solo se presenta en la localidad El Dorado en un 2.00% para ambos colores.

Identificación de hongos fitopatógenos en semillas

En las pruebas de sanidad PDA, se observa alta incidencia del hongo *A. niger*, que se presenta en mayor proporción (61.11%) en Las Coloradas y *A. flavus* en San Antonio del Jaral en mayor proporción (50.00%). Ambos hongos tienen los mayores porcentajes para ambas localidades, sobresaliendo El Dorado con el mayor número de semillas sanas (Tabla 2). Para organismos desarrollados durante el almacenamiento en las pruebas en MSA, El Dorado y San Antonio del Jaral tuvieron mayor presencia de *A. niger* (50.00 y 66.66%, respectivamente); en cambio, la mayor incidencia de *A. flavus* (50.00%) y de semillas sanas (50.00%) se presentó en Las Coloradas.

Viabilidad, germinación y calidad de plántulas

Para la prueba de tetrazolio no se encontraron diferencias significativas, presentando porcentajes de semillas viables en Las Coloradas, El Dorado y San Antonio del Jaral del 74.00, 76.00 y 76.00% (Tabla 3). De los cinco pretratamientos realizados, ninguno presentó diferencias estadísticas significativas ni en tiempo de remojo ni en concentración de peróxido de hidrógeno (Tabla 4), y para evaluar el ensayo de germinación se utilizó el pretratamiento con remojo de las semillas en agua destilada, para evitar proliferación de hongos en el ensayo, durante 12 horas y concentración de agua oxigenada al 3% por seis minutos, además fue el que presentó menor incidencia de estructuras micóticas.

La germinación presentó porcentajes del 79.00 al 83.00% de plántulas normales con porcenta-

Tabla 1. Comparación de medias de las variables morfológicas de semillas de *Yucca endlichiana* Trel.

Localidad	P100S (g)	LS (mm)	AS (mm)	GS (mm)	LE (mm)	AE (mm)	GT (mm)
Las Coloradas	7.34 ± 0.08 ^a	6.19 ± 0.06 ^a	5.53 ± 0.13 ^a	2.28 ± 0.05 ^a	4.81 ± 0.13 ^a	0.62 ± 0.02 ^a	0.17 ± 0.01 ^a
El Dorado	6.23 ± 0.09 ^b	6.11 ± 0.07 ^a	5.37 ± 0.08 ^a	1.93 ± 0.06 ^b	4.53 ± 0.11 ^a	0.61 ± 0.14 ^a	0.13 ± 0.004 ^b
San Antonio del Jaral	7.15 ± 0.16 ^a	6.04 ± 0.07 ^a	5.36 ± 0.05 ^a	2.28 ± 0.07 ^a	4.60 ± 0.10 ^a	0.63 ± 0.02 ^a	0.17 ± 0.01 ^a

P100S = Peso de cien semillas; LS = Longitud de semilla; AS = Ancho de semilla; GS = Grosor de semillas; LE = Longitud de embrión; AE = Ancho de embrión; GT = Grosor de testa. *Error estándar. Medias con letras diferentes dentro de la columna indican diferencias significativas (Tukey, p < 0.05).

Tabla 2. Porcentaje de incidencia en semillas de hongos mediante los análisis sanitarios en PDA (agar de papa y dextrosa) y MSA (agar manitol salado) de *Yucca endlichiana* Trel.

Hongo	Las Coloradas (%)	El Dorado (%)	San Antonio del Jaral (%)
Análisis sanitario en PDA			
<i>Aspergillus flavus</i>	33.33	16.66	50.00
<i>Aspergillus niger</i>	61.11	5.56	38.88
<i>Alternaria</i> sp.	0	5.56	0
<i>Fusarium</i> sp.	5.56	5.56	5.56
Sanas	0	66.66	5.56
Análisis sanitario en MSA			
<i>Aspergillus flavus</i>	50.00	16.65	33.34
<i>Aspergillus niger</i>	0	50.00	66.66
Sanas	50.00	33.35	0

Tabla 3. Comparación de medias de las variables viabilidad de semilla, germinación, vigor de germinación y calidad de plántula de *Yucca endlichiana* Trel.

Variabes	Las Coloradas	El Dorado	San Antonio del Jaral
Viabilidad %			
Viables	74 ± 40 ^a	76 ± 40 ^a	76 ± 8.72 ^a
No viables	26 ± 40 ^a	24 ± 40 ^a	24 ± 8.72 ^a
Germinación %			
Plántulas normales	79.00 ± 3.42 ^a	83.00 ± 4.44 ^a	82.00 ± 4.16 ^a
Plántulas anormales	8.00 ± 1.63 ^a	3.00 ± 1.00 ^a	10.00 ± 6.00 ^a
Valor de germinación de Czabator	33.99 ± 6.69 ^a	36.15 ± 2.89 ^a	44.78 ± 4.98 ^a
Valor de germinación de Djavanshir y Pourbeik	26.36 ± 1.17 ^a	32.11 ± 4.93 ^a	32.78 ± 3.99 ^a
Índice de calidad de Dickson	1.79 ± 0.38 ^a	1.75 ± 0.10 ^a	1.77 ± 0.34 ^a

*Error estándar. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre columnas (Tukey, p < 0.05).

Tabla 4. Valores promedio del porcentaje de germinación de cinco pretratamientos germinativos para semillas de *Yucca endlichiana* Trel.

Pretratamientos germinativos	% de germinación
Testigo	66.67 ± 6.66 ^a
Imbibición en H ₂ O ₂ al 3% por 3 min	86.67 ± 3.33 ^a
Imbibición en H ₂ O ₂ al 1.5% por 3 min	70.00 ± 15.27 ^a
Imbibición en H ₂ O ₂ al 3% por 6 min	73.33 ± 8.81 ^a
Imbibición en H ₂ O ₂ al 1.5% por 6 min	76.67 ± 6.66 ^a

Para la aplicación de los pretratamientos, las semillas previamente se remojaron 12 h en agua destilada. *Error estándar. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, p < 0.05).

jes bajos de plántulas anormales entre un 3.00 y 10.00%, sin diferencias significativas entre localidades (Tabla 3). Los valores de germinación obtenidos de Czabator fueron del 33.99 al 44.79, y para Djavanshir y Pourbeik de 26.36 a 32.78, sin di-

ferencias significativas en entre localidades (Tabla 3). El valor del ICD como indicador de calidad de plántula para la localidad Las Coloradas fue de 1.79, para El Dorado 1.75 y para San Antonio del Jaral 1.77, sin diferencia significativa entre localidades.

DISCUSIÓN

Morfología de semillas

Al comparar el número de semillas por kilogramo de *Y. endlichiana* (13 624 a 16 051 semillas kg^{-1}) con otras especies de *Yucca*, los valores son variables los cuales oscilar entre 9 250 semillas kg^{-1} para *Y. schidigera*, hasta 50 000 semillas kg^{-1} para *Y. brevifolia* (Alexander et al. 2008). Por lo que estos valores son útiles como características distintivas de las diferentes especies, en la planeación de la colecta de semillas, el control y el manejo del almacenamiento de semillas (Rao et al. 2007). Ya que la selección de semillas con mayor peso, garantiza mayor germinación y calidad de plántula (Trindade-Lessa et al. 2015, Gelviz-Gelvez et al. 2020). Ya que el tamaño del fruto se relaciona con las características morfológicas de la semilla, particularmente el tamaño repercute en el vigor de la planta y la capacidad de sobrevivencia (Duarte et al. 2017). Al respecto, la variación en el tamaño de semilla entre el género *Yucca* es considerable, siendo el tamaño de semilla de *Y. endlichiana* menor que el de *Y. quere-taroensis* (Magallán et al. 2014), pero es más semejante al tamaño de *Y. linearifolia* (Szabó y Gerzson 2011). En este sentido, los valores del tamaño de la semilla en el género *Yucca* aportan a la descripción de las especies y, por otra parte, la selección del tamaño de la semilla y de la cápsula en este género puede asegurar la calidad de la planta.

Con respecto al color de la semilla, el color negro de la semilla de *Y. endlichiana* es similar a otras especies de *Yucca* (Alexander et al. 2008), y no aporta en la diferenciación de las especies, a reserva de que el color de las semillas pudiera ser descrita por el tono, valor y croma de acuerdo con la clasificación de colores de Munsell. Prácticamente, en otros géneros, el color de la semilla ha estado más relacionado con la germinación, colores más oscuros se relacionan con mayor capacidad germinativa (Tenorio-Galindo et al. 2008, Hernández-Anguiano et al. 2018); para *Y. endlichiana* el color negro de la semilla resultó con porcentajes óptimos de germinación de plántulas normales.

Identificación de hongos fitopatógenos en semillas

Dentro del concepto de calidad de semilla están las pruebas de sanidad de semillas y es importante identificar los patógenos que se transmiten a través de la semilla durante la colecta (Rao et al. 2007). En este sentido, los hongos de campo pueden ocasionar decoloración, semilla vana, óvulos abortados e inclusive transmitirse a plántulas o plantas adultas y se encuentran por lo general bajo la testa, afectando en ocasiones la emergencia de las plántulas en campo como son los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus* y *Rhizoctonia*, en especial el género *Fusarium* ha sido uno de los más incidentes y devastadores (Villa-Martínez et al. 2015). Para disminuir la incidencia de estos hongos de campo en *Y. endlichiana*, en la colecta es necesario el monitoreo de la maduración de las cápsulas para evitar menos tiempo de contacto con el suelo.

Con respecto a hongos de almacén como *Aspergillus* y *Penicillium*, pueden disminuir el porcentaje de germinación, coloración y dañar el embrión, producir cambios bioquímicos y toxinas, además de provocar calentamiento que se traduce en disminución de calidad en la semilla (Doria 2010, Navarro et al. 2012, Zakaria et al. 2014). Uno de los tratamientos a la semilla para eliminar a estos hongos de almacén durante la germinación es el peróxido de hidrógeno que funciona como desinfectante (Zúñiga-Orozco y Beauregard-Zúñiga 2020). Al respecto, es esencial el análisis de la calidad de semillas para determinar las condiciones de la semilla al momento de la colecta y definir los tratamientos para la eliminación de hongos durante el almacenamiento, germinación, emergencia y estado de plántula.

Viabilidad y germinación

Se observa que los porcentajes de viabilidad y germinación de *Y. endlichiana* son similares entre localidades y coinciden con lo reportado con varias especies del mismo género (Granados-Sánchez et al. 2011, Cambrón-Sandoval et al. 2013). Lo que indica que la posibilidad de problemas de latencia en las semillas es baja. Por otra parte, la capacidad de germinación de especies de *Yucca* como *Y. filifera*

oscila entre 60 y 90%, para *Y. carnerosana* entre 79 y 81% y de *Y. elata* entre 29 y 63% (Granados-Sánchez et al. 2011, Cambrón-Sandoval et al. 2013), valores que están entre los valores encontrados para *Y. endlichiana*, aunque se esperaría menor viabilidad y germinación de semillas, debido a que se ha reportado que poblaciones pequeñas y fragmentadas tienen problemas de endogamia (Henríquez 2004, Martínez-Abraín y Oro 2006). Aun cuando no se presentaron diferencias entre las localidades de *Y. endlichiana* con respecto a los valores de germinación de Czabator, así como de Djavanshir y Pourbeik, éstos son indicadores de vigor de germinación (Barone et al. 2016, Fontana et al. 2016). Por lo que ambos valores se ven influenciados por pretratamientos aplicados a las semillas (Suárez-Monteaigre et al. 2014); pero son indicadores de mayor vigor germinativo, mayor actividad durante la germinación y emergencia, así como en el crecimiento de las plántulas, por lo que son importantes en la selección y manejo de plántulas en viveros (Escobar 2012, López y Gil 2017).

Calidad de plántula

El ICD ha sido utilizado como parámetro de calidad de plántula que permite evaluar mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra y predecir el comportamiento en campo de plántulas (Aguirre et al. 2018), donde los valores mayores o iguales a 0.5 indican que la calidad de la planta es alta, mientras que valores bajos indican calidad baja (Rueda-Sánchez et al. 2012, Muñoz-Flores et al. 2014, Rueda-Sánchez et al. 2014). Por lo que los valores de ICD en *Y. endlichiana* en las tres localidades son altos, lo que indica una calidad de planta adecuada. Es importante señalar que el ICD está correlacionado con las variables morfológicas utilizadas en el índice, donde la variable diámetro a la base es la más correlacionada (Sáenz-Reyes et al. 2014, Villalón-Mendoza et al. 2016); por lo tanto, la medición de esta variable en vivero es práctica y no destructiva, y puede servir en la selección de plantas en vivero de *Y. endlichiana* con fines de conservación. Para *Y. endlichiana* no se reportan complicaciones en su propagación sexual, además de que

tiene alta calidad de planta, condiciones que no son comunes en especies con localidades pequeñas y fragmentadas (Frankham et al. 2002), y en estatus de riego, lo que da una ventaja a esta especie para la conservación *in situ* y *ex situ*. La conservación *in situ*, se verá favorecida a corto plazo, con el establecimiento de UPGF, en especial si consideramos cada una de las localidades como rodales semilleros, donde se seleccionen un mínimo de 50 individuos (White et al. 2007) de mayor tamaño y producción de cápsulas, con espaciamiento de al menos 10 m entre individuos, de acuerdo con la norma NMX-AA-169-SCFI-2016 (SE 2016). Estas UPGF deberán convertirse a la vez en UMA, donde se supervise y monitoree la regeneración natural y vegetativa (Servín et al. 2018).

A largo plazo, la conservación *in situ* implica el establecimiento de UPGF de huertos semilleros, como siguiente nivel de mejoramiento y conservación, siempre y cuando se mantenga un apropiado número de familias (Ivetić et al. 2016). Ambas acciones a corto y largo plazo deben estar integradas a un programa dirigido bajo convenios entre instituciones y propietarios de las áreas, con apoyo y supervisión de instituciones del gobierno estatal y federal. Para la conservación *ex situ*, los bancos de germoplasma locales serán necesarios para el manejo y almacenamientos de las semillas de *Y. endlichiana* (Alexander et al. 2008), para monitorear y evaluar la viabilidad óptima de la semilla, asegurando la regeneración a través de plantaciones establecidas en las zonas de movimiento de germoplasma indicadas en la norma NMX-AA-169-SCFI-2016 (Iriundo-Alegría 2001, SE 2016).

CONCLUSIONES

La variabilidad morfológica en el peso y grosor de semillas y de testa, diferencia las localidades de *Y. endlichiana*. Estas localidades, a pesar que son pequeñas y fragmentadas, presentan porcentajes óptimos de viabilidad, germinación y calidad de plántula, facilitando la propagación por semilla. Por lo tanto, para asegurar la regeneración de la especie,

la selección de individuos en el establecimiento ro-
dales y huertos semilleros como UPGF. El manejo y
el tratamiento preventivo a las semillas, evita la inci-
dencia de hongos de campo y de almacenamiento,
conservando la viabilidad óptima de la semilla en ban-
cos de germoplasma, como medida de conservación
ex situ a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

A los Departamentos de Fitomejoramiento y
Forestal, así como al Centro de Capacitación y De-
sarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad
Autónoma Agraria Antonio Narro por el apoyo en el
desarrollo de esta investigación. Al Consejo Nacional
de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

LITERATURA CITADA

- Aguirre SE, Piraneque NV, Barrios N (2018) Análisis del efecto del sustrato sobre la calidad de plántulas en cinco especies forestales adaptadas a Santa Marta Colombia. *Revista Espacios* 39: 33-39.
- Alexander RR, Pond FW, Rodgers JE (2008) Agavaceae-Century-plant family. *Yucca L. yucca*. In: Bonner FT, Karrfalt RP (Eds.) *The woody plant seed manual*. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook No. 727. Washington, USA. pp: 1175-1177.
- Althoff DM, Segraves KA, Sparks JP (2004) Characterizing the interaction between the bogus yucca moth and yuccas: do bogus yucca moths impact yucca reproductive success? *Oecologia* 140: 321-327.
- Alvarenga AAA, López IP, Abraham CMR, Caballero YMR, Popoff CT, Arrua JMM (2016) Presencia de hongos filamentosos en yerba mate compuesta y eficiencia de medios de cultivo para el aislamiento de *Aspergillus*. *Investigación Agraria* 18: 49-55.
- Barnett HL, Hunter BB (1998) *Illustrated genera of imperfect fungi*. The American Phytopathological Society. Minnesota, USA. 200p.
- Barone J, Duarte E, Luna C (2016) Determinación de la eficacia de métodos de evaluación de calidad de semillas de especies forestales nativas de la Selva Atlántica. *Quebracho Revista de Ciencias Forestales* 24: 70-80.
- Cambrón-Sandoval VH, Malda-Barrera G, Suzán-Azpiri H, Díaz-Salim JF (2013) Comportamiento germinativo de semillas de *Yucca filifera* Chabaud con diferentes periodos de almacenamiento. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 59: 82-88.
- Czabator FJ (1962) Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8: 79-83.
- Delnevo N, Piotti A, Carbognani M, Etten E J van, Stock W D, Field D L, Byrne M (2021) Genetic and ecological consequences of recent habitat fragmentation in a narrow endemic plant species within an urban context. *Biodiversity and Conservation* 30: 3457-3478.
- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF (1960) Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36: 10-13.
- Djavanshir, K and Pourbeik, H (1976) Germination value a new formula. *Silvae Genetica* 25: 79-83.
- DOF (2014) Reglamento de la ley general de vida silvestre. Última reforma publicada Diario Oficial de la Federación a 9 de mayo de 2014. Cámara de Diputados del H. Congreso de La Unión Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/DO2008.pdf> Fecha de consulta: 25 de enero de 2021.

- DOF (2018) Ley general de vida silvestre. Última reforma publicada Diario Oficial de la Federación a 19 de enero de 2018. Cámara de Diputados del H. Congreso de La Unión Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios https://www.senado.gob.mx/comisiones/medio_ambiente/docs/LGVS.pdf Fecha de consulta 25 de enero de 2021.
- Doria J (2010) Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31: 74-85.
- Duarte ER, Mangeón V, Küppers G, Rocha P, Niella F (2017) Tamaño y viabilidad de semillas: implicancias en la evolución y conservación de *Phaius tankervilleae* (Orchidaceae). *Caldasia* 39: 388-399.
- Escobar RR (2012) Semillas. En: Contardi LT, Gonda HE, Tolone G, Salimbeni J (Coords.) Producción de plantas en viveros forestales. Colección Nexos. Consejo Federal de Inversiones, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina. pp: 27-38.
- Fredrick C, Omokhua GE, Chinedu WN (2017) Effects of pre-treatment on seed germination of *Trichilia tessmannii* (Harms) in Nigeria. *Nigerian Journal of Agriculture, Food and Environment* 13: 90-93.
- Flores P, Poggi D, García S, Catraro M, Gariglio N (2018) Descripción de patrones normales y anormales de plántulas de *Juglans nigra*. *FAVE - Ciencias Agrarias* 17: 7-21.
- Fontana ML, Pérez VR, Luna CV (2016) Pruebas de envejecimiento acelerado para determinar vigor de semillas de *Prosopis alba* de tres procedencias geográficas. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 15: 1-13.
- Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA (2002) Introduction to conservation genetics. Cambridge University Press. New York, USA. 617p.
- García-Mendoza AJ (2003) Ficha técnica de *Yucca endlichiana*. Revisión de las *Agavaceae* (*sensu stricto*) *Crassulaceae* y *Liliaceae* incluidas en el PROY-NOM-059-ECOL-2000. Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB CONABIO. Proyecto No. W020. México. 4p. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/ise/fichasnom/Yuccaendlichiana00.pdf> Fecha de consulta: 3 de febrero de 2022.
- Gelviz-Gelvez S M, Pavón N P, Flores J, Barragán F, Paz H (2020) Germination of seven species of shrubs in semiarid central Mexico: effect of drought and seed size. *Botanical Sciences* 98: 464-472.
- Granados-Sánchez D, Sánchez-González A, Victorino G, Linnx R, Borja de la Rosa A (2011) Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 111-130.
- Henríquez CA (2004) Efecto de la fragmentación del hábitat sobre la calidad de las semillas en *Lapageria rosea*. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 177-184.
- Hernández-Anguiano LA, López-Upton J, Ramírez-Herrera C, Romero-Manzanares A (2018) Variación en germinación y vigor de semillas de *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis*. *Agrociencia* 52: 1161-1178.
- Hidalgo R (2003) Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En: Franco TL, Hidalgo R (eds.) Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín Técnico no. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. 89p.
- INIFAP-CONABIO (1995) Carta de climas. Escala 1:50,000 - 1:20,000. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis>. Fecha de consulta: 29 de enero de 2021.

- Iriondo-Alegría JM (2001) Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas (Revisión). *Investigación Agraria Producción y Protección Vegetal* 16: 5-24.
- ISTA (2018) International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* 21: 77-288.
- Ivetić V, Devetaković J, Nonić M, Stanković D, Šijačić-Nikolić M (2016) Genetic diversity and forest reproductive material - from seed source selection to planting. *Forest* 9: 801-812.
- Lin K-H, Wu C-W, Chang YS (2019) Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of *Pentas lanceolata*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47: 169-176.
- Loo JA (2011) Manual de genética de la conservación. Principios aplicados de genética para la conservación de la biodiversidad. SEMARNAT, CONAFOR. México. 192p.
- López-Medina SE, Gil-Rivero AE (2017) Efecto del acondicionamiento osmótico en la germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* (Feuillee ex Molina) Kuntze (*Fabaceae*) "taya". *Arnaldoa* 24: 333-342.
- Magallán-Hernández F, Maruri-Aguilar B, Sánchez-Martínez E, Hernández-Sandoval L, Luna-Zúñiga J, Robledo-Mejía M (2014) Consideraciones taxonómicas de *Yucca queretaroensis* Piña (*Agavaceae*), una especie endémica del Semidesierto Queretano-Hidalguense. *Acta Botánica Mexicana* 108: 51-6.
- Martínez-Abraín A, Oro D (2006) Pequeñas poblaciones, grandes problemas. *Quercus* 45: 13-13.
- Maschinski J, Albrecht M A, Fant J, Monks L, Haskins K E (2019) Rare plant reintroduction and other conservation translocations. In: *CPC Best Plant Conservation Practices* (ed.) CPC Best plant conservation practices to support species survival in the wild. Center for Plant Conservation. Escondido, CA, USA. pp: 4-32.
- Matuda E, Piña I (1980) Las plantas mexicanas del género *Yucca*. Colección miscelánea del Estado de México. Editorial Libros de México. Toluca, Edo. de México. 145p.
- Munsell color (2009). Munsell[®] Soil-color charts. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation. Baltimore, Maryland, USA. 69p.
- Muñoz-Flores HJ, Sáenz-Reyes JT, Coria-Avalos VM, García-Magaña JJ, Hernández-Ramos J, Manzanilla-Quijada GE (2014) Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6: 72-89.
- Navarro M, Febles G, Torres V (2012) Bases conceptuales para la estimación del vigor de las semillas a través de indicadores del crecimiento y el desarrollo inicial. *Pastos y Forrajes* 35: 233-246.
- Ochoa Y, Chavarri M, Mazzani C, Rumbos N (2015) Determinación de la capacidad fumonigénica de aislados de *Aspergillus niger* provenientes de diferentes sustratos. *Revista de la Facultad de Agronomía* 41: 109-115.
- Rao NK, Hanson J, Dulloo ME, Ghosh K, Novell D, Larinde M (2007) Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. *Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8*. Bioersivity International. Roma, Italia. 165p.
- Romero-Saritama JM, Pérez-Ruiz C (2016) Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación *ex situ* de especies leñosas en los bosques secos tumbesinos. *Ecosistemas* 25: 59-65.
- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio JD, Prieto-Ruiz JA, Sáenz-Reyez JT, Orozco-Gutiérrez G, Molina-Castañeda A (2012) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3: 69-82.

- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio JD, Saéñz-Reyez J T, Muñoz-Flores H J, Prieto-Ruiz J Á, Orozco-Gutiérrez G (2014) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 58-73.
- Sáenz-Reyes J, Muñoz-Flores HJ, Pérez DCMA, Ángel CM, Rueda-Sánchez A, Hernández-Ramos J (2014) Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero “Morelia”, estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 98-111.
- Sánchez-Gómez, A, Rosendo-Ponce A, Vargas-Romero JM, Rosales-Martínez F, Platas-Rosado DE, Becerril-Pérez CM (2018) Energía germinativa en guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) con diferentes métodos de escarificación de la semilla. *Agrociencia* 52: 863-874.
- SAS (2002) SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 9.0. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA. 378p.
- SE (2016) Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana: Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal especificaciones técnicas. NMX-AA-169-SCFI-2016. Diario Oficial de la Federación. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5455455&fecha=03/10/2016 Fecha de consulta: 30 de enero de 2021.
- SEMARNAT (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda sección. 77 p. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010>. Fecha de consulta: 30 de enero 2021.
- Servín JD, Carreón-González E, Castro-Campos F, Huerta-García A, Garza M (2018) Las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) en el noroeste de México: análisis de 10 años. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Ciudad de México. 123p.
- Schreuder HT, Ernst R, Ramírez-Maldonado H (2004) Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-126. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. USA. 111p.
- Suárez-Montealegre SD, González-Rivas B, Mendoza-Sánchez O G (2014) Energía y valor de germinación en las especies arbóreas genízaro (*Phitecellobium saman* (Jacq.) Benth.) y guanacaste negro (*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.). *La Calera* 14: 28-32.
- Szabó K and Gerzson L (2011) Evaluation of the Winter-hardy *Yucca* taxa among extreme conditions in landscape applications. *Agriculture and Environment Supplement, First International Conference horticulture and landscape architecture in Transylvania*. Cluj-Napoca, Romania. *Acta Universitatis Sapientiae* 3: 122-131.
- Tapia C, Amaro J (2014) Género *Fusarium*. *Revista Chilena de Infectología* 31: 85-86.
- Tenorio-Galindo G, Rodríguez-Trejo DA, López-Ríos G (2008) Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia* 42: 585-593.
- Trindade-Lessa B F da, Nobre-de Almeida J P, Lobo-Pinheiro C, Melo-Gomes F, Medeiros-Filho S (2015) Germinación y crecimiento de plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* en función del peso de la semilla y las condiciones de temperatura y luz. *Agrociencia* 49: 315-327.
- Villalón-Mendoza H, Ramos-Reyes JC, Vega-López JA, Marino B, Muños-Palomino MA, y F. Garza-Ocañas F (2016) Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 12: 46-52.

- Villa-Martínez A, Pérez-Leal R, Morales-Morales HA, Basurto-Sotelo M, Soto-Parra JM, Martínez-Escudero E (2015) Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad anti fúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica* 64: 194-205.
- Villaseñor JL (2016) Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 559-902.
- Warham EJ, Butler LD, Sutton BC (1996) Ensayos para la semilla de maíz y de trigo. Manual de laboratorio. CIMMYT. México. 84p.
- White TL, Adams WT, Neale DB (2007) *Forest genetics*. CAB International. Cambridge, MA, USA. 682p.
- Wojtyła Ł, Lechowska K, Kubala S, Garnczarska M (2016) Different modes of hydrogen peroxide action during seed germination. *Frontiers in Plant Science* 7: 66. DOI: 10.3389/fpls.2016.00066.
- Zakaria L, Soh W, Teh L (2014) Diversity of fungi isolated from vegetable seeds. *Malaysian Journal of Microbiology* 10: 155-160.
- Zar JH (2010) *Bio statistical analysis*. Fifth ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey, USA. 944p.
- Zúñiga-Orozco A, Beauregard-Zúñiga I (2020) Evaluación de tres productos desinfectantes sobre semillas científicas de maíz y cebada para la producción en la tecnología de forraje verde hidropónico. *Repertorio Científico* 23: 63-75.