

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



PREDICCIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO Y DETERIORO EN
SEMILLAS DE ESPECIES DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Tesis

Que presenta ADRIANA ANTONIO BAUTISTA
Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS PARA ZONAS
ÁRIDAS

Saltillo, Coahuila

Mayo 2020

PREDICCIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO Y DETERIORO EN
SEMILLAS DE ESPECIES DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Tesis

Elaborada por ADRIANA ANTONIO BAUTISTA como requisito parcial para obtener
el grado de Doctor en Ciencias en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Asesor principal



Dr. Celestino Flores López

Asesor



Dr. Manuel Humberto Reyes Valdés

Asesor



Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez

Asesor



Dr. Dino Ulises González Uribe

Asesor



Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente

Subdirector de Postgrado

UAAAN

Saltillo, Coahuila

Mayo 2020

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**. Por permitirme vivir, darme fortaleza, salud y la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida.

A mi “**Alma Terra Mater**” la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**. Por haberme brindado nuevamente la oportunidad para lograr un grado académico más en mi vida.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**. Por el sustento económico recibido durante mis estudios.

A la **Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Coahuila (SMA)**. Por todos los apoyos obtenidos durante la realización de mis estudios y para el trabajo de investigación.

Al **Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo**. Por ser un gran maestro, por su sencillez por brindarme todo su apoyo, motivándome en mi superación, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias, por todo el tiempo dedicado, por su comprensión, su apoyo moral y profesional, contribuyendo en mi superación personal y formación académica. Sobre todo por enseñarme que los conocimientos se transmiten con humildad.

Al **Dr. Humberto Reyes Valdés**. Por siempre estar en la mejor disposición de apoyarme, por sus sabios consejos, por su dedicación y por todo el tiempo brindado, por su paciencia y motivación, agradezco enormemente su sinceridad y la confianza puesta en mí, además por compartir conmigo humildemente sus amplios conocimientos.

Al **Dr. Celestino Flores López**. Por su confianza y la experiencia compartida, por aceptar ser parte del comité de asesoría, gracias por sus consejos, disponibilidad, el apoyo y aportaciones en la realización de este trabajo.

A la **Dra. Esmeralda Judith Cruz Gutiérrez**. Por todo su apoyo incondicional, confianza, enseñanzas, dedicación, revisión y sugerencias a este trabajo y sobre todo por el apoyo moral que siempre he recibido, gracias por esos consejos emitidos tanto en el ámbito profesional como en lo personal.

Al **Dr. Dino Ulises Gonzales Uribe**. Por sus consejos, dedicación, apoyo y las aportaciones recibidas en la realización y revisión de este trabajo, gracias por sus sugerencias, gracias por alentarme con sus palabras para seguir adelante.

A la **Biol Eglantina Canales Gutiérrez**. Por todo el apoyo brindado, por toda la confianza depositada en mí, por todas las palabras de ánimo, por cada uno de sus consejos, porque ahora comprendo el enorme significado de su expresión favorita “Buscar el cómo sí” mil gracias Bióloga por todas sus enseñanzas.

A la **Ing. Olga L. Rumayor Rodríguez**. Quien ha sido un pilar en mi formación tanto profesional como personal, mil gracias por brindarme tu amistad y tu confianza, siempre creyendo en mí y en mis ideas, sobre todo apoyándome con tus sabios consejos y sugerencias, por ayudarme a madurar y hacer realidad cada idea, para mí tu siempre serás una Mujer ejemplar en todos los sentidos, mil gracias por todo.

A **todos los integrantes del equipo (REFIZA) Doctorado en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas**, que contribuyeron a mi formación, mil gracias por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

A **mis Amigos y Compañeros**. Agradezco a cada uno ustedes las experiencias y momentos vividos. No me atrevo a mencionar nombres por temor a omitir alguno importante.

DEDICATORIAS

A mis padres

Sr. Margarito Antonio Zárate
Sra. Cristina Bautista Hernández

Por haberme dado la vida, su amor infinito, consejos, fortaleza, motivación y por apoyarme en mis decisiones y en cualquier proyecto que emprendo. Dios los bendiga siempre.

A **mis hermanos** y a sus respectivas familias **Cruz Antonio** y **Antonio Ramírez**. Por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por todo su cariño y confianza que desde siempre he tenido.

A **mi esposo Raúl Fernández Rivera** Por su gran amor y apoyo, por darme la libertad para realizarme profesionalmente, por tu comprensión, creyendo siempre en mí, motivándome a salir adelante y brindándome plena confianza para lograr una meta más. Hoy te puedo decir, “Lo logramos camarada....”.

A **mis hijos Raúl M. y Cristina H. Fernández Antonio**. Por ser el más grande tesoro que la vida me ha dado, son ustedes lo que me impulsa a seguir preparándome y que a pesar de su corta edad se han portado a la altura de las circunstancias. Los Amo.

A las **Familias Andrade Rivera y Rivera Torres**. Por todo su apoyo y el cariño que me han brindado para alcanzar una meta más.

**El presente trabajo fue derivado del proyecto No. 38111-425105001-2234:
“Predicción de la Humedad en Equilibrio y Deterioro en Semillas de Especies de
Zonas Áridas y Semiáridas”, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.**

Carta de aceptación del artículo



3. marzo. 2020

MARIO E. VÁZQUEZ-BADILLO

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

PRESENTE

Por medio de este conducto me permito comunicar a usted que su artículo: "EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO EN SEMILLAS FORESTALES DE ZONAS ÁRIDAS Y SU EFECTO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA", teniendo como co-autores a: A. ANTONIO-BAUTISTA, M.H. REYES-VALDÉS, C. FLORES-LÓPEZ, E.J. CRUZ-GUTIÉRREZ, y D.U. GONZÁLEZ-URIBE, ha sido revisado por parte de nuestros árbitros y estos opinan que el trabajo está bien estructurado y es una aportación importante, por lo tanto, el artículo arriba mencionado se acepta para su publicación en el Núm. 50 de POLIBOTÁNICA que saldrá en el segundo semestre (agosto-diciembre) de 2020.

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,

Dr. Rafael Fernández Nava,
Editor en Jefe de POLIBOTÁNICA

POLIBOTÁNICA



IPN

Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
Instituto Politécnico Nacional, Apartado Postal 17-564, CP 11410, México, DF.

Artículo enviado

4/3/2020 Correo: adis - Outlook

Todo

Mensaje nuevo Eliminar Archivo No deseado Mover a Categorizar

Favoritos

Correo no des... 27

Agregar favorito

Carpetas

Bandeja de ... 6300

Correo no des... 27

Borradores 158

Elementos enviad...

Elementos elimin...

Archivo

Notas

adis

Historial de conve...

Carpeta nueva

Grupos

Nuevo grupo

Please verify your contribution to Germination behaviour after storage of *Cordia boissieri* A. DC. (Mexican olive tree)

Traducir mensaje a: Español | No traducir nunca de: Inglés

S Seed Science and Technology <em@editorialmanager.com> Lun 02/09/2019 07:33 AM Usted

Re: Germination behaviour after storage of *Cordia boissieri* A. DC. (Mexican olive tree) by Dr. Sergio Pasquini

Dear Antonio-Bautista,

You have been listed as a contributing author for the above manuscript. Please verify your contribution by clicking one of the below links.

Yes, I am a co-author of this manuscript: <https://www.editorialmanager.com/sst/l.asp?i=25987&l=3VD8R10I>

No, I am not a co-author of this manuscript: <https://www.editorialmanager.com/sst/l.asp?i=25988&l=XFOGHXXS>

Thank you,

Seed Science and Technology

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/sst/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los desiertos ocupan un 40% de la superficie, es decir 33.7 millones de km², México posee una superficie total de 2 millones km² aproximadamente, de los cuales, las zonas áridas y semiáridas ocupan entre el 50-60% del territorio (Valiente, 1996; Sánchez y Granados, 2003).

En estas zonas, existe una gran diversidad de especies de flora, sin embargo, en la mayoría de éstas se desconocen su tipo de regeneración, sumado a que tienen ciclos de producción muy variados (Granados *et al.*, 1998). Así mismo, las especies forestales de zonas áridas y semiáridas no mantienen una producción constante de semillas, por ello es necesario contar con una reserva en la cantidad y calidad necesarias, para abastecer aquellos años en que no se presenta producción, además se requiere que las semillas puedan almacenarse hasta el momento de su utilización sin haber perdido su capacidad germinativa (Cano *et al.*, 2012).

Además, las semillas almacenadas están sujetas a diversos cambios, uno de ellos es la pérdida de la calidad fisiológica ocasionando por el deterioro (Navarro, 2003). El deterioro en semillas es considerado un proceso natural, inevitable e irreversible que inicia después de que una semilla alcanza su máxima calidad, dando como resultado la pérdida del vigor y viabilidad (Pérez y Pita, 2001). Por otra parte, la tasa de deterioro de la semilla durante el almacenamiento depende de las condiciones en que se realice, un adecuado almacenamiento tiene como fin retardar éste proceso (Gómez *et al.*, 2006).

Cuando el almacenamiento es llevado a cabo bajo condiciones controladas, las semillas ortodoxas se pueden almacenar por largos períodos sin que se vea afectada su viabilidad (Ceballos y López, 2007). Hay que mencionar además que, los factores más importantes que afectan el almacenamiento de semillas son la humedad relativa, la temperatura y la condición de la semilla (Moinelo *et al.*, 2018). Las semillas ortodoxas con niveles bajos de humedad tendrán insignificantes problemas durante el almacenamiento (Herrera y Alizaga 2009). La humedad del ambiente (humedad relativa) y la temperatura influyen en

el contenido de humedad de la semillas y presenta una correlación negativa con la longevidad de la semilla (Moreno *et al.*, 2000).

Por tal motivo, es importante conocer el contenido de humedad de equilibrio de las semillas, bajo diferentes condiciones ambientales ya que permite establecer el tiempo de almacenamiento seguro, así como las acciones a seguir durante el secado, procesamiento y almacenamiento semillas (Aguirre, 1990). El contenido de Humedad de Equilibrio (CHE), es definido como el contenido de humedad que una semilla alcanza, cuando se deja durante un tiempo suficientemente, bajo condiciones de temperatura y humedad del aire, la palabra equilibrio se refiere a que la semilla no intercambia humedad con el aire que lo rodea (Vega *et al.*, 2006).

Actualmente, México cuenta con 37 bancos de germoplasma forestal (BGF) para almacenamiento de mediano plazo, y 17 centros de almacenamiento temporal de germoplasma forestal (CATGF), mismos que en conjunto tienen una capacidad de almacenamiento de 235 toneladas (FAO-CONAFOR, 2012). En 10 de ellos se resguardan semillas de especies de zonas áridas, sin embargo, el mal manejo en almacenamiento, aunado a que guardan una gran diversidad de especies, así como la falta de información de apoyo para su manejo durante el almacenamiento hace que las pérdidas sean superiores a las 10 ton anuales de éste tipo de especies, debido al deterioro de semillas causadas por no controlar la temperatura, humedad relativa y factores bióticos (CONAFOR, 2017).

Es importante señalar que en semillas forestales de zonas áridas, se carece de evaluaciones sobre el contenido de humedad de equilibrio, el comportamiento del contenido de humedad, uso de diferentes medios y temperaturas. En general no se tienen correlaciones de la conservación de la viabilidad frente a características como la composición química, técnicas de manejo y correlaciones específicas.

En base a lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron estimar y analizar los parámetros para predecir la humedad de equilibrio y su relación con el deterioro así como correlacionar la calidad fisiológica de semillas forestales de zonas áridas y semiáridas para su clasificación en longevidad.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades de las Especies de Zonas Áridas

Las zonas áridas y semiáridas, ocupan más de la mitad del territorio mexicano y están cubiertas en su mayor parte por diversos tipos de comunidades arbustivas que de acuerdo con (Rzedowski, 2006), reciben el nombre genérico de matorral xerófilo, que alternan con pastizales y con algunos manchones aislados de vegetación arbórea (Ugalde *et al.*, 2008; González, 2012).

La vegetación de zonas áridas y semiáridas, representa grandes variaciones de las diversas localidades de acuerdo con las características microclimáticas, topográficas, geológicas y condiciones edáficas que en ellas crecen (Joachim, 2004; Villarreal y Encina, 2005).

En éste tipo de zonas áridas y semiáridas existen más de 3,000 especies, de las cuales destacan las que se aprovechan en la herbolaria y otras en actividades productivas, dentro de éstas especies se encuentran; la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), candelilla (*Euphrobia antisyphilitica* Zucc.), mezquite (*Prosopis glandulosa* Torr.), orégano (*Lippia graveolens* Kunt.), guayule (*Phartenium argentatum* Gray.), gobernadora (*Larrea tridentada* L.), yuca (*Yucca carnerosana* Chabaud), sotol (*Dasilyrion spp*) y cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) principalmente, mismas que han constituido una importante fuente de ingresos de las familias de las comunidades de éstas zonas, la cantidad de productos obtenidos de estas especies es muy amplia y diversa, y sus usos van desde el ámbito doméstico al industrial (Granados *et al.*, 2011; Martínez, 2013).

Además, considerando que el uso productivo de los recursos forestales maderables y no maderables de zonas áridas y semiáridas, han constituido una importante fuente de ingresos para las comunidades, y se encuentran dentro de las estrategias primordiales de sobrevivencia en estas zonas (García y Flores, 1996; Cervantes, 2003).

Sin embargo, en las últimas décadas la pérdida de éste tipo de ecosistemas por la deforestación es considerado uno de los problemas más graves, éste fenómeno tiene múltiples causas y orígenes, dentro de los que destacan; el cambio climático, la presión antropogénica, los incendios, las plagas, enfermedades y la más importante la falta de semillas para la repoblación de éste tipo de zonas (Aguilar *et al.*, 2000; González, 2012).

Los Recursos Genéticos Forestales de Zonas Áridas

En ambientes naturales muchas especies se reproducen por semillas, para asegurar su regeneración y su función en los ecosistemas, cumpliendo su función principal de multiplicar y perpetuar la especie, además es considerada la forma más frecuente de reproducción por la cual las plantas preservan su continuidad (Cervantes y Sotelo, 2002; Márquez *et al.*, 2010).

A manera de lograr una eficiente restauración, se han diseñado y puesto en marcha programas de reforestación, en los que la producción masiva de plantas de calidad es vital y en la propagación masiva de especies forestales la reproducción por semillas juega un papel principal (Wightman y Cruz 2003). Además, es importante mencionar que las especies forestales no mantienen una producción anual constante de semillas, por tanto es necesario contar con una reserva en la cantidad y calidad necesarias para aquellos años en que no se presenta producción (Benítez *et al.*, 2004; Ochoa *et al.*, 2008).

Sin embargo, para abastecer los programas de producción de planta se requiere contar con semillas con características deseables de calidad, por ello se requiere éstas puedan almacenarse hasta el momento de su utilización, sin que estas pierdan su capacidad germinativa (Doria, 2010; García *et al.*, 2011). Así mismo la variación botánica, ecológica, genética, física, fisiológica y química, que presentan las semillas forestales de zonas áridas dificulta el control continuo de los parámetros de calidad, por tanto su utilización se ve limitada cuando se desconocen éstas características (Villasana y Suárez, 1997; FAO-FLD, 2007).

Importancia del almacenamiento de semillas

El almacenamiento se puede definir como la conservación de semillas viables, desde el momento de la recolección, hasta que se necesitan para la siembra (William, 1991). También tiene como objetivo primordial mantener y conservar la calidad física, fisiológica, y sanitaria, en semillas recolectadas en años de alta producción para suministrar los programas de reforestación en aquellos años de baja o nula producción, así como reducir al mínimo el deterioro y minimizar las pérdidas durante su conservación, desde su cosecha hasta la próxima siembra, para lograr una germinación satisfactoria y una aceptable emergencia (Trujillo, 2001; Doria, 2010).

Uno de los preceptos de almacenamiento de Harrington (1972) menciona que la calidad de la semilla no se mejora con el almacenamiento, solo se mantiene durante cierto tiempo. Por tanto, para conservar semillas de especies forestales a corto o a largo plazo se debe considerar su comportamiento durante el almacenamiento, de acuerdo a éste comportamiento se clasifican en ortodoxas y recalcitrantes (Wang y Beardmore, 2004; Ceballos y López, 2007).

Las semillas ortodoxas mantienen su viabilidad a contenidos de humedad de 5 a 10% después de desecarse, es decir toleran la desecación y se pueden almacenar satisfactoriamente durante largos periodos a temperaturas bajas o inferiores a 0°C (Gutiérrez y Koch, 2015). Con respecto a las semillas recalcitrantes generalmente pierden su viabilidad cuando el contenido de humedad oscila entre 12 a 30%, después se desecan, por lo que se les conoce como intolerantes a la desecación, este tipo de semillas se almacena solo por periodos cortos (García, 2004; Magnitskiy y Plaza 2007).

Factores que Influyen Durante el Almacenamiento

Las semillas almacenadas requieren de ciertas condiciones, para no perder viabilidad y disminuir la germinación, los factores que inducen el deterioro, la pérdida del vigor y viabilidad total o parcial son: la humedad relativa del ambiente, la temperatura, el contenido de humedad de la semilla, presión de oxígeno, bacterias, hongos, insectos y roedores (Doria, 2010). Reiterando, los factores externos más importantes que afectan la calidad fisiológica de una semilla son: la humedad relativa y la temperatura además de la madurez de la semilla, viabilidad inicial, la naturaleza del tegumento, el método de procesamiento y almacenamiento (Navarro, 2003; Rangel *et al.*, 2011).

La humedad relativa y la temperatura, son factores que tienen una influencia decisiva en el almacenamiento de semillas, cuando las condiciones ambientales son apropiadas, las semillas se podrán almacenar por largos períodos sin que presenten problemas, cuando las condiciones ambientales son adversas el deterioro puede ocurrir en pocos días, llegando hasta una pérdida total de la viabilidad de la semilla (Mata y Moreno, 2005; Herrera y Alizaga, 2009).

Humedad Relativa

La humedad relativa es considerada el factor más importante durante el almacenamiento y esta interrelacionado con otros factores que induce el deterioro, por ejemplo, temperatura y el desarrollo de insectos (Jara, 1997; Jaramillo, 2012). Su importancia radica en la relación con factores biológicos que causan daños y que afectan desde el valor nutricional hasta el económico (calidad y peso) (García, 2001; Zapata *et al.*, 2015). Algunos factores bióticos que afectan a las semillas son menos dañinas cuando están secas, cuando las semillas están húmedas el deterioro es muy rápido y puede llegar a niveles de 100% de pérdidas (Moreno *et al.*, 2000; Socorro *et al.*, 2017).

Usualmente, la semilla viene del campo con contenidos de humedad altos (20% o más) lo que impide un almacenamiento seguro, por tanto, se debe tomar en cuenta los niveles óptimos de humedad de la semilla, para las de tipo ortodoxa se considera entre 12-14%, lo que implica que durante su almacenamiento tendrán bajos problemas, por ataque de

microorganismo (hongos) y por insectos (Wesley *et al.*, 1992; Siripatrawan y Jantawat, 2006).

Temperatura

La temperatura presenta una correlación negativa con la longevidad de la semilla; cuanto más baja es la temperatura, menor es la tasa de respiración, y por ello más prolongada la vida de la semilla almacenada (Hong y Ellis, 1996; Chaves *et al.*, 1999). Harrington (1973) propone, una norma práctica para las semillas agrícolas con respecto a la temperatura, en la cual sugiere que entre 10°C y -17.7°C, que por cada 5°C de descenso de la temperatura de almacenamiento supone duplicar la vida de la semilla.

En el caso de las semillas ortodoxas, cuyo contenido de humedad puede reducirse hasta unos niveles bajos, se consigue una longevidad aún mayor mediante el almacenamiento a temperaturas inferiores a 0°C (William 1991; Jara, 1997). Sin embargo, la elección de la temperatura de almacenamiento varía considerablemente según la especie de que se trate y el período de tiempo durante el que se va a almacenar la semilla (Mata y Moreno, 2005; Alzugaray *et al.*, 2007).

Dentro de ciertos límites, los procesos químicos, bioquímicos y biológicos progresan más rápidamente, en temperaturas más altas y lentamente cuando son bajas, las temperaturas más altas pueden destruir enzimas, organismos vivos, etc., además las diferencias de temperatura causan el movimiento de humedad de la semillas (Pérez y Pita, 2001; Pichardo *et al.*, 2008).

Humedad de la Semilla

Harrington (1972) menciona, la asociación entre la humedad de la semilla, la temperatura de almacenaje y la longevidad de la semilla y señala que por cada 1% que disminuya el contenido de humedad en la semilla se duplica su longevidad; por tanto, el rango de humedad para la mayor parte de las semillas es entre 5 y 6% para su máxima longevidad.

De acuerdo a las condiciones durante el almacenamiento, la semilla puede absorber o perder humedad; al incrementar la humedad puede traer como consecuencia que se acelere la respiración, el calor y la invasión de hongos, destruyendo la viabilidad de las semillas más rápidamente (Bejark y Pammenter, 2007; González *et al.*, 2012).

En consecuencia, un aumento de la humedad de las semillas puede provocar serios problemas al almacenamiento; con un 8 a 9 % de humedad se activan los insectos y se pueden reproducir, a un 12 al 14 % de humedad se inicia la actividad de los hongos, sobre un 20 % se producen calentamientos de la semillas y sobre el 40 al 60 % inician el proceso de germinación (Sunilkumar y Sudhakara, 1998; Gómez *et al.*, 2006).

Plagas y Enfermedades

Cuando las semillas ortodoxas, se almacenan a bajas temperaturas y con un contenido de humedad bajo evitan la aparición de hongos e insectos, por lo que se sugiere evitar recolectar semillas, que presenten una alta incidencia de ataques de hongos o insectos y efectuar todas las operaciones de recolección, transporte, procesamiento, etc., con la mayor rapidez posible a fin de asegurar que la semilla no resulte dañada antes de iniciar el almacenamiento (Hong y Ellis, 1996; Moreno *et al.*, 2000).

Composición Química

Algunas estructuras de las semillas ayudan a prolongar la longevidad de las semillas; las cáscaras, aristas o ambas, pueden tener un efecto inhibitorio sobre el desarrollo de hongos en semillas almacenadas, el tamaño y arreglo de las estructuras esenciales de las semillas y la composición química de estas, también son factores que afectan el almacenamiento, por ejemplo, semillas ricas en aceites y proteínas son más susceptibles al deterioro que las semillas ricas en carbohidratos (Rangel *et al.*, 2011; Buenrostro *et al.*, 2016).

Madurez

Las semillas maduras fisiológicamente, conservan su viabilidad durante más tiempo que aquellas que fueron recolectadas inmaduras, y es posible que determinados compuestos bioquímicos que son esenciales para conservar la viabilidad, no se formen antes de las fases finales del proceso de maduración de la semilla. Entre ellos se encuentran en algunas especies compuestos que inducen la latencia, y ésta aparece a veces asociada con la longevidad de la semilla (Trujillo, 2001; Cardozo *et al.*, 2002).

Genética

Las semillas ortodoxas están genética y químicamente equipadas para tener una larga estabilidad de almacenaje, el comportamiento es diferente entre las especies aun cuando estén almacenadas en condiciones similares, semillas de diferentes especies pueden ser químicamente similares, pero tener diferente estabilidad para el almacenamiento, debido a diferencias en el potencial genético (William, 1991; Vicente y Carbonero, 2005).

Las diferencias en la estabilidad de almacenamiento de semillas pueden también ocurrir entre cultivos. Por ejemplo, el frijol negro se almacena mejor que el Brittle Wax, líneas de híbridos de maíz que muestran una germinación del 90% después de dos años de almacenamiento, mientras que otros están completamente muertas después algún periodo de almacenaje, así la herencia ejerce claramente un efecto marcado sobre la longevidad de la semilla (Drew *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2005).

Humedad de equilibrio en semillas

Las características de adsorción de agua, de la humedad crítica y la actividad del agua, son muy importantes en numerosas aplicaciones, sobre todo durante el almacenamiento de semillas, ya que como cualquier ser vivo, está expuesta a procesos naturales de envejecimiento, es por ello que al almacenar las semillas en condiciones adecuadas se evita el deterioro temprano y se mantiene la calidad durante más tiempo, un almacenamiento adecuado, tiene como finalidad mantener la viabilidad de la semilla en un mayor tiempo posible y se debe procurar que el proceso natural de deterioro sea más lento (Pritchard *et al.*, 1995; Carrillo *et al.*, 2011).

Las semillas son consideradas higroscópicas, es decir ganan y pierden humedad de acuerdo al ambiente al que es almacenada, y entran en equilibrio con la humedad relativa atmosférica, cuando están expuestas por varios días a dichas condiciones ambientales de humedad relativa (Copeland y McDonald, 2001; Wesley *et al.*, 2001). Además, el conocimiento de la humedad de equilibrio de semillas, bajo diferentes condiciones ambientales, permitirá establecer los tiempos de almacenamiento seguro durante un tiempo preestablecido (Chien y Lin, 1997; Socorro *et al.*, 2007).

El contenido de humedad de equilibrio (HE) de las semillas, constituye la base para garantizar un secado adecuado para el almacenamiento seguro, existen reglas para un adecuado almacenamiento como las de Harrington, las cuales ajustan los valores óptimos de humedad y temperatura para la conservación de las semillas (Ceballos y López, 2007; Pichardo *et al.*, 2008).

PRIMER ARTÍCULO

EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO EN SEMILLAS FORESTALES DE ZONAS
ÁRIDAS Y SU EFECTO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA

**EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO EN SEMILLAS FORESTALES DE
ZONAS ÁRIDAS Y SU EFECTO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA**

**HYGROSCOPIC EQUILIBRIUM IN IN FOREST SEEDS OF ARID
ZONE AND ITS EFFECT ON PHYSIOLOGICAL QUALITY**

A. Antonio-Bautista¹

M.E. Vázquez-Badillo^{1*}

M.H. Reyes-Valdés¹

C. Flores-López²

E.J. Cruz-Gutiérrez³

D.U. González-Uribe⁴

¹Programa de Doctorado en Recursos Fitogenéticos para Zonas Áridas, Departamento de Fitomejoramiento, ²Departamento de Forestal, ⁴Departamento de Estadística y Cálculo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila, México.

³Centro Nacional de Recursos Genéticos-Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. Boulevard de la biodiversidad 400, Rancho las Cruces, 47600 Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: Email:marioe.vazquez@hotmail.com

Resumen:

Las semillas forestales son el material mayormente utilizado para la producción masiva de plantas, las especies de zonas áridas no producen semilla todos los años, es necesario disponer de germoplasma en cantidad y calidad que permitan la obtención de nuevos individuos. Conocer la humedad en equilibrio, permite establecer los tiempos de almacenamiento seguro, durante un tiempo determinado. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del contenido de humedad de Equilibrio sobre la calidad fisiológica en semillas de *Agave lecheguilla* Torr., *Lippia graveolens* Kunt., y *Nolina cespitifera* Trel., durante el almacenamiento. Las semillas fueron almacenadas por un periodo de 90 días bajo 12 ambientes, se evaluaron a 0, 15, 30, 60 y 90 días, con cuatro repeticiones de 100 semillas, las pruebas fisiológicas y humedad de la semilla fueron realizadas utilizando procedimientos internacionales de la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (International Seed Testing Association), (ISTA, 2014). Las variables evaluadas fueron humedad de la semilla (HS), índice de velocidad de germinación (IVG), porcentaje de plántulas normales (PN), porcentaje de plántulas anormales (PA), porcentaje de semillas muertas (SM) y porcentaje de semillas duras (SD). El diseño experimental fue factorial con arreglo de tratamientos completamente al azar. Los resultados mostraron que las semillas almacenadas a 60-75% de humedad relativa y 5-15°C no perdieron de manera significativa su capacidad germinativa, la HS osciló entre 12-13%, los valores más altos de HS se obtuvieron a 80-85% de humedad relativa y en respuesta el porcentaje de PN disminuyó de

manera considerable entre 5.0 y 18.5 %. En las tres especies en estudio la humedad en equilibrio ésta fuertemente afectada por las condiciones de almacenamiento, alta humedad relativa y temperatura, ocasionan humedad de equilibrio alta, afectando de manera negativa la calidad fisiológica y ocasionando un rápido deterioro.

Palabras clave: Almacenamiento, Germinación, Deterioro, Humedad de equilibrio, Longevidad

Abstract:

Forest seeds are the material mostly used for the mass production of plants; the species of arid zones do not produce seed every year, it is necessary to have germplasm in quantity and quality that allow obtaining new individuals. Knowing the moisture in equilibrium, allows establishing safe storage times, for a certain time. The objective of this work was to evaluate the effect of the moisture content of Balance on the physiological quality in seeds of *Agave lecheguilla* Torr., *Lippia graveolens* Kunt., And *Nolina cespitifera* Trel., During storage. The seeds were stored for a period of 90 days under 12 environments were evaluated at 0, 15, 30, 60 and 90 days, with four repetitions of 100 seeds, physiological tests and seed moisture were performed using international procedures of the Association International Seed Analysis Association (ISTA, 2014). The variables evaluated were seed moisture (HS), Germination speed index (IVG), percentage of normal seedlings (PN), Percentage of abnormal seedlings (PA), percentage of dead seeds (SM) and percentage of Hard seeds (SD), The experimental design was factorial according to completely randomized treatments. The results showed that the seeds stored at 60-75% relative

humidity and 5-15 ° C did not significantly lose their germination capacity, the HS ranged between 12-13%, the highest HS values were are obtained at 80- 85% relative humidity and in response, the percentage of PN decreased considerably between 5.0 and 18.5%. In the three species under study, equilibrium moisture is strongly affected by storage conditions, high relative humidity and temperature cause high equilibrium humidity, negatively affecting physiological quality and causing rapid deterioration.

Keyword: Storage, Germination, Deterioration, equilibrium of moisture, longevity.

Introducción

A nivel mundial los desiertos ocupan un 40% de la superficie, es decir 33.7 millones de km². México posee una superficie total de 2 millones aproximadamente, de los cuales las zonas áridas y semiáridas ocupan entre 50 y 60 % del territorio (Gonzalez, 2012). Se caracterizan por presentar gran una cantidad de especies forestales clasificadas como no maderables y con gran potencial económico, por el uso de fibras y componentes fitoquímicos que de éstas especies se obtienen (Tropicos, 2019).

Sin embargo, las poblaciones naturales de especies forestales no maderables de zonas áridas, se han visto disminuidas tanto por el aprovechamiento como por el impacto de desastres naturales, incendios forestales, sequía, plagas y enfermedades (Doria, 2010).

Las semillas son consideradas como la fuente más importantes de germoplasma primario y hasta el momento constituyen el material mayormente utilizado para la producción

masiva de plantas, con fines de reforestación o establecimiento de plantaciones (Sáenz, Muñoz y Rueda, 2011).

La forma de propagación de especies forestales no maderables de zonas áridas es principalmente por semilla, sin embargo, no mantienen una producción anual constante, por lo que hace inevitable contar con germoplasma en cantidad y calidad necesaria para abastecer los programas de producción de planta (Iriondo, 2001). Por tanto es necesario almacenarlas y conservarlas hasta el momento de su utilización sin que se pierdan sus atributos de calidad genética, física, fisiológica y sanitaria (Romero y Pérez, 2016).

Las semillas de especies de zonas áridas y semiáridas se caracteriza por presentar un tipo de latencia exógena, dicha latencia pudiera deberse principalmente a propiedades físicas y químicas de las cubiertas seminales (Baskin y Baskin, 2004), así como la latencia endógena que es determinada por características anatómicas, morfológicas y fisiológicas del propio embrión (latencia embrionaria) que impide el paso de agua para iniciar el proceso de germinación (Doria, 2010).

Las semillas almacenadas están sujetas a diversos cambios uno de ellos es la pérdida de la calidad fisiológica lo que ocasiona su deterioro, sin embargo, cuando el almacenamiento es llevado a cabo bajo condiciones favorables, se pueden almacenar por largos periodos sin que esto represente algún problema, los factores más importantes que afectan el almacenamiento de semillas son la humedad relativa, la temperatura y la condición de la semilla (Salazar *et al.*, 2011).

El contenido de humedad de equilibrio (CHE) o equilibrio higroscópico, es el contenido de humedad que la semilla alcanza, cuando se almacena durante un tiempo en condiciones

de temperatura y humedad relativa (Mahecha Godoy, 2011). El conocimiento de la humedad en equilibrio de las semillas bajo condiciones ambientales, permite establecer los tiempos seguros de almacenamiento durante un tiempo determinado (Vega, Lara, y Lemus, 2006).

Debido a que no se cuenta con información necesaria, que proporcione las condiciones óptimas de almacenamiento, para el resguardo a corto, mediano y largo plazo, en semillas de especies forestales no maderables de zonas áridas, se plantea el siguiente objetivo evaluar el efecto de la humedad en equilibrio en semillas *Agave lecheguilla* Torr., *Lippia graveolens* Kunt., y *Nolina cespitifera* Trel., en la calidad fisiológica, durante el almacenamiento.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Almacenamiento de Granos y Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la UAAAN, situada, en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Se utilizaron semillas de agave (*Agave lecheguilla* Torr.), orégano (*Lippia graveolens* Kunt.), y cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.), especies forestales no maderables de zonas áridas de importancia económica ya que de ellas se obtienen fibras y componentes fitoquímicos, se obtuvieron de lotes semilleros de poblaciones naturales, del sureste de Coahuila, colectadas en 2016, verificando que todas las semillas contaran con la madurez fisiológica adecuada, estuviera bien conformada y en un estado masoso siendo éste último un indicativo que la semilla está completamente madura.

Las semillas se almacenaron por un periodo de 90 días en 12 ambientes que resultaron de la combinación de tres temperaturas (5, 15 y 30° C) y cuatro niveles de humedad relativa

(60,75, 80 y 85 %), éstas humedades relativas se obtuvieron de manera artificial con soluciones sobresaturadas de acuerdo a (Winston y Bates 1960).

Se utilizaron cuatro repeticiones de 100 semillas de cada especie en estudio, resultando 240 unidades experimentales. Se colocaron en mallas de tela perforadas y estas a su vez se distribuyeron al azar en cámaras de plástico que conformaban cada uno de los ambientes del almacén. Se sellaron con cinta adhesiva, para que las soluciones actuaran correctamente, las muestras fueron evaluadas a los 0, 15, 30, 60 y 90 días, la evaluación inicial se realizó a cero días de almacenamiento con el fin de conocer el contenido de humedad de las semillas y el estado fisiológico antes de ser sometidas al periodo de almacenamiento. Las semillas almacenadas se sometieron a una prueba de humedad en contenedores de aluminio en una estufa de secado a temperatura de 103 °C durante 17 h; además, se realizó un análisis de germinación, el cual consistió en colocar las semillas en contenedores de plástico de 20 X 15 X 5 cm que contenían sustrato estéril tipo peatmoss con características deseables para realizar la prueba de germinación ISTA (2014). Las semillas se distribuyeron al azar sobre la superficie del sustrato previamente humedecido y fueron llevadas a una cámara germinadora Seed Buro con condiciones controladas de humedad (80%), temperatura de 22 ± 2.5 °C, y con 12 h de luz y 8 h de obscuridad. Se aplicaron riegos cada tercer día con agua corriente, para que el sustrato tuviera las condiciones óptimas de humedad y la semilla iniciara el proceso de germinación. Se realizaron dos conteos, el primero a los 14 días y el segundo a los 21 días después de la siembra, éstas pruebas se realizaron utilizando procedimientos internacionales de la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (International Seed Testing Association) (ISTA, 2014).

Las variables a evaluar fueron: contenido de humedad de la semilla (HS), índice de velocidad de germinación (IVG) de acuerdo a (Maguire, 1962), porcentaje de plántulas normales (PN) se definió como la relación entre el número de semillas germinadas que tenían todas sus estructuras esenciales y el número de semillas plantadas. Porcentaje de plántulas anormales (PA), se contaron aquellas plántulas que carecían de una o más de sus estructuras esenciales, Porcentaje de semillas muertas (SM): el conteo incluyó todas aquellas semillas que eran blandas; absorbieron agua, pero no produjeron plántulas y porcentaje de semillas duras (SD), se contaron todas las semillas que no absorbieron agua y que permanecieron impermeables al final del ensayo. El diseño experimental fue factorial (factor A= tiempo, B=humedad relativa y C=temperatura) con arreglo de tratamientos completamente al azar. Los datos se sometieron a análisis de varianza, y cuando hubo diferencias, se realizó una comparación de medias mediante prueba de Tukey ($p=0.05$), con el software estadístico R Core Team (RCT, 2017).

Resultados

Humedad de la semilla

En la Figura 1 se observa que el contenido de la humedad de la semilla (HS) está fuertemente afectada por la humedad relativa del ambiente (HR), en las tres especies en estudio HS fue mayor cuando las semillas estuvieron almacenadas en condiciones de alta HR (85%).

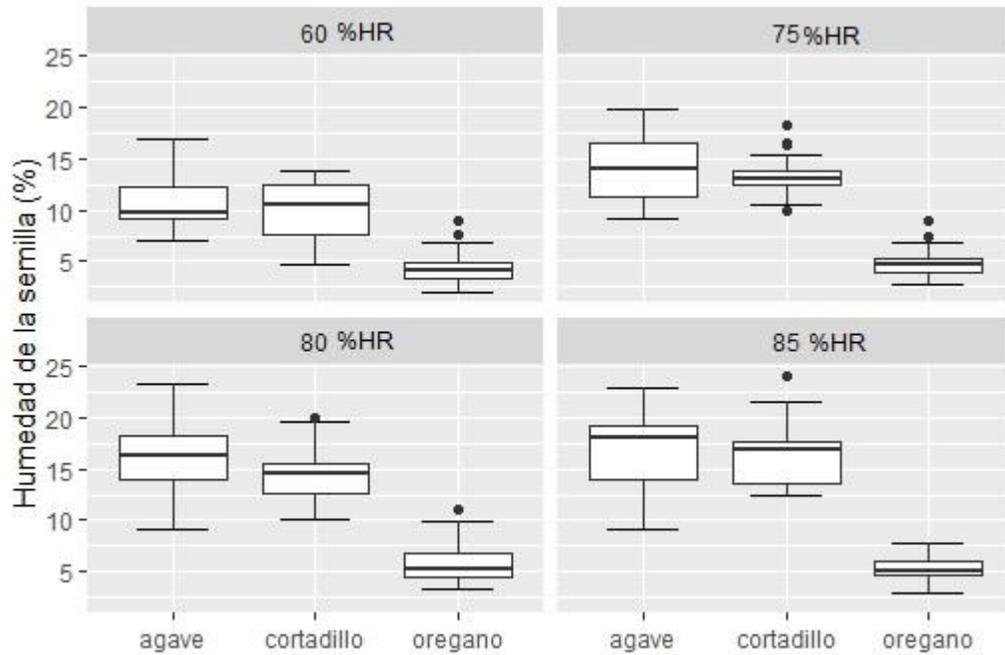


Figura 1. Humedad de la semilla de agave (*Agave lecheguilla* Torr.), orégano (*Lippia graveolens* Kunt.), y cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.), almacenadas en diferentes niveles de humedad relativa.

La humedad de la semilla (HS) de las tres especies en estudio, fue mayor cuando se almacenaron en condiciones de baja temperatura (5°C) y menor cuando la temperatura del ambiente fue de 25°C. (Figura 2)

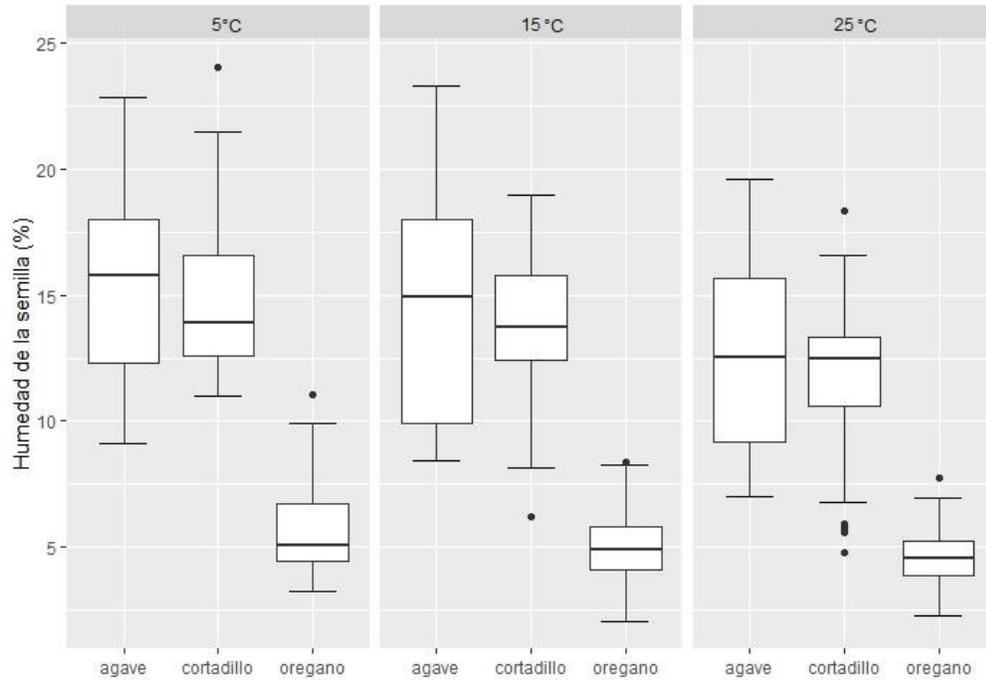


Figura 2. Humedad de la semilla de agave (*Agave lecheguilla* Torr.), orégano (*Lippia graveolens* Kunt.), y cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.), almacenadas a tres Temperaturas

En la Figura 3, se observa para las tres especies en estudio, que a medida que pasa el tiempo la humedad de la semilla aumenta y se estabilizó en el tercer muestreo es decir entra en equilibrio con el ambiente a partir de los 30 días.

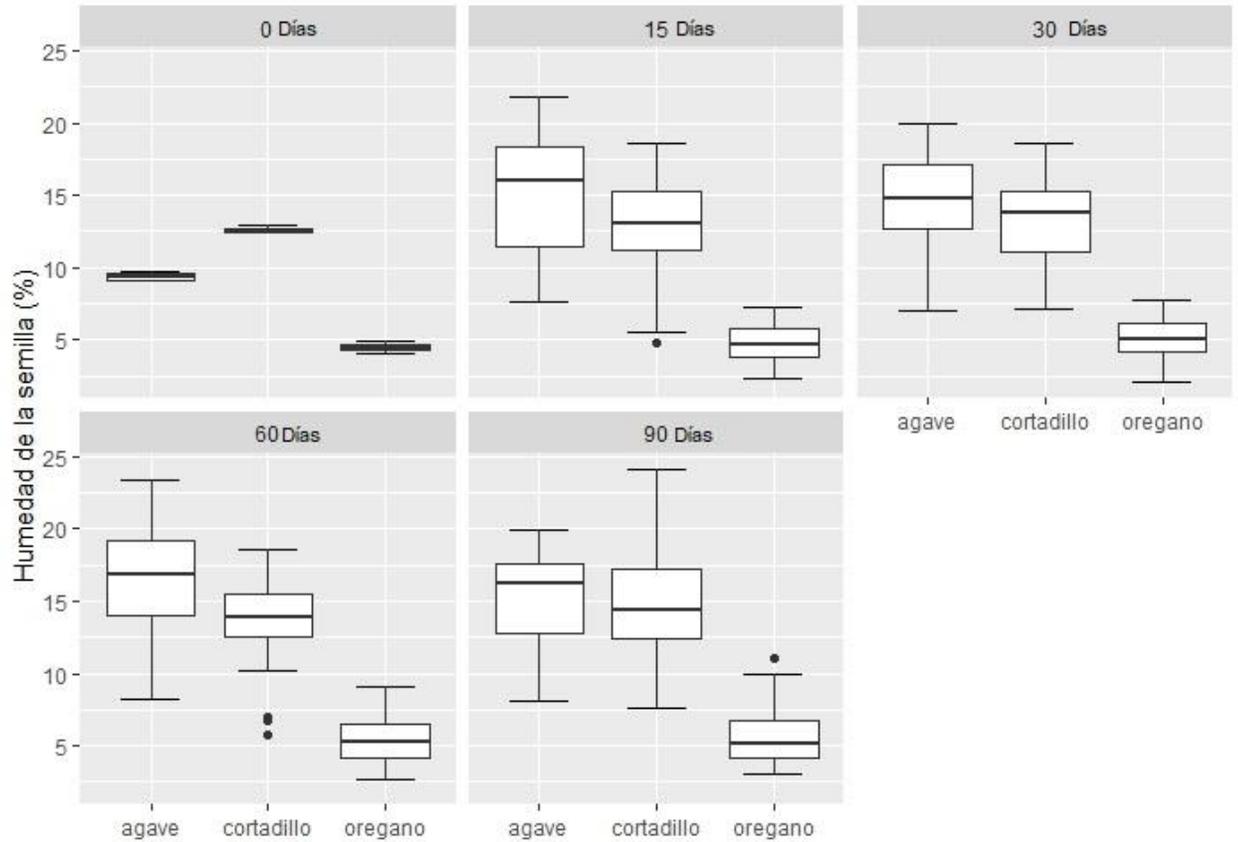


Figura 3. Humedad de la semilla de agave (*Agave lecheguilla* Torr.), orégano (*Lippia graveolens* Kunt.), y cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.), almacenadas a 90 días.

En *A. lecheguilla* Torr., el contenido de humedad de la semilla, se mantiene en valores bajos (12-13%) en condiciones de 60 % de humedad relativa y 5 °C, alcanzando los valores más altos de HS (20.75%) en condiciones de humedad relativa 85% (cuadro 1). Para semillas de *L. graveolens* Kunt (cuadro 2), en las diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura se mantuvieron en valores entre 3.8 y 7.5 % de humedad de la semilla durante los 90 días de almacenamiento

El comportamiento en el contenido de humedad de la semilla en *N. cespitifera* Trel, muestra que en condiciones de humedad relativa baja (60 %) los valores observados oscilaron entre 8.3 y 12.6% (Cuadro 3).

Variabes fisiológicas

En semillas de *A. lecheguilla* Torr. Se observa que en humedades relativas bajas (60%) los valores de IVG y PN fueron poco afectadas con respecto al muestreo inicial, sin embargo, en humedades relativas altas, los valores disminuyeron (37.16%) después de 90 días de almacenamiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de medias de Tukey ($p > 0.05$) para las variables evaluadas en semillas de agave (*Agave lecheguilla* Torr.) en cinco muestreos bajo cuatro niveles de humedad relativa.

Días	HR %	HS	IVG	PN	PA	SM	SD
0	60	9.37 h	5.21 a	96.00 a	4.00 cd	0.00 e	0.00 c
	75	9.37 h	5.21 a	96.00 a	4.000 cd	0.00 e	0.00 c
	80	9.37 h	5.21 a	96.00 a	4.00 cd	0.00 e	0.00 c
	85	9.37 h	5.20 a	96.00 a	4.00 cd	0.00 e	0.00 c
15	60	10.20 gh	4.73 abc	86.50 abc	5.66 cd	6.83 de	1.00 abc
	75	12.67 fg	4.55 abcd	82.91 abcd	6.33 cd	10.75 de	0.00 c
	80	17.20 bcde	3.94 bcdef	70.33 bcde	10.16 cd	19.50 cde	0.00 c
	85	19.63 ab	3.68 cdefg	64.66 cdef	12.33 bcd	23.00 cde	0.00 c
30	60	11.00 gh	4.90 ab	89.16 ab	6.75cd	1.66 e	2.50 abc

	75	15.03 ef	4.34 abcd	79.00 bcde	6.33 cd	11.33 de	3.33 ab
	80	15.56 de	3.01 efgh	55.08 efgh	3.33 d	41.58 bc	0.00 c
	85	16.71 cde	3.43 defgh	61.41 defg	7.91 cd	30.33 bcd	0.33 bc
	60	11.20 gh	4.09 abcde	72.58 abcde	12.75 bcd	14.66 de	0.00 c
60	75	15.65 cde	3.83 bcdef	64.50 cdef	20.75 abc	11.16 de	3.66 a
	80	17.80 bcd	1.16 i	17.66 i	12.00 bcd	70.33 a	0.00 c
	85	18.34 abc	2.34 hi	39.66 ghi	12.50 bcd	47.91 ab	0.00 c
	60	11.59 gh	2.86 fgh	44.00 fgh	28.33 ab	27.75 bcd	0.00 c
90	75	15.92 cde	2.92 efgh	42.58 fgh	36.33 a	21.16 cde	0.00 c
	80	16.68 cde	2.60 gh	35.66 hi	36.50 a	27.75 bcd	0.00 c
	85	20.75 a	2.33 hi	37.16 hi	19.50 abcd	43.33 bc	0.00 c

Las medias con la misma letra indican que no son significativamente diferentes,

HS=Humedad de la semilla, IVG= Índice de velocidad de germinación, PN = plántulas normales, PA =plántulas anormales, SM = semillas muertas, SD = semillas duras.

En el cuadro 2 se puede observar el comportamiento de semillas de *L. graveolens* Kunt. Cuando éstas fueron expuestas a condiciones de alta humedad relativa, las variables IGV y PN presentaron los valores más bajos después del periodo de almacenamiento (1.93) y (58.00%) respectivamente

Cuadro 2. Comparación de medias de Tukey ($p > 0.05$) para las variables evaluadas en semillas de orégano (*Lippia graveolens* Kunt.) en cinco muestreos bajo diferentes humedades relativas

Días	HR %	HS	IVG	PN	PA	SM
0	60	4.50 cde	2.95a	89.48 a	4.815 a	5.70 g
	75	4.50 cde	2.95 a	89.48 a	4.815 a	5.70 g
	80	4.50 cde	2.95 a	89.48 a	4.815 a	5.70 g
	85	4.50 cde	2.95 a	89.48 a	4.815 a	5.70 g
15	60	4.83 bcde	2.95 a	89.66 a	1.00 b	8.33 fg
	75	4.03 de	2.70 ab	82.00 ab	2.00 ab	16.00 ef
	80	4.81 bcde	2.53 bc	77.00 bc	2.00 ab	22.00 cde
	85	5.21 bcde	2.51 bcd	76.33 bc	1.66 ab	22.00 cde
30	60	3.55 e	2.35 cde	71.00 cde	3.66 ab	25.33 bcde
	75	5.32 bcd	2.33 cde	70.66 cde	2.00 ab	27.33 bcd
	80	5.64 bcd	2.29 cde	69.66 cde	1.33 ab	29.00 abcd
	85	5.79 bc	2.17 ef	65.66 ef	2.66 ab	31.66 ab
60	60	4.72 bcde	2.50 bcd	75.33 bcd	4.00 ab	20.66 de
	75	5.04 bcde	2.38 cde	72.00 cde	2.66 ab	25.33 bcde
	80	6.33 ab	2.31 cde	70.33 cde	1.33 ab	28.33 bcd
	85	5.31 bcd	2.18 ef	66.00 def	2.66 ab	31.33 abc
90	60	4.00 de	2.29 cde	69.33 cde	3.33 ab	27.33 bcd
	75	4.82 bcde	2.20 def	66.33 def	3.33 ab	30.33 abc
	80	7.53 a	2.14 ef	64.66 ef	3.33 ab	32.00 ab
	85	5.88 abc	1.93 f	58.00 f	3.66 ab	38.33 a

Las medias con la misma letra indican que no son significativamente diferentes, HS=Humedad de la semilla, IVG= Índice de velocidad de germinación, PN = plántulas normales, PA =plántulas anormales, SM = semillas muertas.

Respecto al porcentaje de PA y SM en las tres especies en estudio aumentaron cuando fueron almacenadas en condiciones de alta humedad relativa (85%), presentando valores 70 % después de los 90 días de almacenamiento.

Las semillas de *N. cespitifera* Trel. mostraron un aumento SD ya que los valores mostraron un aumento al final del almacenamiento al obtener valores de hasta 29.00% (cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias de Tukey ($p > 0.05$) para las variables evaluadas en semillas de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) en cinco muestreos bajo diferentes humedades relativas

Días	HR %	HS	IVG	PN	PA	SM	SD
0	60	12.61 ef	2.66 a	80.00 a	5.00 ab	10.00 d	5.00 e
	75	12.61 ef	2.66 a	80.00 a	5.00 ab	10.00 d	5.00 e
	80	12.61 ef	2.66 a	80.00 a	5.00 ab	10.00 d	5.00 e
	85	12.61 ef	2.66 a	80.00 a	5.00 ab	10.00 d	5.00 e
15	60	8.31 g	2.51 ab	74.755 ab	7.18 ab	10.41 d	7.64 de
	75	12.40 ef	2.27 abc	67.16 abc	8.89 ab	12.30 d	11.63 cde
	80	13.90 cde	2.15 abcd	63.38 abcd	8.78 ab	12.54 d	15.28 bcde
	85	16.55 abc	2.01 bcde	59.44 bcde	7.22 ab	18.33 cd	15.00 bcde
30	60	9.16 g	1.94 cde	57.61 cde	6.19 ab	17.26 cd	18.92 abcd

	75	14.09 cde	1.98 bcde	60.00 bcde	2.22 b	18.88 cd	18.88 abcd
	80	13.81 de	1.81 cdef	54.23 cdef	4.83 ab	22.38 cd	18.55 abcd
	85	16.53 abc	1.69 defgh	50.27 defgh	5.42 ab	17.92 cd	26.38 ab
	60	10.16 fg	2.01 bcde	59.68 bcde	7.11 ab	14.93 d	18.26 abcd
60	75	13.48 e	1.53 efghi	44.44 efghi	8.33 ab	30.55 bc	16.66 bcde
	80	14.79 bcde	1.34 fghij	38.15 fghij	11.56 a	29.27 bc	21.00 abc
	85	16.39 abcd	1.22 hij	34.60 hij	10.12 ab	39.04 ab	16.23 bcde
	60	10.18 fg	1.78 cdefg	51.55 cdefg	11.08 a	20.71 cd	16.64 bcde
90	75	13.37 e	1.27 ghij	36.66 ghij	7.78 ab	30.55 bc	25.00 ab
	80	17.01 ab	1.06 ij	29.16 ij	11.23 a	30.59 bc	29.00 a
	85	18.05 ^a	0.81 j	22.94 j	7.78 ab	49.37 a	19.90 abc

Las medias con la misma letra indican que no son significativamente diferentes, HS=Humedad de la semilla, IVG= Índice de velocidad de germinación, PN = plántulas normales, PA =plántulas anormales, SM = semillas muertas, SD = semillas duras.

En la figura 4 se observa que IVG, se mantuvo cuando las semillas fueron almacenadas a 60 %HR a 5 y 15°C, y en condiciones de alta HR y temperatura alta mostraron los valores más bajos en las tres especies estudiadas.

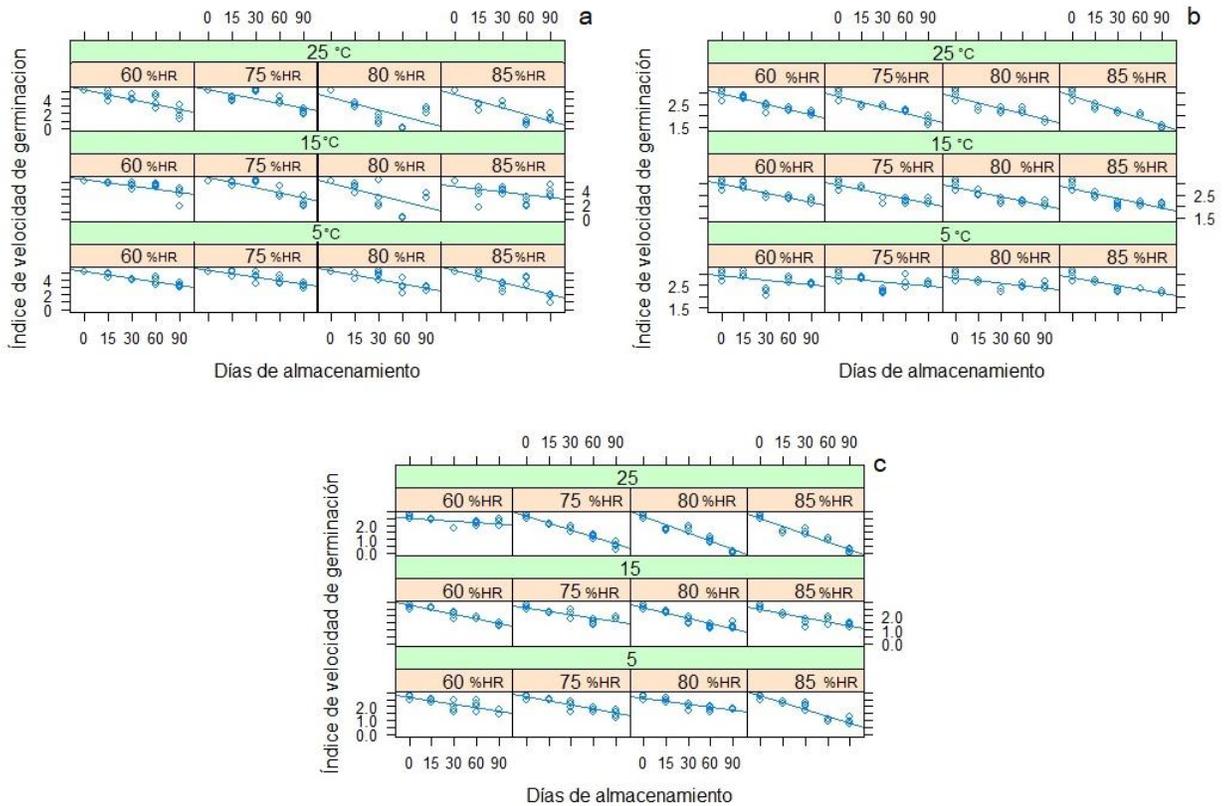


Figura 4. Índice de velocidad de germinación (IVG) en semillas almacenadas a cuatro niveles de humedades relativa, a tres temperaturas, durante 90 días, a) *Agave lecheguilla* Torr, b) *Lippia graveolens* Kunt., c) *Nolina cespitifera* Trel.

El porcentaje de plántulas normales (Figura 5), disminuye a medida que la humedad relativa aumenta, cuando las semillas fueron almacenadas a 60 y 75% de HR en temperaturas de 5, 15 y 25 °C durante los 90 días, los porcentajes PN se mantuvieron entre 81 y 95 %, y cuando se almacenaron a 80 y 85 % de humedad relativa en temperatura de 25 °C, los porcentaje de PN oscilaron entre 5.0 y 18.5 %, las tres especies en estudio mostraron el mismo comportamiento.

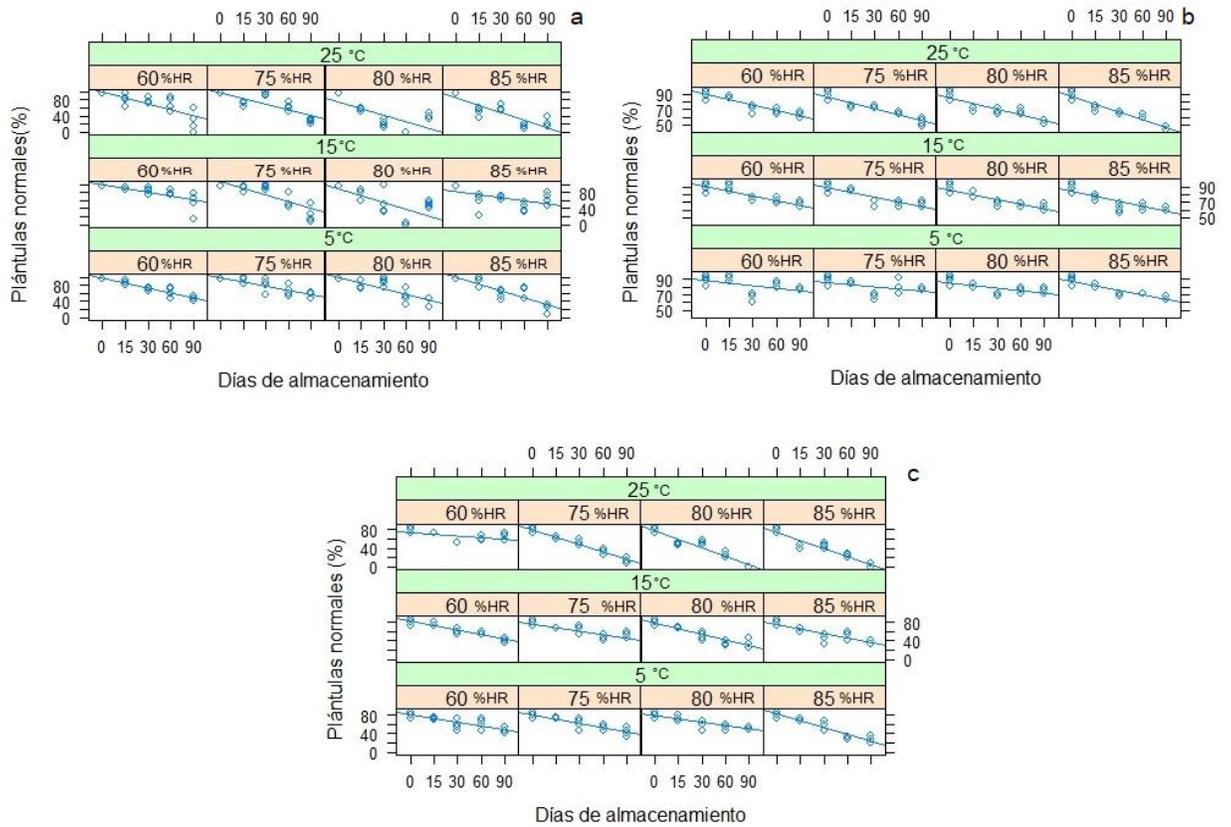


Figura 5. Porcentaje de plántulas normales (PN) en semillas almacenadas a cuatro niveles de humedades relativa, a tres temperaturas, durante 90 días, a) *Agave lecheguilla* Torr, b) *Lippia graveolens* Kunt., c) *Nolina cespitifera* Trel.

Discusión

Uno de los preceptos de almacenamiento establecidos por Harrington (1973), indica que la humedad relativa es más importante que la temperatura para la conservación de semillas (Magnitskiy y Guido, 2007). Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo establecido en éste precepto de almacenamiento, ya que a medida que la humedad relativa aumentó la germinación fue menor en las tres especies evaluadas.

En la presente investigación el contenido de humedad de la semilla en *Agave lecheguilla* Torr almacenadas a HR 60% osciló entre 9.37 y 11.59 %, *Lippia graveolens* Kunt entre 4.5 y 7.55 % y en *Nolina cespitifera* entre 7.0 y 12.3%, los cuales se encuentran entre los parámetros establecidos por Harrington (1973) que para llevar a cabo un almacenamiento seguro el contenido de humedad de la semilla no debe ser mayor al 12%. Lezcano *et al.* (2007), encontraron que para el almacenamiento seguro de *Leucaena leucocephala* el contenido de humedad de la semilla debe estar entre 10 y 12 %.

En un estudio realizado por Cardozo *et al.* (1999), encontraron que después de 24 meses de almacenamiento hubo un incremento en el contenido de humedad de la semilla y una reducción en la germinación de 6.9 a 7.4 % para *Cucurbita moschata* Duchesne ex Lam entre 5.9 y 6.41% para *Arachis pintoi* de 4.5 a 5.9% para *Phaseolus vulgaris* var. Sangretoro y entre 6.6 a 6.9 %, resultados que son aproximados a los del presente estudio, después de 90 días de almacenamiento para *Agave lecheguilla* Torr, ya que cuando alcanzó 21.9 % de humedad en la semilla, PN disminuyó hasta 5.0 %; en semillas de *Lippia graveolens* Kunt cuando el contenido de humedad de la semilla fue 13.5% PN bajo a 47 % y en semillas de *Nolina cespitifera* el valor máximo de contenido de humedad de la semilla fue de 21.8 % con PN de 8.2%.

González (2003), en pruebas de germinación de semillas almacenadas de *Bauhinia purpurea*, observó que en ambientes con humedades relativas y temperaturas bajas, la germinación se mantuvo a niveles altos y cuando la humedad relativa aumentó a 20 % la germinación disminuyó de forma drástica a través del tiempo, resultados que coinciden con este estudio, en las tres especies en estudio *Agave lecheguilla* Torr., *Lippia graveolens*

Kunt., y *Nolina cespitifera* Trel., en humedades relativas de 80 y 85 % se encontraron valores PN hasta un 5 % a los 90 días de almacenamiento.

Las semillas son higroscópicas por que absorben o liberan humedad, dependiendo del ambiente donde se encuentren y su contenido de humedad final se estabiliza cuando estas se exponen a un ambiente específico por un periodo de tiempo determinado, lo cual se conoce como humedad de equilibrio, depende además del tipo de semillas, la temperatura y humedad relativa del aire circundante (González *et al.*, 2012).

El contenido de humedad de la semilla también se incrementa cuando aumenta la temperatura, siempre y cuando la humedad relativa permanezca estable, pero cuando la temperatura del aire se calienta, las semillas disminuyen su humedad de equilibrio (Montes *et al.*, 2009).

Los resultados de humedad de equilibrio alcanzado por semillas de *Agave lecheguilla* Torr., *Lippia graveolens* Kunt., y *Nolina cespitifera* Trel., se vieron afectados por la temperatura aun cuando la humedad relativa se mantuvo constante. En estudio realizado por Alzugaray, Carnevale, Salinas y Pioli (2007) en semillas de arroz en un ambiente con 70 % de humedad relativa y temperatura de 15 °C, la humedad en equilibrio fue de 13.8 %, pero al aumentar la temperatura a 25 °C a la misma humedad relativa, la capacidad de retención de agua de ese ambiente aumentó y la humedad de equilibrio de la semilla en ese ambiente disminuyó a 13.3 %.

El contenido de humedad de la semilla, la temperatura y humedad relativa alta afectan especialmente la longevidad, aumentando la respiración y causando pudrición de las mismas (Aguirre, 2018).

Cuando la humedad relativa del aire supera el 75 %, el contenido de humedad de las semillas se incrementa rápidamente, en ambientes secos donde la humedad relativa no sobrepasa ese límite, sus cambios afectan poco el contenido de humedad de las semillas (Romero, 2018). En semillas de *Agave lecheguilla* Torr., *Lippia graveolens* Kunt. y *Nolina cespitifera* Trel., que fueron almacenadas a 15 °C en condiciones de baja humedad relativa (60 y 75 %), PN no disminuyó de manera significativa, esto coincide con lo encontrado por (Tang *et al.*, 2019) quienes reportaron que hasta los seis meses de almacenamiento las semillas de aliso (*Alnus acuminata*), solera (*Cordia gerascanthus*) y cedrillo (*Guarea guidonia*) mantuvieron constante el porcentaje de germinación cuando se conservaron a 12 °C.

Conclusiones

La humedad en equilibrio es fuertemente influida por las condiciones de almacenamiento para *Agave lecheguilla* Torr., *Lippia graveolens* Kunt., y *Nolina cespitifera* Trel.

Ambientes de alta humedad relativa y temperatura ocasionan una humedad de equilibrio alta, afectando de manera negativa la calidad fisiológica de las semillas de *Agave lecheguilla* Torr., *Lippia graveolens* Kunt., y *Nolina cespitifera* Trel.

En semillas forestales de zonas áridas pueden ser almacenadas en condiciones frescas y secas 60-75% de humedad relativa y 5-15°C, sin que se vea afectada su capacidad germinativa.

Para las especies en estudio, almacenarlas bajo condiciones de alta humedad relativa 80 - 85%, tiene como respuesta el aceleramiento del deterioro.

REFERENCIAS

- Aguirre, R. 2018. Efecto de la humedad en el almacenamiento hermético a corto plazo de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomía Mesoamericana*, I, 35. <https://doi.org/10.15517/am.v1i0.25323>
- Alzugaray, C., Carnevale, N. J., Salinas, A. R., y Pioli, R. 2007. Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlttdl. *Revista Iberoamericana de Micología*, 24(2), 142–147. [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(07\)70030-X](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(07)70030-X)
- Baskin C. y J. M. Baskin. 2004 *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination* (A. Press, Ed.). San Diego and London.
- Cardozo, C. I., López, Y., y Guevara, C. 1999. Estudio de deterioro de semilla en condiciones controladas de conservación. *Acta Agronómica*, 51(3–4), 89–101. Retrieved from http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/47785
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74-85.
- Gonzalez, F. 2012. *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación* (primera; S. de M. A. y R. N. (Semarnat), B. A. R. C. 4209. C. J. en la Montaña, D. F. C.P. 14210. Delegación Tlalpan, México, & [Www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx), Eds.). Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat) Periférico sur 5000, colonia Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530. México, D.F. www.ine.gob.mx.
- González, J. D., Benítez, B., y Soto, F. 2012. *Influencia De Diferentes Métodos De Conservación En La Germinación De Semillas De Palma Areca*. 33(2), 56–60. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-

59362012000200008&lng=en&tlng=en

- González, Y. 2003. Comportamiento germinativo y deterioro de las semillas de *Bauhinia purpurea* almacenadas al ambiente. *pastos y forrajes*, 26(2), 2000–2003.
- Harrington, J. F. 1973. Problems of seed storage. *W. Seed Ecology. Butterworth and Co.*, 251–263.
- Iriondo, J. M. 2001. Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas (Revisión). *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 16(1), 10–11.
- ISTA. 2014. "International rules for seed testing". *International Seed Testing Association (ISTA)*.
- Lezcano, J. C., Navarro, M., González, Y., y Alonso, O. 2007. *Determinación de la calidad de las semillas de Leucaena leucocephala cv . Perú almacenadas al ambiente*. *Pastos y Forrajes*. 30(4) 437-447
- Magnitskiy, S., y Guido, A. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 96–103.
- Mahecha Godoy, J. C. 2011. *Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva (Physalis Peruviana L.)*. 150. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/4309/>
- Montes, E., Torres, R. amiro., Andrade, R. icardo., Pérez, O., Marimon, J., y Meza, I. 2009. Modelado de las isotermas de desorción de ñame (*Dioscorea rotundata*). *Dyna* 157, 157: 145–152.
- RCT. 2017. *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Retrieved from <http://www.r-project.org/>
- Romero-Saritama, Jose Miguel. 2018. Seed conservation: An alternative to store germplasm and recover threatened Ecuadorian forests. *Neotropical Biology and*

Conservation, 13(1), 74–85. <https://doi.org/10.4013/nbc.2018.131.09>

Romero-Saritama, José Miguel, y Pérez-Ruíz, C. 2016. Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación ex situ de especies leñosas en los bosques secos tumbesinos. *Revista Ecosistemas*, 25(2), 59–65. <https://doi.org/10.7818/RE.2014.25-2.00>

Sáenz R, J. T., Muñoz F., H. J., & Rueda S., A. 2011. *Especies Promisorias de Clima Templado Para Plantaciones Forestales Comerciales en Michoacán. Libro Técnico Núm. 10.* Retrieved from [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3031/Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán_ J. Trinidad Saenz Reyes.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3031/Especies%20promisorias%20de%20clima%20templado%20para%20plantaciones%20forestales%20comerciales%20en%20Michoac%C3%A1n_J.%20Trinidad%20Saenz%20Reyes.pdf?sequence=1)

Salazar, J. A. C., González, J. M. P., Garay, Ó. J. A., González, V. A., y Peña, A. 2011. Adaptación De Un Modelo De Deterioro a Semillas De Tomate De Cáscara Adaptation of a Model To Evaluate Seed Deterioration in Husk Tomato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(1), 53–61. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000100009&lng=es&nrm=iso

Tang, Y., Zhang, K., Zhang, Y., y Tao, J. 2019. Dormancy-Breaking and Germination Requirements for Seeds of *Sorbus alnifolia* (Siebold & Zucc.) K.Koch (Rosaceae), a Mesic Forest Tree with High Ornamental Potential. *Forests*, 10(4), 319. <https://doi.org/10.3390/f10040319>

Tropicos. 2019. “Missouri Botanical Garden.” Retrieved from <http://www.tropicos.org>

Vega GÁLVEZ, A., Lara ARAVENA, E., y Lemus MONDACA, R., 2006. Isotermas De Adsorción En Harina De Maíz. *Ciencia Tecnología Alimentos*, 26(4), 821–827.

Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/cta/v26n4/16.pdf>

Winston, P. W. y O. H. B. 1960. Saturated solutions for the control of humidity in biological research. *Ecology*, 41(1), 232–237.

SEGUNDO ARTÍCULO

Germination behaviour after storage of *Cordia boissieri* A. DC. (Mexican olive tree)

Germination behaviour after storage of *Cordia boissieri* A. DC. (Mexican olive tree)

Adriana Antonio-Bautista¹, Mario E. Vazquez-Badillo¹, M. Humberto Reyes-Valdés¹, Celestino Flores-Lopez², Esmeralda J. Cruz-Gutiérrez³, Dino U. González-Uribe⁴, S. Pasquini^{5*}.

¹Program PhD in Plant Genetic Resources for Arid Zones, Department of Plant Breeding,

²Department of Forestry, ⁴Department Statistics and Calculation, University Autonomous Agrarian Antonio Narro Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila, Mexico (adis_anba@hotmail.com, marioe.vaquez@hotmail.com, mathgenome@gmail.com, cele64@gmail.com, digon_mx@yahoo.com)

³National Genetic Resources Center - National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research. Biodiversity Boulevard 400, Rancho las Cruces, 47600 Tepatitlán de Morelos, Jalisco, Mexico (cruz.esmeralda@inifap.gob.mx)

⁵Centro Nazionale per lo Studio e la Conservazione della Biodiversità Forestale "Peri" - , Laboratorio di analisi sementi Forestali ITML0600, Via del Ponte 256, 37020 Peri (VR) - ITALY. *Corresponding author: (sergiopasquini68@gmail.com)

Abstract

The lacking information on the optimal conditions for short, medium and long term conservation *ex situ* of a native forest species of North-eastern Mexico, inspired this work. The purpose was to determine the effect of storage studying some physiological parameters of *Cordia boissieri* species, in particular moisture content, germination and

chemical composition of seeds. Seeds harvested in 2016 in North-eastern Mexico were stored in 12 different environments for 90 days, moisture and germination were analysed, detecting after 21 days normal seedlings (NS), abnormal seedlings (AS) and dead seeds (DS). Furthermore, a chemical composition analysis was performed to determine the components of seed, showing a high fat content (29.17%). In seeds stored under conditions of high relative humidity (RH 85%) the germination drastically zeroed after 90 days of storage, seed moisture content was around 12%, typical behaviour of species with high fatty acid content. *Anacahuita* seeds can be classified as oleaginous seeds with short-life and recommended storage conditions are RH 60 - 70% at 5 °C.

Keywords; *anacahuita*, conservation *ex-situ*, forest seeds, medicinal use, Mexican olive tree, Northeast Mexico, storage.

INTRODUCTION

Cordia boissieri A. DC. (*Cordiaceae*) also known as *anacahuita*, Mexican olive or Texan olive tree, is distributed naturally in North-eastern Mexico and Southern United States (Gonzalez, 2012). It is a shrub commonly used for landscaping (Alvarado *et al.*, 2004), the fruit is edible and serves as a food source for wild mammals, birds and domestic livestock (Granados *et al.*, 2011). In recent years, several studies confirmed *anacahuita* as potential medicine in the treatment of diabetes (Murillo *et al.*, 2004; Owis *et al.*, 2017; Owis *et al.*, 2016). Furthermore, natural populations of this species contributed to decrease impact of natural disasters, forest fires, drought, pests and diseases (Somarriba *et al.* 2001; Doria, 2010), confirming the importance of promoting

biodiversity as functional and resistant alternative against climate change and desertification (Davies *et al.*, 2012).

The way of spreading of *anacahuita* is mainly by seeds, so it is advisable having to rely on germplasm of quality and quantity needed to supply the plant production programs (Fulbright, 1992).

On the basis of the behaviour during storage, seeds can be classified in orthodox, intermediate or recalcitrant (Walters, 2015). According to some authors (Batis *et al.*, 1999), *C. boissieri* seeds seems to have orthodox behaviour, from others (Schuch *et al.*, 2001) a recalcitrant one.

In general, all stored seeds are subject to deterioration, which is considered an inexorable and irreversible process (Delouche, 2002); among the external factors that influence seed longevity, RH and temperature environment are on the top of the list (Bradford and Nonogaki, 2007; Juárez *et al.*, 2017).

Majority of seeds lose their viability rapidly close to RH 80% and temperatures of 25 - 30°C, on the contrary they can be stored for ten years or more at RH 50% or lower at temperatures of 5 °C or lower (Copeland and McDonald, 2001).

Seeds of some species are genetically and chemically equipped to have a longer storage stability than others under similar conditions (Balešević *et al.*, 2005). Most long-life seeds belong to the species with hard integument or seeds with an impermeable seed coat (Moreno *et al.*, 2006).

All seeds contain carbohydrates, lipids, proteins and minerals to nourish the embryo, each component and its proportions varies following the nature and characteristics of each species (Perez *et al.*, 2008).

Chemical composition together with each component percentage, stay closely linked to the seed quality, directly influencing its metabolic activities (Wallis *et al.*, 2000).

Chemical components and their amount in the seed directly influence also the seed moisture; seeds with a high content of proteins and amino acids can reach high values of moisture content, otherwise seeds with high fat content values present low moisture content, even if both types of seeds are stored under the same environmental condition (Melo and Cuamatzi, 2008). Furthermore, when lipids are the most important food reserve within a seed (Baud and Lepiniec, 2010), the same it is defined “oilseed”. In this kind of seeds, the lipid content significantly interacts with the moisture content, due to the higher oil content lesser water can be absorbed than in other kind of seeds, as i.e. in Cereals, even at the same RH (Matthaus *et al.*, 2003).

To date, necessary information of optimal storage conditions of *C. boissieri* seeds are lacking, and consequently to protect short, medium and long term storage is advisable knowing them.

The aim of this study was to determine the effect of storage in some physiological parameters of *C. boissieri* seeds, analysing the relationship among the moisture content, germination and chemical composition of seeds through different storage conditions of RH and temperature.

MATERIALS AND METHODS

Plant Material

C. boissieri seeds have been collected in 2016, from natural populations, in the town of San José Cloete, municipality of Sabinas, Coahuila, located in Northeast Mexico. Fruits were harvested from 35 healthy adult trees, with no visible damage or deformation, far away 20 meters each from others, collected at the appropriate physiological maturity.

Seed storage

The study was conducted at the Laboratory of Grain and Seed Storage Training Center and Technology Development Seed (CCDTS) at the University Autonoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), located in Coahuila, Mexico. The seeds were stored for 90 days, in 12 different environments resulting from the combination of three temperatures (5, 15 and 30 °C) and four levels of RH (60, 75, 80 and 85%). These RH were obtained artificially using supersaturated solutions with Glucose (60%), Sodium chloride (75%) Ammonium sulphate (80%) and Potassium chloride (85%), according to Winston and Bates (1960).

For creating each different storage environment, the experimental units were placed upon perforated mesh poured in plastic chambers, sealed subsequently with tape, so that solutions could acted properly, the units (4 replicates of 25 seeds) were evaluated at 0, 15, 30, 60 and 90 days.

Moisture and Germination test

The stored seeds were subjected to a moisture test, using aluminium containers and a drying oven at temperature of 103 °C for 17 h (ISTA, 2004). Germination test was carried out placing 4 replicates of 25 seeds in plastic containers (20 x 15 x 5 cm) with sterile peat

moss as substrate. The seeds were randomly distributed on the surface previously wetted and were poured in a germinating chamber Seed Bureau under controlled conditions of RH (80%), temperature (22 ± 2.5 °C), and light (12 h light/24 h). Irrigation was applied every other day with tap water, so that the substrate had optimal moisture conditions for seed germination process. The final count was performed after 21 days.

Moisture and germination parameters were evaluated after storage of seeds: in particular, seed moisture content (SM). The normal seedlings (NS) were considered seedling with the hypocotyl growth and root four times longer than seed, the abnormal seedlings (AS) were all seedlings that not reaching the characteristics of normal seedlings and the dead seeds (DS) were considered seeds that after the germination period had necrotic and mouldy appearance.

Chemical composition of the seed

The basic chemical composition of the seed was detected through one compositional analysis obtaining contents of crude protein, ether extract (fat), ash, crude fibre, and carbohydrates, according to the international standardized procedure known as proximal analysis Weende (AOAC, 1997); these analyses were performed in the laboratory animal nutrition UAAAN.

The study was supported by statistical tools: the experimental design was factorial (factor A = time, B = RH and C = temperature), the arrangement of treatments completely randomized. Data were subjected to analysis of variance, and in presence of different results, comparison of means was performed with Tukey test ($P = 0.05$), through the statistical R Core Team (RCT, 2017).

RESULTS

Statistical analysis indicated significant differences ($\alpha < 0.01$) between different conditions and time of storage for the variables SM, NS, AS and DS.

Figure 1 shows seeds exposed to conditions of high RH (85%) reached 12.1% of moisture content, while in seeds exposed to RH lower (60%), the SM was 8.0%, showing statistical differences between low and high RH.

SM was influenced by the three different storage temperatures used, reaching 11.0% of moisture content in seeds stored at the lowest temperature (5 °C); the lowest moisture content (9.7%) was measured in seeds stored at 25 °C (Figure 2).

Figure 3 shows the increase of seed moisture content as time was passing. The lowest moisture content was detected at the beginning of the experiment (6.7%), the highest one was registered after 90 days of storage (11.7%); at the end of the storage period, it was measured an increase of 5.0% of SM. Besides, *anacahuita* seeds moisture content was in equilibrium with the storage environment after 15 days.

The percentage of NS appeared reduced already after 15 days of storage; there was a marked difference between 89.9% of NS evaluation at the starting time and 1.2% of NS after 90 days of storage (Figure 4).

The proportion of AS increased with respect to storage time, the highest percentage of them (11.5%) it was found after 60 days of storage (Figure 5). About DS, the highest percentage (96.0%) was found after 90 days of storage, the lowest one (1.75%) at starting time (Figure 6).

Figure 7 shows that in *anacahuita* seeds stored at RH 60%, the SM was low (6.6%), while in the environment with RH 85% and 25 °C SM raised to 14.4%.

In figure 8 is shown a decreasing pattern regarding the percentage of NS in different conditions: RH 85% and 25 °C showed worse storage respect as cold and dry conditions (5 °C and RH 60%).

The proportion of AS and DS were higher in high RH conditions (75 - 85%), with the combination of temperatures from 15 to 25°C (Figure 9 and 10).

In Table 1 is shown the results of bromatological analysis of *anacahuita* seed: the highest component is fibre (51.08%), essentially deriving from the woody seed coat; fat component (29.17%) corresponds to the storage tissue i.e. cotyledons, protein content is 12.29%, carbohydrate content and ash are very low (3.94 and 3.12%, respectively).

DISCUSSION

Socorro *et al.* (2007) considered that environmental factors directly affecting the SM are temperature and RH. Copeland and McDonald (2001) discussed these factors in contact with seeds tend to gain or lose moisture to reach what is known as equilibrium moisture content; in this study *C. boissieri* seeds reached equilibrium moisture content (11.3%) after 15 days of storage.

Ceballos and Lopez (2007) indicated that periods of high RH (75 - 90%), could cause increase of moisture in stored seeds, this was confirmed also in the present work, since the highest value of SM (12.17%) was achieved in storage conditions of RH 85%.

According to Martinez *et al.* (2010), the seeds are classified depending to their behaviour in storage as orthodox, intermediate or recalcitrant seeds. Herrera *et al.* (2006)

commented that orthodox seeds are desiccation tolerant and can be stored in dry state, keeping a high vigour and viability, from 6 months up to several decades if stored under cool, dry conditions with moisture contents of seeds below 12% (Kermode and Finch, 2002). Pasquini *et al.*, (2012) considered that recalcitrant seeds are those that remain sensitive to dehydration and can only be stored for short periods up to six months with high vigour and viability 90-96% and seed moisture content of 20%.

Anachauita seeds seem not to follow a recalcitrant behaviour, since they showed initial storage moisture content of 6.7% with a percentage of normal seedlings of 89.9%. At the same time, the behaviour of *C. boissieri* seeds in storage cannot be considered as orthodox as the moisture content of the seed and germination when stored under optimal conditions (5 °C and RH 60%) for 90 days was 10.6% with 12.5 % of NS. A paper by Cardozo *et al.* (2002) about orthodox seeds of *Phaseolus vulgaris* varieties *Caucayá* and *Sangretoro* showed that seeds maintained their quality (96% of normal seedlings) up to 32 weeks when stored with moisture contents of 12%.

For oilseeds and highly hygroscopic seeds, the oil content is an important factor determining the moisture content of the seed regarded as a hydrophobic element, seeds with high oil content tends to present a low moisture content (Pichardo *et al.*, 2010). A study by Vasco *et al.* (2017) in *Ricinus communis* reported that the maximum MS fluctuated between 4.49 and 5.75%, this seems to be similar with the data obtained in seeds of *C. boissieri*, since the values of the moisture content in the seed were between 6.7% at the beginning of the experiment and 11.9% after 90 days.

Other studies (Balešević *et al.*, 2005) have shown that the amount of water retained by stored oilseeds decreases as the content of fat and oil increase.

Autoxidation of lipids and increased content of free fatty acids during storage period are the main reasons for the rapid deterioration of oilseeds (Kibinza *et al.*, 2006).

The lipid peroxidation may be the most common cause of deterioration and loss of seed viability, as it is a factor leading to reduced lipid content in the seeds during storage, whereas the antioxidant enzymes are related to increased lipid peroxidation and the accelerated aging process (Sung, 1996).

In sunflower seeds, the high fat content shows that loss of seed vigour and then seed viability during accelerated aging is associated with a decrease in antioxidant enzyme potential of cells, which leads to lipid peroxidation (Kibinza *et al.*, 2006).

Ferguson *et al.* (1990) founded that in soybean genotypes initial germination it was 89.7%, but it decreased when the seeds were exposed to accelerated aging (i.e. high RH and temperature), supporting the findings of this study as germination percentage zeroed in seeds stored for 90 days at 25 °C and RH 85%.

The results obtained in this study indicate a relationship through the moisture content of the seed, germination and fat content; although the SM was low (12.17%) there was a reduction in germination, this probably due to the fact that the main biochemical components of the seed are fatty acids and, when oxidized, reserve substances decreased, causing a lower germination power.

The percentage of fats content found in *anacahuita* seeds, suggests it can be classified as short-living oleaginous species, as the storage behaviour is similar to this category of seeds.

Acknowledgments

Authors are grateful to the National Council of Science and Technology (CONACYT), for the grant granted, the Antonio Narro Autonomous Agrarian University and the Ministry of Environment of the State of Coahuila, Mexico, for the facilities granted in the realization of this study.

REFERENCES

- Alvarado, V., Rahim Foroughbakhch P, M.A., Jurado Y, E. and Rocha E, A. (2004) Caracterización morfológica y nutricional del fruto de anacahuita (*Cordia boissieri* A. DC.) en dos localidades del Noreste de México. *Revista Internacional de Botánica experimental ΦYTON*, 85–90.
- AOAC. (1997) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.
- Balesevic-Tubic, S., Malencic, Dj., Tatic, M. and Miladinovic, J. (2005) Influence of aging process on biochemical changes in sunflower seed. *Helia*, **28**, 107–114. <https://doi.org/10.2298/HEL0542107B>
- Batis Muñoz, A.I., Alcocer Silva, M.I., Gual Díaz, M., Sanchez Dirzo, C. and Vázquez Yanes, C. (1999) *Árboles Mexicanos Potencialmente Valiosos Para La Restauración Ecológica y La Reforestación*. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. J084, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Baud, S. and Lepiniec, L. (2010) Physiological and developmental regulation of seed oil production. *Progress in Lipid Research*, **49**, 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2010.01.001>
- Bradford, K.J. and Nonogaki, H. (2007) *Seed Development, Dormancy and Germination.*, 7th ed. Blackwell Publishing, Oxford.

- Cardozo, C.I., Lopez, Y. and Guevara, C. (2002) Estudio de deterioro de semilla en condiciones controladas de conservación. *ACTA AGRONÓMICA*, **51**, 89–101.
- Ceballos-Freire, Á.J. and López-Ríos, J.A. 2007. Conservación de la calidad de semillas forestales nativas en almacenamiento. 28.
- Copeland, O.L. and McDonald, M.B. (2001) *Principles of Seed Science and Technology*., 4th ed. Kluwer Press, New York.
- Davies, J., Poulsen, L., Schulte-Herbrüggen, B., Mackinnon, K., Crawhall, N., Henwood, W.D., Dudley, N., Smith, J. and Gudka, M. Conservación de la biodiversidad de las tierras áridas. 100.
- Delouche, J.C. (2002) Germination, seed deterioration and vigour. *Seed News*, 8.
- Doria, J. 2012. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. 12.
- Ferguson, J.M., TeKrony, D.M. and Egli, D.B. (1990) Cambios durante el deterioro temprano de semillas de soja y ejes: II. Lípidos. *Crop Science*, **30**, 179–182. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010039x>
- Fulbright, T.E. (1992) Temperature Effects on Seed Germination of *Cordia boissieri* A. DC. (Boraginaceae). *The Southwestern Naturalist*, **37**, 197. <https://doi.org/10.2307/3671669>
- González, J.M.P., Garay, Ó.J.A., Hernández, V.A.G., Flores, C.M., Salazar, J.A.C., Lomelí, A.P. and Paz, A.R. 2010 Calidad fisiológica, ácidos grasos y respiración en semillas de tomate de cáscara deterioradas artificialmente. 8.
- Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados-Victorino, R.L. and Borja-de la Rosa, A. (2011) Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, **XVII**, 111–130. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.102>

- Herrera, J., Lines, K. and Vásquez, W. 2000. Estudio de la germinación y la conservación de semillas de cedro maría (*Calophyllum brasiliense*). **19**, 12.
- International Seed Testing Association. (2004) International Rules for Seed Testing.
- Juárez, F.J., Huacuz, R.D., Carballo-Carballo, A., Estrada-Gómez, A., Vaquera-Huerta, H., Acosta-Gallegos, J.A. and Perches, M.A.Á. 2017. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad de semilla de canola* Effect of storage time on canola seed quality. 16.
- Kermode, A.R. and Finch-Savage, B.E. (2002) *Desiccation Sensitivity in Orthodox and Recalcitrant Seeds in Relation to Development*. Black, M. , Pritchard, HW, Oxon.
- Kibinza, S., Vinel, D., Côme, D., Bailly, C. and Corbineau, F. (2006) Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. *Physiologia Plantarum*, **128**, 496–506. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00771.x>
- Martinez, M., Conde, C.I.C. and Orozco, M.S.S. (2010) Respuesta fisiológica de semillas de tomate *Solanum lycopersicum* L. var. Unapal – Maravilla y pimentón *Capsicum annum* L.) var Unapal-Serrano en crioconservación. *ACTA AGRONÓMICA.*, 9.
- Matthäus, B. (2012) The new database *Seed Oil Fatty Acids* (SOFA). *Lipid Technology*, **24**, 230–234. <https://doi.org/10.1002/lite.201200227>
- Melo, R.V. and Cuamatzi, O.T. (2008) *Biochemistry of Metabolic Processes.*, 2nd ed. Reverté, Ciudad de México.
- Moreno, F. and Plaza, G.A. (2006) Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). 7.
- Muñoz, A.I.B., Silva, M.I.A. and Gual, M. 1999. Proyecto J-084 - CONABIO. 14.
- Murillo, E., Moreno, M.L. and Gutiérrez, H. (2004) Estudio del efecto hipoglicemiante de *Cordia alliodora* (nogal cafetero) en ratones tratados con aloxano. *Vitae*, **11**, 42–

48.

- Owis, A. and Abo-youssef, A. (2016) Efecto protector de *Cordia boissieri* A. DC. (Boraginaceae) sobre el síndrome metabólico. *J App Pharm Sci*, **6**, 083–089. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.60813>
- Owis, A.I., Abo-youssef, A.M. and Osman, A.H. (2017a) Leaves of *Cordia boissieri* A. DC. as a potential source of bioactive secondary metabolites for protection against metabolic syndrome-induced in rats. *Zeitschrift für Naturforschung C*, **72**, 107–118. <https://doi.org/10.1515/znc-2016-0073>
- Pasquini, S., Mizzau, M., Petrusa, E., Braidot, E., Patui, S., Gorian, F., Lambardi, M. and Vianello, A. (2012) Seed storage in polyethylene bags of a recalcitrant species (*Quercus ilex*): analysis of some bio-energetic and oxidative parameters. *Acta Physiologiae Plantarum*, **34**, 1963–1974. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-0996-9>
- Pérez-Camacho, I., Ayala-Garay, O., González-Hernández, V.A., Carrillo-Salazar, J.A., Peña-Lomelí, A. and García-de los Santos, G. (2008) Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas de tomate de cáscara. *AGROCIENCIA*, **42**, 891–901.
- Pichardo González, J.M., Ayala-Garay, O., González-Hernández, V.A., Flores-Ortiz, C.M., Carrillo-Salazar, J.A., Peña-Lomelí, A. and García-de los Santos, G. (2014D) Calidad fisiológica, ácidos grasos y respiración en semillas de tomate de cáscara deterioradas artificialmente. *Revista Fitotecnia Mexicana*, **33**, 231–238.
- R, C.T. (RCT). *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schuch, U.K., Davison, E. and Kelly, J. Seed Propagation of *Cordia boissieri* and *Cordia parvifolia*. 6.
- Socorro, A. and Hernández, E. Modelo para curvas isotérmicas de humedad de equilibrio en semillas de interés agrícola. 6.

- Somarriba, E., Valdivieso, R., Vásquez, W. and Galloway, G. (2001) [No title found]. *Agroforestry Systems*, **51**, 111–118. <https://doi.org/10.1023/A:1010699019745>
- Sung, J.M. (1996) Lipid peroxidation and peroxide-scavenging in soybean seeds during aging. *Physiologia Plantarum*, **97**, 85–89. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1996.tb00482.x>
- Vasco-Leal, J.F., Rios, I.H.-, Méndez-Gallegos, S. de J., Ventura-Ramos, E.J., Cuellar-Núñez, M.L. and Mosquera-Artamonov, J.D. Relation between the chemical composition of the seed and oil quality of twelve accessions of *Ricinus communis* L. 14.
- Wallis, J., Shockey, J. and Browse, J. (2000) *Seed Oils and Their Metabolic Engineering*. In: *Seed Technology and Its Biological Basis*. Sheffield Academic Press.
- Walters, C. (2015) Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. *Planta*, **242**, 397–406. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2312-6>
- Winston, P.W. and Bates, D.H. (1960) Saturated Solutions For the Control of Humidity in Biological Research. *Ecology*, **41**, 232–237. <https://doi.org/10.2307/1931961>

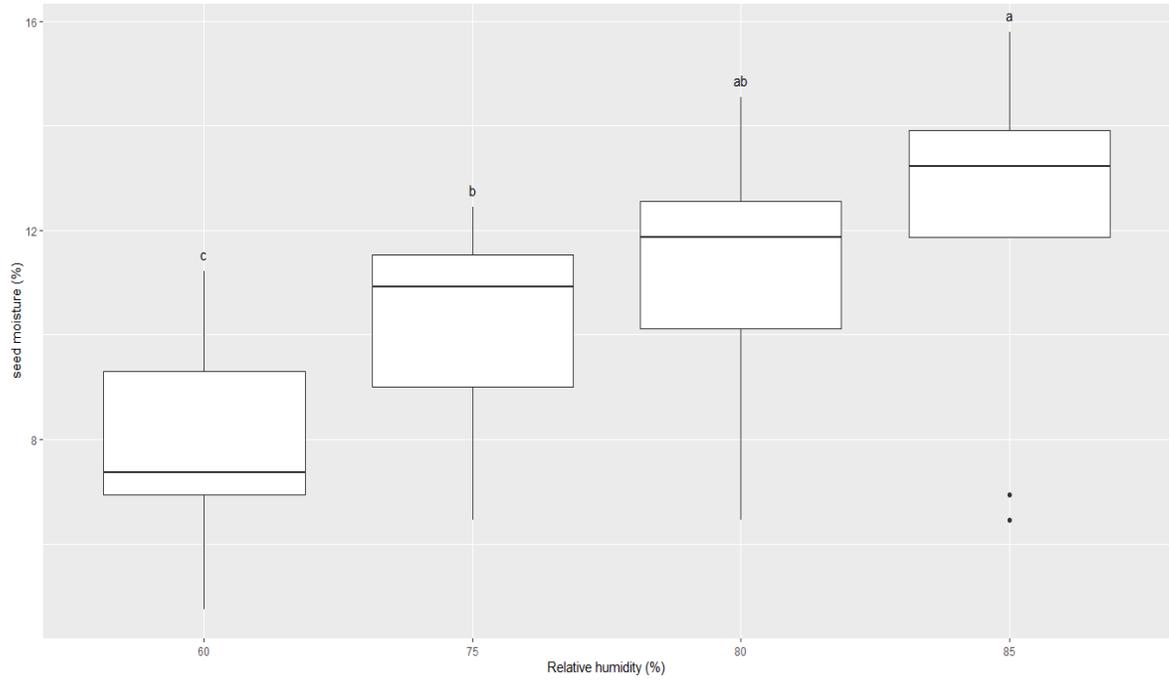


Figure 1. Moisture content of the seed (SM) of *C. boissieri*, stored under different relative humidities, means followed by the same letter indicate that not differ in comparison Tukey test at $P < 0.05$.

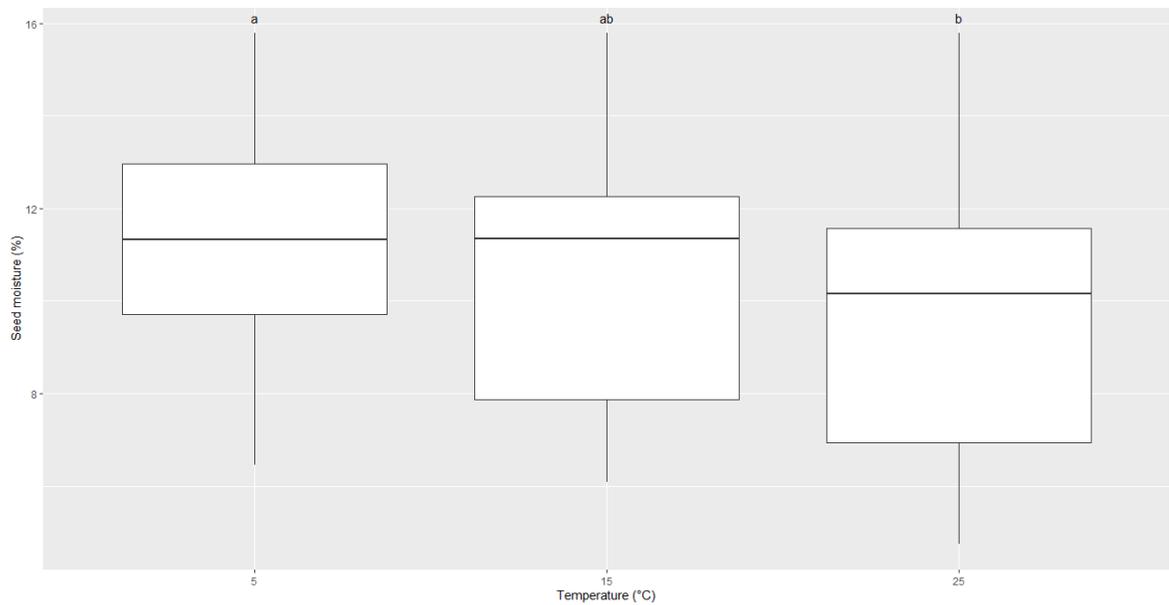


Figure 2. Moisture content of the seed (SM) of *C. boissieri*. Stored under three temperatures. * Means followed by the same letter indicate which do not differ in the comparison test of Tukey at $P < 0.05$.

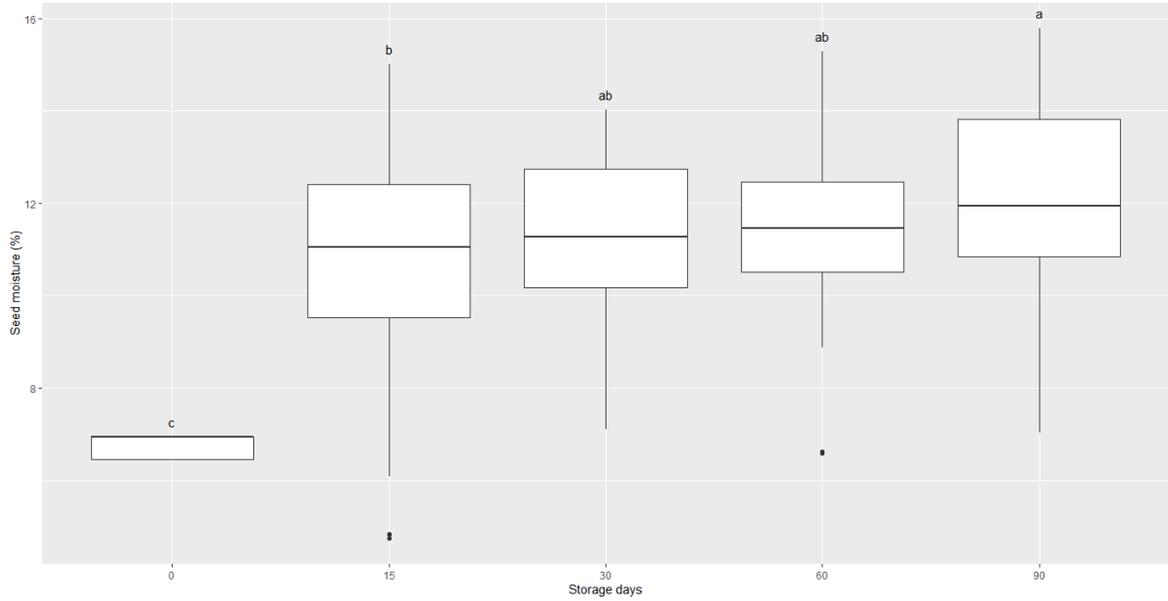


Figure 3. Moisture content of the seed (SM) *C. boissieri* for 90 days storage. * Means followed by the same letter indicate which do not differ by Tukey comparison test at $P < 0.05$

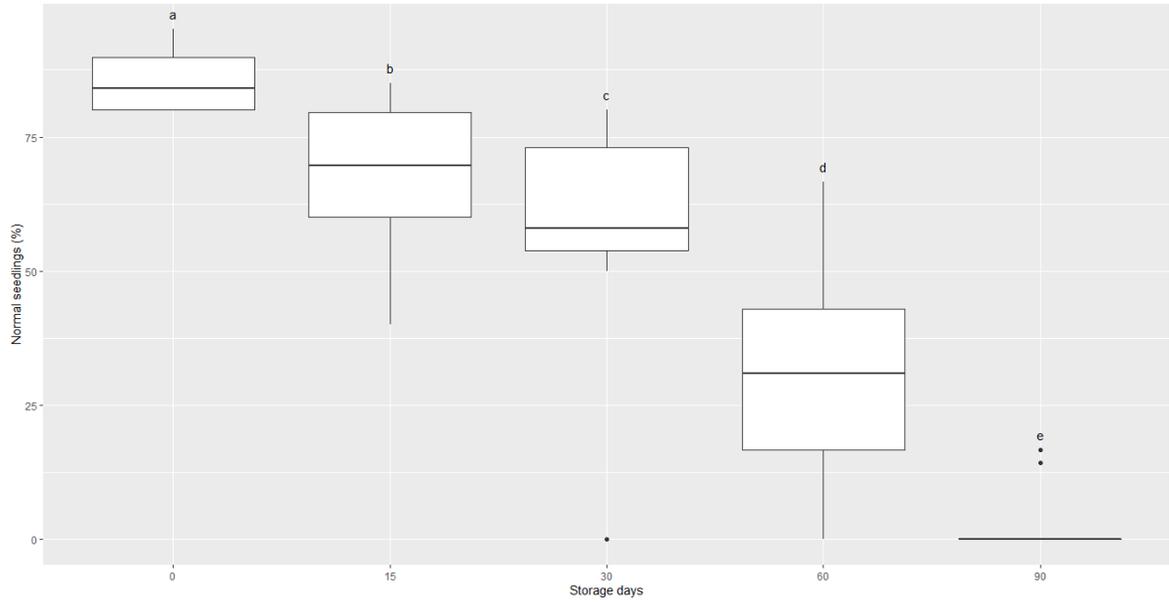


Figure 4. Percentage of normal seedlings (NS) *C. boissieri* C. for 90 days storage. * Means followed by the same letter indicate which do not differ in the comparison test of Tukey at $P < 0.05$.

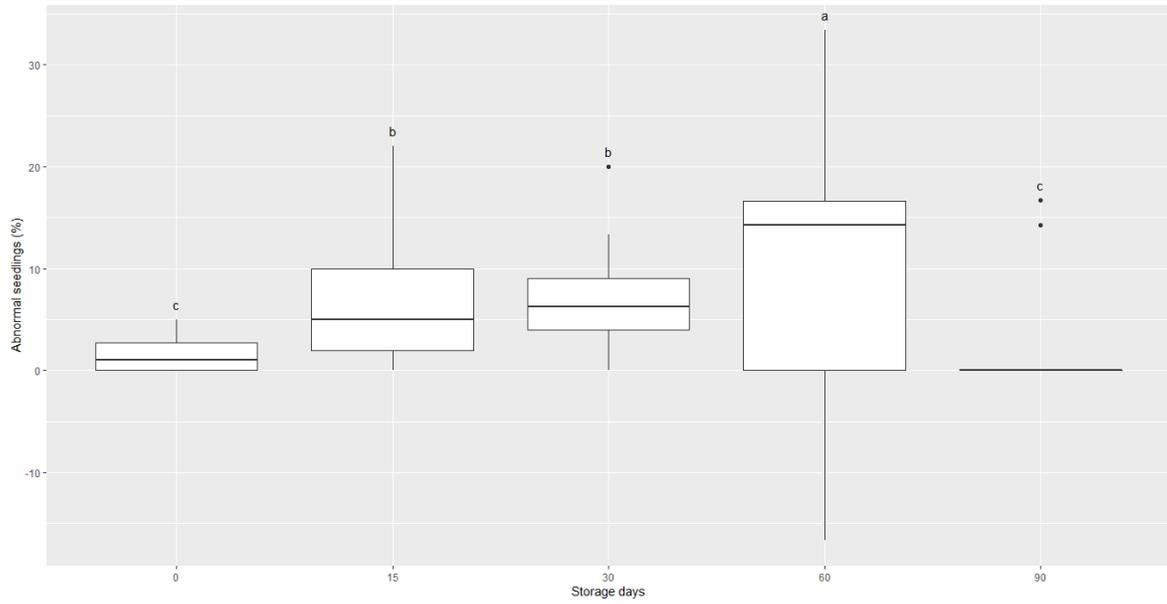


Figure 5. Percentage of abnormal seedlings (AS) *C. boissieri* C. for 90 days storage. * Means followed by the same letter indicate which do not differ in the comparison test of Tukey at $P < 0.05$.

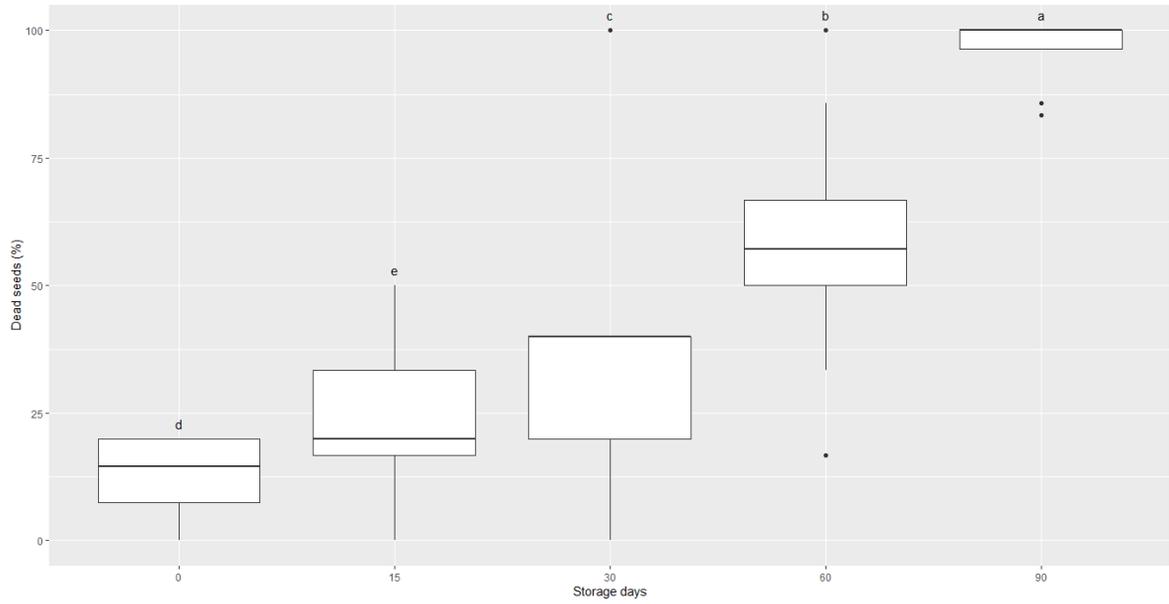


Figure 6. Percentage dead seeds (DS) *C. boissieri* for 90 days storage. * Means followed by the same letter indicate which do not differ in the comparison test of Tukey at $P < 0.05$.

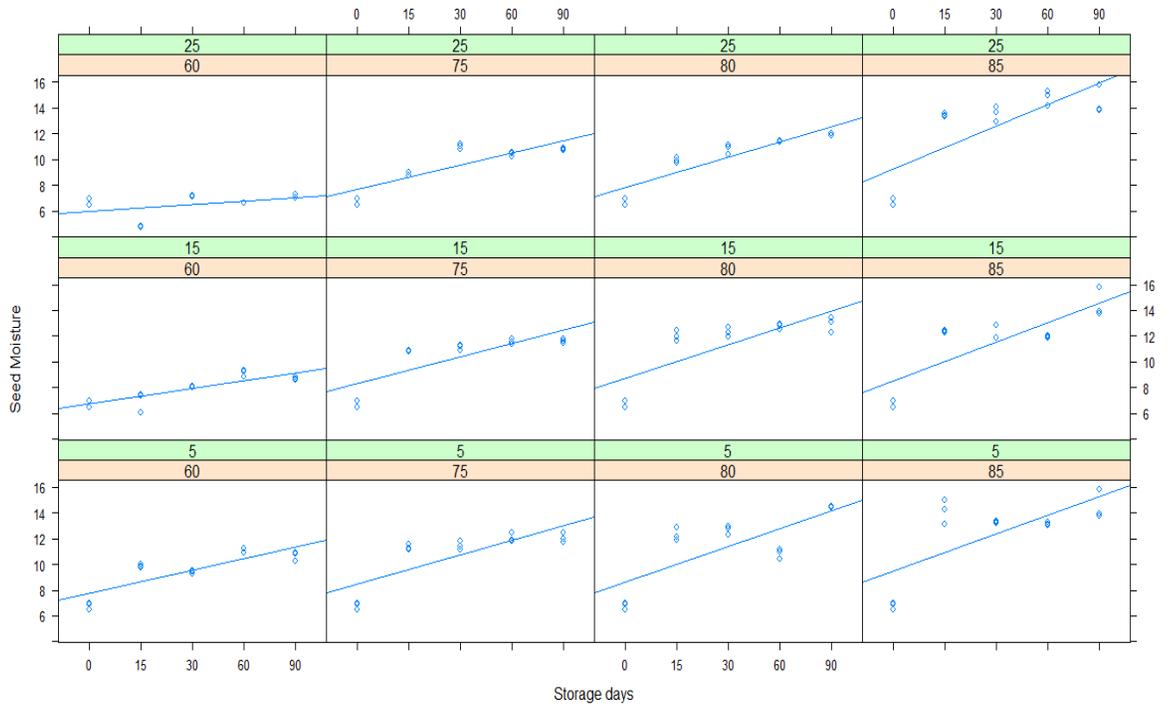


Figure 7. Percentage of seed moisture (SM) *C. boissieri*, relative humidity stored at four (60, 75, 80, 85%) and three temperatures (5, 15, 25 °C), for 90 storage days.

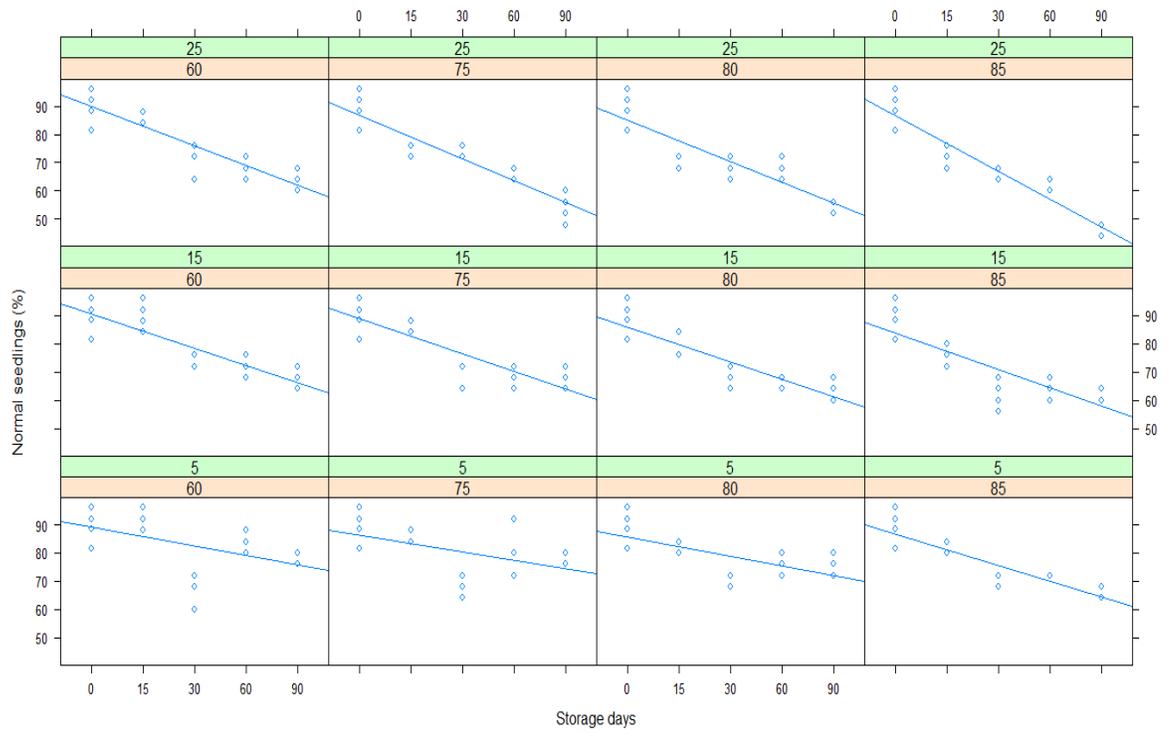


Figure 8. Percentage of normal seedlings (NS) *C. boissieri*, relative humidity stored at four (60, 75, 80, 85%) and three temperatures (5, 15, 25 °C), for 90 storage days.

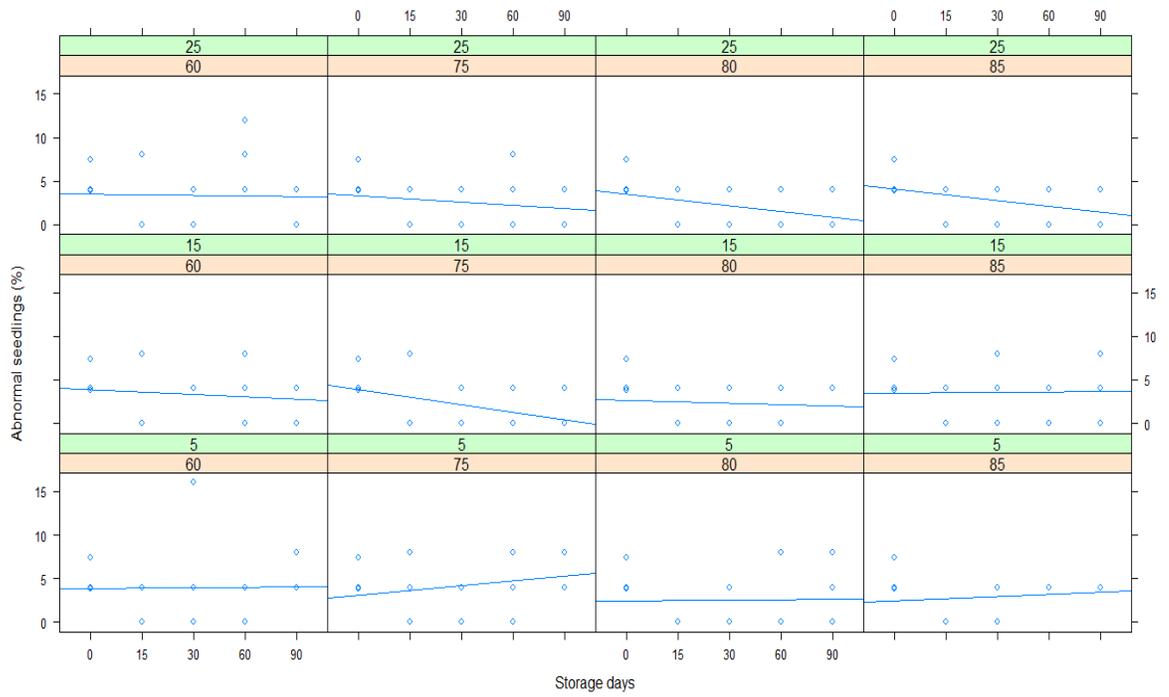


Figure 9 Percent of abnormal seedlings (AS) of *C. boissieri*, relative humidity stored at four (60, 75, 80, 85%) and three temperatures (5, 15, 25 °C), for 90 storage days.

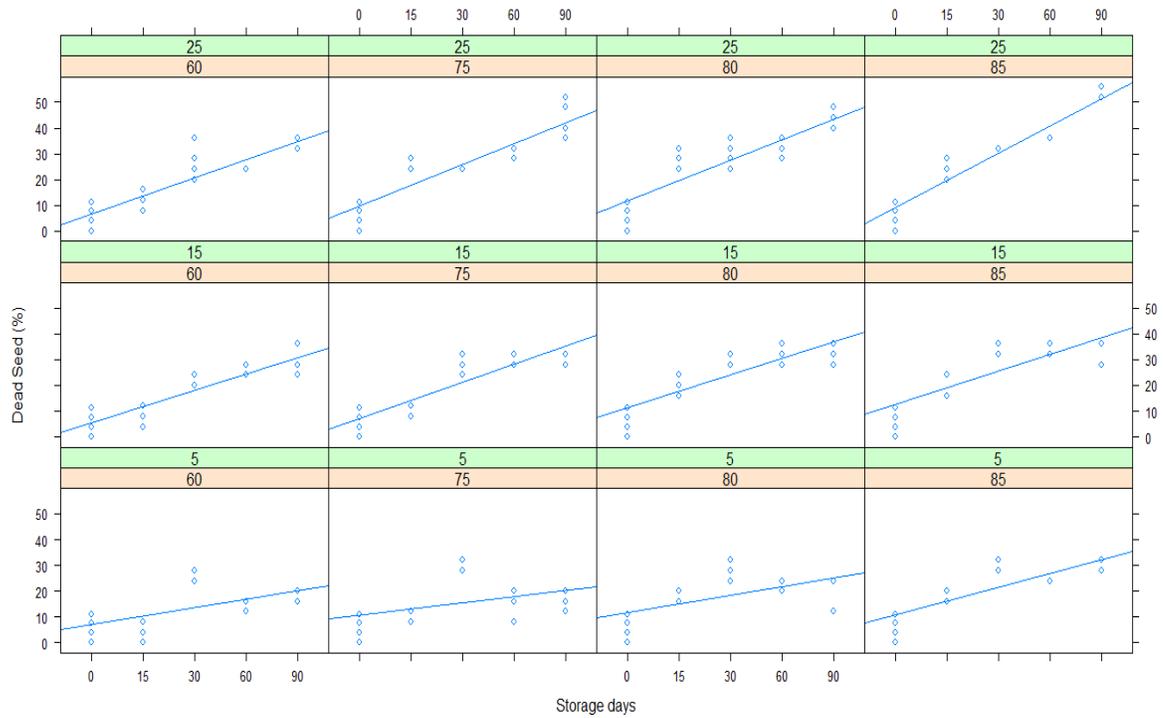


Figure 10. Percentage of dead seeds (DS) *C. boissieri*, relative humidity stored at four (60, 75, 80, 85%) and three temperatures (5, 15, 25 °C), for 90 storage days.

Table 1. Results of chemical composition seed *C. boissieri*

Component	Content (%)
Ash	3.12
Protein	12.29
Ethereal extract (fat)	29.17
Fiber	51.08
carbohydrates	3.94

CONCLUSIONES GENERALES

La humedad de equilibrio en semillas de especies de zonas áridas y semiáridas se debe principalmente a las condiciones almacenamiento y los factores que influyen son la humedad relativa y temperatura siendo éstos los más útiles para realizar una predicción.

Para especies de zonas áridas y semiáridas las condiciones de almacenamiento con ambientes de alta humedad relativa y temperatura ocasionan una humedad de equilibrio alta, presentando una correlación negativa con la calidad fisiológica de las semillas.

La composición química de la semilla está fuertemente relacionada con la capacidad de almacenamiento y el equilibrio higroscópico en especies de zonas áridas, afectando su longevidad.

REFERENCIAS

- Aguilar, C., E. Martínez, y L. Arriaga. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas qué tan grave es el problema en México. *Biodiversitas*, 30:7-11.
- Aguirre, R. 1990. Efecto de la humedad en el almacenamiento hermético a corto plazo de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomía Mesoamericana*, 1:35-44.
- Alzugaray, C., Carnevale, N., Salinas, A. y Pioli, R. 2007. Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl. *Revista Iberoamericana de Micología*, 24:142-147.
- Berjak, P y Pammenter N. W. 2007. Review from *Avicennia* to *Zizania*; Seed Recalcitrance in Perspective. *Annals of Botany* 101: 213–228. Doi:10.1093/aob/mcm168
- Benítez, G., Ma., T. P., Pulido, S. y Equiha, M. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología, A.C, SIGOLFO, CONAFOR. Xalapa, Veracruz, México. 288 pp.
- Buenrostro, R. R.; Jiménez, V.V. y Martínez, M.E. 2016. Efecto de la germinación de semillas de chía (*Salvia hispánica* L.) sobre su calidad nutrimental. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2):7-12.
- Cano, A., Zabala, J., Orozco, A., Valverde, M., y Pérez, P. 2012. Composición y abundancia del banco de semillas en una región semiárida del trópico mexicano: patrones de variación espacial y temporal. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83:437-446.
- Cardozo, C. I., López, Y. y Guevara, C. 2002. Estudio de deterioro de semilla en condiciones controladas de conservación. *Acta Agronómica Palmira*, 51:89-101.
- Carrillo-Salazar, J.A., J.M. Pichardo-González, O.J. Ayala-Garay, V.A. González-Hernández y A. Pena-Lomelí. 2011. Adaptación de un modelo de deterioro a semillas de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34:53-61.

- Ceballos, F.A.J. y López, R.J.A. 2007. Conservación de la calidad de semillas forestales nativas en almacenamiento. *Cenicafé*, 58(4):265-292.
- Cervantes R., M. 2003. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. *Temas Selectos de Geografía de México. I. Textos Monográficos. 5. Economía. Instituto de Geografía, UNAM.* 153 pp.
- Cervantes, S. M. A. y Sotelo M. E. 2002. Guías técnicas para la propagación sexual de 10 especies latifoliadas de selva baja caducifolia en el estado de Morelos. Publicación especial No. 30 SAGARPA-INIFAP. Centro de investigación Regional del Centro. Campo Experimental Zacatepec. Morelos. México. 35 p.
- Chaves, A., Mugredgei, A., Fassola, H., Alegranza, D. y Fernández, R. 1999. Conservación refrigerada de semillas de *Araucaria angustifolia*. *Bosque*, 20:117-124
- Chien, C.T., y Lin, P. 1997. Effects of harvest date on the storability of desiccation-sensitive seeds of *Machilus kusanoi* Hay. *Seed Science and Technology* 25:361-371.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017. Base de datos de la Coordinación General de Conservación y Restauración. Informe anual de análisis de calidad de semillas Gerencia Nacional de Reforestación. Acceso a la información pública IFAI. <http://www.ifai.org.mx/>
- Copeland, O. L. and M. B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. 4th ed. Kluwer Press. New York. 409 p.
- Drew, P.J., Pammenter, N. W., y Berjak, P. 2000. "Sub-imbibed" storage is not an option for extending longevity of recalcitrant seeds of the tropical species, *Trichilia dregeana*. *Seed Science Research* 10: 355-363.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1):74-85.

- FAO- FLD- Bioersivity International. 2007. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. ***En:*** plantaciones y bancos de germoplasma (*ex situ*). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. 3(6):51-65.
- FAO-CONAFOR. 2012. Situación de los Recursos Genéticos Forestales en México. Informe Final del Proyecto TCP/MEX/3301/MEX (4) .282 pp.
ISBN 978-92-5-307275-0
- García, B. B. 2004. Guía para la Recolección, Procesamiento, Almacenamiento y Análisis de Semillas Forestales. Centro de Investigación Agrícola Tropical. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 45p.
- García, F. P. 2001. Bases Ecológicas para la Recolección, Almacenamiento y Germinación de Semillas de Especies de Uso Forestal de la Comunidad Valenciana. Banc Llavors Forestals (Conselleria de Medi Ambient, Generalitat Valenciana). Valencia, España. 82 p.
- García, D.C. Y., P. J. M. Ramos, y Z. J. Becerra. 2011. Semillas Forestales Nativas para la Restauración Ecológica. CONABIO. Biodiversitas, 94:12-15.
- García, M. E. y Flores, F. J. 1996. Aprovechamiento de plantas silvestres de zonas áridas de México desierto y pastizal. Revista de geografía agrícola, 1:22-23
- Granados, S. D.; López, R. G. F., y Gama, F. J. L. 1998. Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 4(1):169-178.
- Granados S. D., Sánchez, A., Granados, V. R. L. y Borja, D. L. R., A. 2011 Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 17:111-130.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.102>
- Gómez, T.J., Jasso, M. J.J., Vargas, H.J.J. y Hernández, M.R.S. 2006. Deterioro de semilla de dos procedencias de *Swietenia macrophylla* King., bajo distintos métodos de almacenamiento. Ra Ximhai 2(1): 223-239.

- González, M. F. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México. 173 pp. ISBN 978-607-7908-69-2
- González, J.D., Fernández, B.B. y Carreño, F.S. 2012. Influencia de diferentes métodos de conservación en la germinación de palma areca (*Dypsis lutescens*, H. Wendel). Cultivos Tropicales, 33:56-60.
- Gutiérrez, B. y Koch, L. 2015. Conservación de germoplasma *Ex situ*: Protocolos y estrategias para la mantención de un Banco *In vitro*. Ciencia e Investigación Forestal INFOR. Chile. 21(1): 69-82.
- Harrington, J. F. 1972. Seed storage longevity. *In*: Seed Biology, 3:145–245, Kozlowski T T (Ed). Academic Press, New York.
- Harrington, J. F. 1973. Problems of seed storage. In Hey decker. W. Seed ecology. Butterworthand Co. Ltd. England pp: 251-263.
- Herrera, Q. y Alizaga, L. 2009. Efectos de las condiciones de almacenamiento sobre la germinación de dos patrones de cítricos. Tecnología en marcha, 22(3):17-24.
- Hong, T.D. y Ellis, R.H. 1996. Protocolo para determinar el comportamiento de las semillas en almacenamiento. Roma: IPGRI. 85 p. (Boletín Técnico No. 1).
- Jara, N. L. F. 1997. Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 139 p.
- Jaramillo, A., Martínez, M., Cardozo, C. y Burgos, J. 2012. Determinación de condiciones controladas de almacenamiento seguro para semillas de porta injertos de lima ácida “Tahití”. Revista Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 13(2):151-158.
- Joachim, G. 2004. Industrias extractivas en zonas áridas y semiáridas planificación y gestión ambiental. Traducido por José M. Blanch y Delmar Blasco. UICN: Gland, Suiza, y Cambridge, Reino Unido. 112 p.
- Magnitskiy S.V. y Plaza, G.A. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. Agronomía Colombiana, 25:96-103.

- Márquez, J., Alba, L. J., Mendizábal, H. L. C., Ramírez, G. E. O. y Cruz, J. H. 2010. La fenología reproductiva y el manejo de los recursos forestales. *Foresta Veracruzana*, 12(2):35-38.
- Martínez, S. M. 2013. Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México. Aldama, Chihuahua, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrarias y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Norte-Centro, Sitio Experimental La Campana. 230 pp. Libro Técnico Núm. 05.
- Mata, I. D., Moreno, C. P. 2005. Effect of in situ storage, light, and moisture on the germination of two wetland tropical trees. *Aquatic Botany*, 83:206-218
- Moinelo, L. M. I., Morejón, M.C.Y., y Domínguez, C. G. 2018. Metodología para evaluar la calidad termodinámica y agronómica del proceso de secado solar de semillas. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(3):60-66, ISSN-2306-1545.
- Moreno, M. E.; Vázquez, B. M. E. y Facio, P. F. 2000. La temperatura en relación con la longevidad de semillas de maíz almacenadas con baja humedad. *Agrociencia*, 34(2):175-180.
- Navarro, M. 2003. Desempeño fisiológico de las semillas de árboles leguminosos de uso múltiple en el trópico. *Pastos y Forrajes*, 26 (2):97-114.
- Ochoa, G. S., Pérez, I. y Jong B. H. J. 2008. Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 56:657-673.
- Pérez, G. F. y Pita, V. J. 2001. Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Editorial Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. ISBN: 84-491-0503-X. 16 p.
- Pichardo-González, J. M., O. J. Ayala-Garay, V. A. González-Hernández, C. M. Flores-Ortiz, J. A. Carrillo-Salazar, A. Peña-Lomelí, A. Robledo-Paz y G. García-de los Santos. 2008. Calidad fisiológica, ácidos grasos y respiración en semillas de

- tomate de cáscara deterioradas artificialmente. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33:231-238.
- Pritchard, H. W., Tompsett, P. B., Manger, K., y Smidt, W. J. 1995. The effect of moisture content on the low temperature responses of *Araucaria hunsteinii* seed and embryos. *Annals of Botany* 76: 79–88.
- Rangel, F. Ma. A., Córdova, T. L., López, A. A., Delgado, A. A., Zavaleta, M. H. A. Y Villegas, M. A. 2011. Tolerancia a la desecación en semillas de tres orígenes genéticos de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34 (3): 175 – 182.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Sánchez, M. P, S. H. Gurusinghe, K. J. Bradford, and J. M. Vázquez-Ramos. 2005 Differential response of PCNA and Cdk-A proteins and associated kinase activities to benzyladenine and abscisic acid during maize seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 56:515-523.
- Sánchez, G. A. y Granados, S. D. 2003. Ordenación de la vegetación de la Sierra Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de gradientes ambientales. *Revista Terra*, 21(3): 311-319.
- Siripatrawan, U. and Jantawat, P. 2006. Determination of moisture sorption isotherms of jasmine rice crackers using BET and GAB models. *Food Science and Technology International*, 12:459-464.
- Socorro A, E., Hernández, S., Calderón y H. Penichet. 2007. Modelo para curvas isotérmicas de humedad de equilibrio en semillas de interés agrícola. *Revista de Cuba de Física*, 24:138-143.
- Sunilkumar, K.K., Sudhakara, K. 1998. Effect of temperature, media and fungicides on the storage behavior of *Hopea parviflora* seeds. *Seed Science and Technology* 26: 781-797.

- Trujillo, E. 2001. Almacenamiento de semillas forestales: principios y procedimiento. En: Recolección y procesamiento de semillas forestales. Serie técnica, 34:21-32.
- Ugalde, A. J., Granados, S. D., Sánchez y G. A. 2008. Sucesión en el matorral desértico de *Larrea tridentata* (DC.) Cov. En la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. Terra Latinoamericana 26:153- 160.
- Valiente, A. 1996. La conservación de los desiertos: un desafío. Ocelot. Revista mexicana de la conservación PRONATURA, 48:34–37.
- Vega, V.G., Lara, A. E. y Lemus, M. R. 2006. Isotermas de Adsorción en Harina de Maíz (*Zea mays* L.). Ciencia y Tecnología de Alimentos Campinas, 26(4): 821-827.
- Vicente, C. J., Carbonero, P. 2005. Seed maturation: developing an intrusive phase to accomplish a quiescent state. International Journal of Developmental Biology 49: 645-651.
- Villarreal, Q. J. Á. y Encina, D. J. A. 2005. Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. Acta Botánica Mexicana, 70:1-46.
- Villasana, A. R. A. y Suárez, A. 1997. Estudio fenológico de dieciséis especies forestales presentes en la reserva forestal Imataca estado de Bolívar-Venezuela. Revista Forestal Venezolana, 41:13-21.
- Wang, B. y Beardmore, T., 2004. Almacenamiento y manejo de germoplasma. En: Vargas, J.; Bermejo, B. y Ledig, T. (Eds.). 2004. Manejo de Recursos Genéticos Forestales, Segunda Edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco México. 109 p. Capítulo 8, pp: 102- 12.
- Wesley, S. J., Walters, C., Pammenter, N. W. y Berjak, P. 2001. Interactions of water content, rapid (non-equilibrium) cooling to-196°C and survival of embryonic axes of *Aesculus hippocastanum* L. seeds. Cryobiology 42:196-206.
- Wesley, S. J., Vertucci, C. W., Berjak, P., Pammenter, N. W. y Crane, J. 1992. Cryopreservation of desiccation-sensitive axes of *Camellia sinensis* in relation to

dehydration, freezing rate and the thermal properties of tissue water. *Journal Plant Physiology*, 140:596- 604.

Wightman, K. E. y Cruz, B. S. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana*, 5(1):45-51.

William, R. L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales: con especial referencia a los trópicos. ROMA: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. Consulta: 3 marzo 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ad232s/ad232s00.htm>

Zapata, J.E., Quintero, O.A. y Porras, L.D. 2015. Isotermas desorciones para avena (*Avena sativa*) en grano. *Revista Agronómica*, 23(1):82-92.