



EL ENVEJECIMIENTO ACELERADO AFECTA LA CALIDAD FISIOLÓGICA Y BIOQUÍMICA DE LA SEMILLA DE *Jatropha curcas* †

[ACCELERATED AGING AFFECTS THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL QUALITY OF THE SEED OF *Jatropha curcas*]

Alonso Méndez-López^{1,2*}, Leobigildo Córdoba-Téllez¹
and Miriam Sánchez-Vega³

¹Colegio de Postgraduados, Producción de Semillas, Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, 56230, México. E-mail: alonso.mendez@uaaan.edu.mx, lcordova@colpos.mx

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Botánica. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, CP. 25315, México.

³Cátedras CONACYT-UAAAN. Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, CP. 25315, México. msanchezv@conacyt.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. The *Jatropha curcas* species can be reproduced asexually by stakes, grafting and meristem cultivation, however, the main way to establish plantations is by means of botanical seed of high physiological quality that will ensure the germination and development of vigorous plants. **Objective.** To evaluate the variations in physiological and biochemical quality in stored seeds of *J. curcas* caused by accelerated aging deterioration method in different periods of exposure time. **Methodology.** Seeds with 75 days of storage were subjected to aging periods of 96, 72, 48 and 24 h at 40 ± 1 °C and 100 % relative humidity. Treated seeds were measured by germination percentage (PG), electrical conductivity (EC), protein content (CProt), fatty acids (CLip), peroxidation (IP). The lowest germination loss was obtained at 18 days in seeds with 24 h of treatment (93 %), and with 96 h they did not germinate (0 %). The EC identified progressive cell deterioration during the imbibition process (after six hours). The IP rose due to the moisture gain in the seed during the treatment period. The CProt and CLip had minimal variation. **Conclusion.** The physiological and biochemical quality of the *Jatropha curcas* seed showed serious variations with exposure to different periods of accelerated aging; It can withstand up to 72 hours of aging at 40 ± 1 °C and 100 % relative humidity before losing its viability.

Keywords: seed quality; *Jatropha curcas*; peroxidation; electrical conductivity.

RESUMEN

Antecedentes. La especie *Jatropha curcas* puede reproducirse de forma asexual por estacas, injerto y cultivo de meristemas, sin embargo, la principal manera de establecer plantaciones es mediante semilla botánica de alta calidad fisiológica que asegure la germinación y desarrollo de plantas vigorosas. **Objetivo.** Evaluar las variaciones en la calidad fisiológica y bioquímica en semillas almacenadas de *J. curcas* provocadas con el método de deterioro por envejecimiento acelerado en diferentes periodos de tiempo de exposición. **Metodología.** Las semillas con 75 días de almacenamiento fueron sometidas a periodos de envejecimiento de 96, 72, 48 y 24 h a 40 ± 1 °C y 100 % de humedad relativa. A las semillas tratadas se les midió el porcentaje de germinación (PG), conductividad eléctrica (CE), contenido proteínico (CProt), ácidos grasos (CLip), peroxidación (IP). **Resultados.** La menor pérdida de germinación se obtuvo a los 18 días en semillas con 24 h de tratamiento (93 %), y con 96 h no germinaron (0 %). La CE identificó el deterioro celular progresivo durante el proceso de imbibición (después de seis horas). El IP se elevó debido a la ganancia de humedad en la semilla durante el periodo de tratamiento. Los CProt y CLip tuvieron variación mínima. **Conclusiones.** La calidad fisiológica y bioquímica de la semilla de *Jatropha curcas* mostró graves variaciones con la exposición a diferentes periodos de envejecimiento acelerado; misma que puede soportar hasta 72 horas de envejecimiento a 40 ± 1 °C y 100% de humedad relativa antes de perder su viabilidad.

Palabras clave: calidad de la semilla; *Jatropha curcas*; peroxidación; conductividad eléctrica.

† Submitted July 29, 2019 – Accepted January 9, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License. ISSN: 1870-0462.

INTRODUCCIÓN

El piñón (*Jatropha curcas* L.) se categoriza en el grupo de plantas conocidas como oleaginosas, debido a su capacidad para producir aceite, característica por la que es una planta ampliamente estudiada; sin embargo, aún existe vacío en el conocimiento relacionado a sus características agronómicas principalmente relacionadas con la producción y calidad de semilla o grano para este fin. La principal manera de establecer plantaciones es mediante semilla botánica, misma que debe ser de alta calidad fisiológica para asegurar la germinación y el desarrollo de plantas vigorosas (Zavala-Hernández *et al.*, 2015). Su alto contenido de aceite provoca la pérdida rápida del poder germinativo de la simiente, motivo por el que no se debe almacenar por tiempo prolongado después de haber sido cosechada, afín de evitar que entre en estado de latencia (Asturias, 2016). La calidad de la semilla comprende aspectos genéticos, fitosanitarios, físicos y fisiológicos; además, pueden definirse atributos inherentes que determinan su potencial de germinación y sus características de crecimiento; investigaciones realizadas en calidad de semillas de *Jatropha* muestran variaciones en el contenido de aceite de las semillas entre 27.75 % y 40 % (Berchmans e Hirata, 2008; Pedraza-Sánchez y Cayón-Salinas, 2010). El estudio de parámetros en el deterioro de semilla es un componente importante en la evaluación de la calidad fisiológica y bioquímica que puede contribuir a la solución de problemas en la industria de semillas de esta especie y su almacenamiento (Spinola, *et al.*, 2000).

Las semillas se consideran fisiológicamente maduras cuando alcanzan el máximo peso seco y esta etapa suele coincidir con la mayor germinación y vigor. A partir de este momento, se inicia un proceso de deterioro en la calidad de la semilla (Pukacka *et al.*, 2009). Los cambios pueden ser causados por factores físico natural, fisiológico o bioquímico, que se caracterizan por la reducción de la capacidad de germinación de las semillas (Spinola *et al.*, 2010).

Jatropha curcas puede propagarse en forma asexual o vegetativa (estacas, injerto y cultivo de meristemos); aunque, la propagación sexual por semillas es la más utilizada para el establecimiento de cultivos comerciales (Enciso-Garay *et al.*, 2013), debido a que las plantas que provienen de semillas son robustas y resistentes a la sequía, de mayor longevidad y con un sistema radical con mayor capacidad para explorar el suelo (Saturnino *et al.*, 2005). En *Jatropha curcas* es necesario que la semilla tenga buen vigor y calidad fisiológica que garantice alto poder germinativo, éstos parámetros se encuentran relacionados directamente con la forma en que se deteriora la semilla (principalmente por el alto contenido de aceites que contiene) y a su vez con la capacidad que tiene para emerger en

diversas condiciones de campo (Lozano-Isla *et al.*, 2017).

El deterioro en semillas es irreversible e inevitable y la velocidad del proceso se puede controlar con técnicas adecuadas de manejo en *Jatropha* como la recolección, secado y almacenamiento. Hay factores que se sabe que influyen en el progreso del deterioro durante el almacenamiento de la semilla, entre ellos, las altas temperaturas y la humedad (Pukacka *et al.*, 2009). Los cambios degenerativos internos ejercen también una gran influencia sobre el potencial de establecimiento de las semillas en campo, que se refleja posteriormente en el crecimiento y la productividad (Marcos, 2005), estos cambios no son tan evidentes en una prueba de germinación estándar, pero sí en alguna prueba de vigor, en la cual la semilla se somete a una o más condiciones adversas que le demandan el máximo potencial de expresión de crecimiento y desarrollo, y donde el deterioro se manifiesta con mayor claridad a través de diversos indicadores como el porcentaje de germinación, la tasa de respiración, el peso seco y longitud de la plántula, conductividad eléctrica y pérdida de viabilidad de las semillas (Salinas *et al.*, 2001).

Las pruebas de vigor pueden ayudar a obtener información sobre las alteraciones bioquímicas y actividad fisiológica, por lo que son más útiles en la toma de decisiones sobre el destino de un lote o muestra de semillas (Vanzolini y Nakagawa, 2005).

La prueba de envejecimiento acelerado de las semillas ha demostrado ser una herramienta eficiente para evaluar la calidad fisiológica, en cultivos bioenergéticos tal es el caso de *Jatropha*. Con esta prueba también se ha evaluado el vigor, maduración de la semilla, secado y almacenamiento; por lo que puede dar parámetros que pueden emplearse en el beneficio y almacenamiento de la semilla e incluso en su proceso industrial (Dias *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2014). Con el contexto anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar las variaciones en la calidad fisiológica y bioquímica en semillas almacenadas de *Jatropha curcas* provocadas con el método de deterioro por envejecimiento acelerado en diferentes periodos de tiempo de exposición.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el laboratorio de análisis de semillas del programa de Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México.

Se utilizaron semillas de *Jatropha curcas*, cosechadas el 18 de noviembre de 2016 de una plantación con tres años de edad; establecida en el

municipio de Mazatepec, Morelos, México. Para la cosecha de los frutos se consideraron los parámetros establecidos por Silva *et al.* (2011), frutos marrones con manchas amarillas, mismos que fueron transportados al laboratorio para la extracción, secado y acondicionamiento de la semilla, el almacenamiento fue con 6 % de contenido de humedad en bolsa de papel estraza durante 75 días a temperatura ambiente ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$). Después del almacenamiento y previo a someter las semillas a envejecer, se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio a [6 %] sumergidas por 5 min, posteriormente se enjuagaron con agua destilada. Para la prueba de envejecimiento acelerado (PEA) se empleó la metodología propuesta por Rincón y Molina (1990), que consiste en usar cajas de plástico de 12 x 12 x 5 cm con una malla de alambre en su interior, ubicada a 1.5 cm de altura sobre la que se distribuyeron 50 semillas. En las cajas se agregaron 100 mL de agua destilada sin mojar la semilla, luego se sellaron con cinta adhesiva y se introdujeron en una estufa a $40 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante diferentes periodos de tiempo (96, 72, 48 y 24 h). Las semillas tratadas se sometieron a diversas pruebas y determinaciones para medir la calidad fisiológica y bioquímica, las cuales se describen a continuación.

La prueba de germinación (PG) de las semillas envejecidas y testigo, se hizo de acuerdo con las recomendaciones generales para *Ricinus communis* L. (ISTA, 2005), ya que actualmente no existe guía para *Jatropha*. Se utilizó arena de río esterilizada como sustrato en cajas de plástico con tapa de 10 x 18 x 25 cm, en las que se sembraron 25 semillas por tratamiento, con cuatro repeticiones, distribuidas bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, se colocaron dentro de una cámara de germinación a temperatura entre 26 y 28 $^{\circ}\text{C}$. Los conteos de evaluación se realizaron a los 6, 12 y 18 días después de la siembra (dds) (ISTA, 2005), en la medición solo se consideraron plantas sanas y normales para el PG y el porcentaje de mortalidad (PM), solo para la última toma de datos (18 dds).

El contenido de humedad en la semilla (CHS), se determinó mediante el pesado de las muestras (10 semillas por tratamiento de envejecimiento acelerado y cuatro repeticiones), inmediatamente después de sacarlas del almacenamiento, se secaron a 103 $^{\circ}\text{C}$ en una estufa por un periodo de 17 h, el CHS se obtuvo con la ecuación propuesta por Bewley y Black (1994).

La prueba de conductividad eléctrica (CE) se realizó de acuerdo a lo propuesto por Pandey (1992) con modificaciones. En cada tratamiento se usaron cuatro repeticiones con 10 semillas escarificadas en su totalidad, estas se colocaron en un recipiente de vidrio y se agregaron 75 ml de agua desionizada a 25

$^{\circ}\text{C}$, la prueba se mantuvo por un periodo de 24 h. Las lecturas se tomaron con intervalos de tres horas con un equipo Oacton Waterproof Hand-Held PC 300, que reporta valores en micro-siemens por centímetro por gramo ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$).

La determinación del contenido proteínico (CProt) se realizó por el método de Kjendahl (AOAC, 2005), que consiste en cuantificar el nitrógeno total, ya que es el principal componente de las proteínas. La técnica involucra tres etapas: digestión, destilación, y titulación. Los resultados se expresan en porcentaje de proteína con base al contenido de nitrógeno.

El contenido de lípidos totales (CLip) se determinó mediante el método de extracción Soxhlet. Se tomó una muestra de 3 a 3.5 g de semillas maceradas, la cual se depositó en cartuchos de celulosa para colocarlos en el extractor de grasa, en un matraz balón desgrasado y con peso constante se le vertió 250 mL de éter de petróleo (40 a 60 $^{\circ}\text{C}$) en una relación de 1:20 (w/v) para el arrastre de grasa de la muestra durante seis horas, posteriormente se evaporó el exceso de éter de petróleo, se determinó el peso del matraz balón con la muestra. Los resultados se expresaron en porcentaje.

La determinación del índice de peróxidos (IP) se hizo de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-154-SCFI-2010 (Secretaría de Economía, 2011), para la definición del valor de peróxido en aceites esenciales y grasas. Este método se basa en la cuantificación yodométrica de los peróxidos orgánicos. Para ello, en un Matraz Erlenmeyer con tapón esmerilado, se pesaron tres gramos de muestra y se le agregaron 20 mL de disolución de ácido acético y cloroformo y un mililitro de disolución saturada de yoduro de potasio. Se tapó y agitó durante un minuto, posteriormente se dejó reposar por 15 min, se evitó la exposición a la luz de la muestra. Se agregaron 25 mL de agua destilada y se agitó para disolver el yodo. Se valoró con la disolución de tiosulfato de sodio 0.01 N, hasta obtener un ligero color amarillo en la fase acuosa. La titulación se realizó al agregar gotas de disolución de almidón hasta la desaparición del color azul en la fase acuosa. El resultado se expresó como índice de peróxido en mEq de oxígeno activo en 1000 g de grasa o aceite.

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico The SAS System for Windows V. 9.0., por medio de un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey con una confiabilidad del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza aplicado a los tratamientos de envejecimiento acelerado, arrojó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) para las variables PG12, PG18, PM, CE, IP y CHS; por otro lado, las

variables PG6 y CLip no presentaron significancia (Cuadro 1). Estos resultados ratifican que el periodo de exposición y el incremento de la humedad y la temperatura en condiciones de almacenamiento de la semilla de *J. curcas* demeritan su calidad fisiológica y bioquímica. En este sentido, el efecto estadístico significativo en las variables CE (2021.68) e IP (281.66), indican el detrimento de la simientes en esta especie; en el caso de CE, valores altos son indicativo de la liberación de exudados que contienen radicales libres que ocasionan daños en la membrana celular, al respecto Salinas *et al.* (2001) indican que la conductividad eléctrica es considerada una buena prueba de vigor para detectar indirectamente las alteraciones en las membranas citoplasmáticas ocasionada por la lixiviación de iones, en estadios tempranos del deterioro de las semillas. En cuanto al IP, este es un indicativo de la calidad del contenido de aceite en la semilla de *Jatropha*, ya que de acuerdo con Araiza *et al.* (2015), si el índice de peróxidos es elevado ($> 5 \text{ meq} \cdot \text{Kg}^{-1}$) repercute en la formación de polímeros de alto peso molecular en el aceite debido a la oxidación. Es de importancia considerar que el valor económico de esta especie se encuentra albergado en la calidad fisicoquímica de la semilla. González *et al.* (2014) mencionan que la pérdida de la calidad de semilla está relacionada directamente con el aumento en tiempo de envejecimiento acelerado, ya que disminuye el porcentaje de germinación y otras variables consideradas en plántula para medir vigor, como días a la germinación total, altura, peso fresco y seco.

Las diferencias encontradas entre los tratamientos de envejecimiento acelerado indican que la menor pérdida en el porcentaje de germinación se obtuvo a los 18 dds en todo los tratamientos (Cuadro 2); sin embargo, el periodo de 24 h de envejecimiento acelerado fue el que presentó el valor de germinación más alto (93 %), por lo que, la semilla no fue afectada en su calidad fisiológica, incluso superó al

testigo (sin envejecimiento) el cual obtuvo 85 %, está es una de las deficiencias en que radica la prueba de envejecimiento acelerado, ya que en función de la especie y para una misma temperatura, el aumento del periodo de exposición proporciona ganancias en los porcentajes del contenido de agua de la semilla, lo que conlleva la activación hormonal y con ello se promueve la germinación (Fontana *et al.*, 2016). Aunque los tratamientos 24, 48, 72 h y testigo fueron estadísticamente iguales, entre ellos se observaron variaciones en los valores, lo que indica que la semilla sufrió deterioro diferenciado en su calidad fisiológica por las condiciones ambientales a las que fueron sometidas, este resultado sugiere que la semilla de *J. curcas* con periodo corto de almacenamiento es capaz de soportar un periodo de 72 h de envejecimiento acelerado sin que su vigor se vea afectado drásticamente, después de este tiempo de exposición empieza a expresar un decremento en la calidad fisiológica la cual se vio seriamente afectada a las 96 h, al grado de llegar a la pérdida definitiva del vigor (0 % de germinación), el cual es evidente en la combinación de tiempo y condiciones ambientales adversas ($96 \text{ h a } 40 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 100 % de humedad relativa), como condiciones letales para la semilla (Cuadro 2).

Los resultados obtenidos son correspondientes con lo reportado por Kaewnaee *et al.* (2011), quienes mencionan que la germinación disminuye conforme aumenta la temperatura y el tiempo de exposición de las semillas a tratamientos de envejecimiento acelerado y se atribuye que al incrementar estos factores se aceleran los procesos fisiológicos de la semilla y aumenta el deterioro, en consecuencia una disminución del vigor. Otros resultados similares reportan Oliveira *et al.* (2014), quienes al aplicar envejecimiento acelerado a $45 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 96 h provocó un deterioro excesivo de las semillas de *Jatropha* de todos los lotes analizados, lo que dificultó la detección del nivel real de vigor (Rocha *et al.*, 2007; Lopes *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Cuadrados medios del ANOVA de periodos de envejecimiento acelerado en semillas de piñón (*Jatropha curcas*).

Variable	PEA	R ²	CV	Varianza
Porcentaje de Germinación 6 dds (PG6)	424.8 ns	0.57	89.18	15.20±16.34
Porcentaje de Germinación 12 dds (PG12)	5024.80**	0.76	40.12	60.20±39.46
Porcentaje de Germinación 18 dds (PG18)	5736.80**	0.86	27.89	64.80±38.88
Porcentaje de Mortalidad 18 dds (PM)	5736.80**	0.86	51.35	35.20±38.88
Conductividad Eléctrica (CE)	2021.68**	0.87	18.05	60.41±24.06
Contenido de Lípidos (CLip)	3.60 ns	0.59	4.07	60.16±3.05
Contenido de Proteínas (CProt)	0.67*	0.58	1.51	28.23±0.52
Índice de Peróxidos (IP)	281.66**	0.98	8.33	14.75±7.84
Humedad en la Semilla dpt (CHS)	249.27**	0.99	5.77	16.67±7.29

*, ** Significativo con $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente; ns: no significativo; dds: días después de la siembra; dpt: después del periodo de tratamiento de Envejecimiento Acelerado; PEA: Periodo de Envejecimiento Acelerado; CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 2. Efecto del envejecimiento acelerado sobre la germinación en semilla de piñón (*Jatropha curcas*).

Envejecimiento Acelerado	PG6 (%)	PG12 (%)	PG18 (%)	PM18 (%)	Total
96 h	0.00a	0.00b	0.00b	100.00a	100.00
72 h	15.00a	76.00a	83.00a	17.00b	100.00
48 h	17.00a	58.00a	63.00a	37.00b	100.00
24 h	29.00a	89.00a	93.00a	7.00b	100.00
Testigo (S/EA)	15.00a	78.00a	85.00a	15.00b	100.00
DMS	30.55	54.43	40.73	40.73	

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$); DMS: Diferencia Mínima Significativa; S/EA: Sin Envejecimiento Acelerado; PG6: Porcentaje de Germinación a los 6 días, PG12: Porcentaje de Germinación a los 12 días; PG18: Porcentaje de Germinación a los 18 días; PM18: Porcentaje de Mortalidad de plántulas a los 18 días después de la siembra; h: horas del periodo transcurrido del Envejecimiento Acelerado.

La prueba de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) identificó el comportamiento del deterioro celular en las semillas de *Jatropha* por los efectos causados por el envejecimiento acelerado (Figura 1). Los resultados obtenidos por este método muestran el deterioro durante las primeras 24 h del proceso de imbibición de las semillas sometidas a condiciones adversas. Los periodos de 72, 48 y 24 h de tratamiento presentaron una tendencia similar al testigo, y mantuvieron un comportamiento normal con aumento promedio de $5.8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ cada tres horas. A diferencia de las semillas con periodo de 96 h de envejecimiento que mostraron daño celular progresivo a partir de las seis horas de iniciado el proceso de imbibición en el que su calidad fisiológica disminuyó de manera acelerada al registrarse incrementos promedio de $12.9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ cada tres horas. En este sentido Khajeh-Hosseini *et al.* (2003), consideran que la integridad de las membranas celulares determinada por los cambios bioquímicos relacionados con el deterioro y la capacidad para reorganizar y reparar daños, puede ser considerada la causa fundamental de las diferencias en el vigor de las semillas, que son medidas en forma indirecta a través de la lixiviación de electrólitos durante la prueba de conductividad eléctrica. En el mismo sentido, Salinas *et al.* (2001) mencionan que lotes de semilla con una alta germinación y baja liberación de electrólitos son considerados de alto vigor y con mejor capacidad para soportar condiciones de estrés.

Los componentes bioquímicos de la semilla presentaron alteraciones de acuerdo con el periodo de envejecimiento acelerado expuesto; en el caso del contenido proteínico, se reflejó con pequeñas variaciones en el porcentaje de proteína cruda entre las semillas sometidas a tratamiento con respecto a las semillas del testigo sin envejecimiento, el intervalo estuvo entre 27.73 a 28.72 % (Cuadro 3).

Las diferencias en el contenido de las proteínas tuvieron una relación inversa con el periodo de envejecimiento de las semillas. El promedio de proteína cruda fue de 28.2345 %, este se encuentra en el rango de los valores proteínicos (entre 27 y 30 %) reportados por Martínez *et al.* (2006) en semillas de *J. curcas* de colectas mexicanas, provenientes de los estados de Morelos, Veracruz y Quintana Roo. Lehner *et al.* (2008) sostienen que la reducción de la capacidad para producir plántulas normales podría deberse a que los patrones respiratorios se deterioran pero siguen viables (la cantidad de ATP producido por volumen de oxígeno consumido es aproximadamente la mitad con respecto a semillas vigorosas), además de ocurrir deficiencias en la síntesis proteínica (por cambios en estructuras macromoleculares) y verse afectadas las enzimas necesarias para convertir las reservas del embrión en sustancias utilizables y devenir en la formación de una planta normal.

El contenido de ácidos grasos totales en la semilla, no presentó efecto negativo significativo por los tratamientos y el testigo sin envejecimiento, los valores fluctuaron entre 58.88 y 61.55 %; estos valores superan a los reportados por Araiza *et al.* (2015) quienes encontraron valores de 52 a 56 % en semilla de poblaciones silvestres de *J. curcas* de Sinaloa y del sur de México. La máxima diferencia fue de 2.67 % entre el contenido de ácidos grasos registrado por las semillas del testigo respecto a las semillas envejecidas por periodo de 96 h, esta variación en el contenido de aceite en la semilla no representa efecto alguno sobre dicho parámetro; en este sentido Garay *et al.* (2012) indican que la exposición a temperaturas elevadas no afecta el contenido de aceite en la semilla, puesto que lo almacena como fuente de energía en forma de ácidos grasos para impulsar el inicio del desarrollo de la plántula; por otro lado Araiza *et al.* (2015)

mencionan que no existe diferencia significativa del contenido de aceite bajo altas condiciones de humedad en la semilla de *J. curcas*. En este sentido la prueba de envejecimiento acelerado es un buen indicador de la calidad fisiológica de la semilla y puede ser una referencia para la toma de decisión sobre las condiciones de almacenamiento de éstas. Salinas *et al.*, (2001) indica que la calidad de las semillas disminuye con el paso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales prevalecientes durante el almacenamiento y el periodo que permanecen en almacén.

El contenido de ácidos grasos no se vio afectado por los tratamientos, sin embargo, sí afectó la calidad de éstos, el análisis del índice de peróxidos de los aceites esenciales pues mostró diferencias estadísticas significativas entre los periodos de envejecimiento, los valores variaron de forma importante de acuerdo a la duración del periodo de tratamiento y al contenido de humedad alcanzado durante el mismo. Las semillas con 96 h de tratamiento y 25.17 % de humedad presentaron el mayor daño en el índice de peroxidación del aceite con 27.96 (Cuadro 3), este resultado es atribuible al nivel de acidez alcanzado en la semilla debido al alto contenido de humedad y las condiciones de estrés a las que fueron sometidas. Al respecto, Knotte y Dunn

(2003) indican que la acidez es una de las propiedades esenciales para determinar la calidad del aceite. El cambio de la acidez de los aceites se produce en la formación de peróxidos que se descomponen e interactúan con la formación de varios productos de oxidación, incluyendo aldehídos, que se oxidan en ácidos. Los lípidos contenidos en la semilla de *Jatropha* son susceptibles a la oxidación en presencia de sistemas catalíticos tales como luz, calor, enzimas, metales, proteínas metálicas y microorganismos que conducen a procesos complejos de autooxidación, oxidación térmica o enzimática de fotooxidación, la mayoría de los cuales implican radicales libres y/u otras especies reactivas como el intermedio (Dumitru, 2016).

El nivel de oxidación de los aceites fue menor en las semillas con 72 y 48 h de envejecimiento con 23.1 y 16.167 % de humedad, estas presentaron moderada oxidación (17.355 y 12.648), sin embargo, el índice de peroxidación alcanzado con estos periodos de estrés no tuvo efectos negativos sobre la calidad fisiológica de la semilla y mostró un comportamiento normal, como quedó de manifiesto también en los aspectos antes analizados y discutidos.

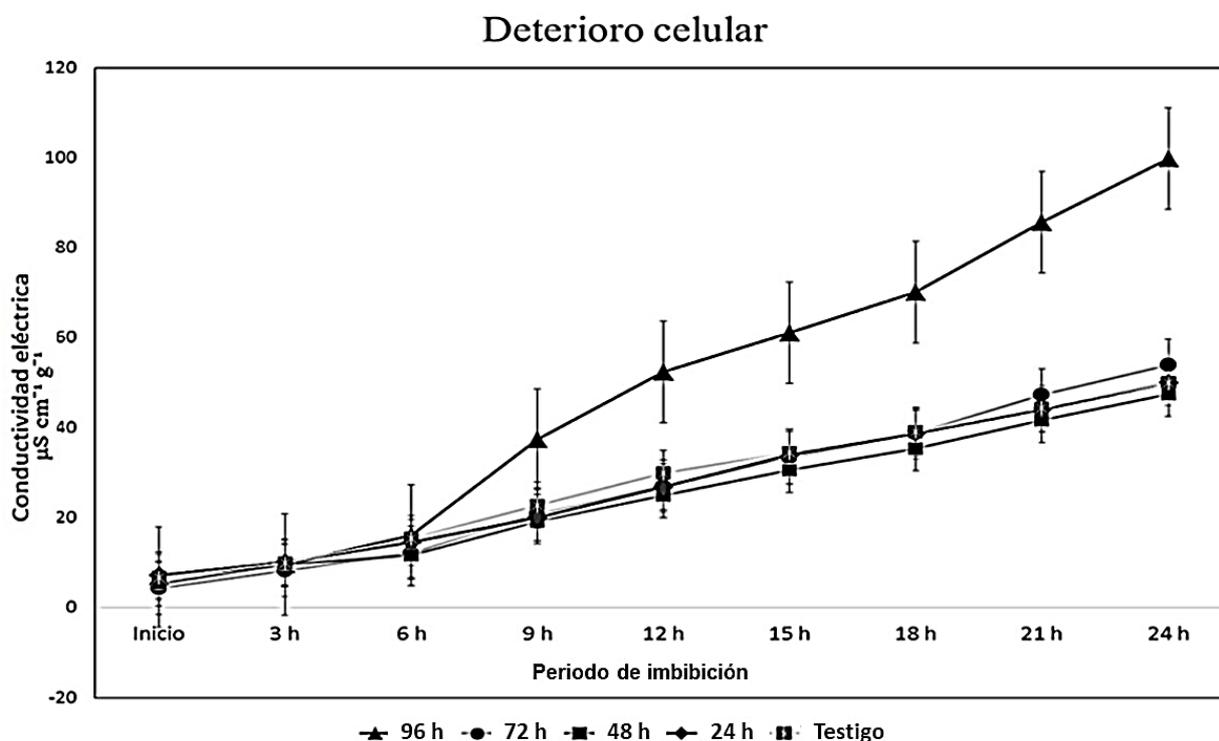


Figura 1. Tendencia del deterioro celular durante las primeras 24 h de iniciado el proceso de imbibición de semillas de *Jatropha* envejecidas y sumergidas en agua desionizada.

Cuadro 3. Determinación de contenido de ácidos grasos totales, proteínas e índice de peróxidos y contenido de humedad en semillas de *Jatropha curcas* envejecidas.

Envejecimiento Acelerado	Proteínas (%)	Ac. Grasos (%)	Peróxidos (IP)	Humedad ^Q (%)
96 h	27.7325c	58.885a	27.957a	25.167 ^a
72 h	28.72a	59.968a	17.345b	23.100 ^a
48 h	28.59ab	60.148a	12.648c	16.167b
24 h	28.1075abc	60.25a	8.923d	13.400c
Testigo (S/EA)	28.0225bc	61.55a	6.870d	5.500d
DMS	0.658	3.769	2.833	2.219

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$); ^Q: después del periodo de tratamiento con Envejecimiento Acelerado; DMS: Diferencia Mínima Significativa; S/EA: Sin Envejecimiento Acelerado; IP: Índice de Peróxidos; h: horas del periodo transcurrido del Envejecimiento Acelerado.

Al respecto Salinas *et al.* (2001) mencionan que con 22 % de elevación de la humedad de la semilla de soya se produce una buena diferenciación en el vigor sin llegar a niveles marcados de deterioro, además indican que con un 23 % de elevación de la humedad de la semilla se permite también una buena diferenciación del comportamiento de los cultivares, los niveles de vigor de las mismas pueden alcanzar valores demasiado bajos, inferiores al 30 %. El tratamiento con 24 h de envejecimiento y el testigo (sin envejecimiento) presentaron los índices de peróxidos más bajos (8.923 y 6.87) con porcentajes de humedad de 5.5 y 13.4 respectivamente, por lo que el potencial de auto-oxidación en presencia del oxígeno en aceite de *Jatropha* es bajo, respecto a otros aceites y grasas. Chaithongdee *et al.* (2010) mencionan que el aceite de semillas de *Jatropha* tiene baja acidez y baja viscosidad, lo que se considera como excelentes propiedades para la producción de biodiesel, sin embargo, presenta un alto porcentaje de ácidos grasos insaturados que causan susceptibilidad a la oxidación (Nzikou *et al.*, 2009) y que pueden afectar en la fisiología de la semilla de manera importante.

CONCLUSIONES

La calidad fisiológica y bioquímica de la semilla de *Jatropha curcas* manifestó deterioro expresado en los parámetros de porcentaje de germinación, mortalidad, conductividad eléctrica, índice de peróxidos, contenido proteico y de humedad en la semilla con la exposición a diferentes periodos de envejecimiento acelerado; el contenido de ácidos grasos no presentó variación significativa.

La semilla de *J. curca* conserva alta su calidad fisiológica y bioquímica hasta un periodo de 72 horas de envejecimiento a una temperatura de 40 ± 1 °C y 100% de humedad relativa, después de este periodo de tiempo de exposición la semilla pierde su viabilidad.

La prueba de conductividad eléctrica y obtención del índice de peróxidos orgánicos tuvieron un rol determinante en la identificación del detrimento de las semillas de esta especie, por lo que pueden ser considerados como métodos indirectos para evaluar la calidad fisicoquímica en semilla de *J. curcas* con periodo corto de almacenamiento.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados por todas las facilidades para la realización del estudio.

Financiamiento. CONACYT-SENER por la beca otorgada para realizar la Estancia Postdoctoral en Sustentabilidad Energética.

Conflicto de intereses. Este documento no tiene conflictos de interés.

Cumplimiento de normas éticas. Cumple con los estándares de ética.

Disponibilidad de datos. los datos presentados en la contribución están disponibles en su totalidad, previa solicitud razonable con el autor de correspondencia.

REFERENCIAS

- Association of Officiating Analytical Chemists (AOAC). 2005. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemist, 18th Ed. Washington D.C. Gaithersburg, Maryland 20877-2417, USA. https://www.researchgate.net/publication/292783651_AOAC_2005
- Araiza L.N., Alcaraz-Meléndez L., Angulo E.M.Á., Reynoso G.T., Cruz-Hernández P., Ortega-Nieblas M. 2015. Propiedades fisicoquímicas del aceite de semillas de *Jatropha curcas* de poblaciones silvestres en México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(1): 127-137. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382841>

- 103009.pdf
- Asturias, P.R. 2006. *Jatropha curcas*: su expansión agrícola para la producción de aceites vegetales con fines de comercialización energética. Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica (AEA). *Documento Octagón*, S.A. Biocombustibles. 25 p. <http://www.biologica.info/Biblioteca/AEAJatrophaCurcas.pdf>
- Berchmans, H.J., Hirata, S., 2008. Biodiesel production from crude *jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology* 99: 1716–1721. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.051>
- Bewley J.D. y Black M. 1994. Dormancy and the Control of Germination. In: *Seeds*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1002-8_5
- Chaithongdee D., Chutmanop J., Srinophakun P. 2010. Effect of antioxidants and additives on the oxidation stability of *Jatropha* biodiesel. *Kasetsart Journal-Natural Science*, 44(2): 243–250. http://kasetsartjournal.ku.ac.th/kuj_files/2010/A1004071403460000.pdf
- Dias P.M., Martins F.S., Galvêas L.B. 2012. Envelhecimento Acelerado de Sementes de Pinhão-Manso. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 42(1): 119–123. <http://www.redalyc.org/html/2530/253023637017/>
- Dumitru M.G. 2016. Increasing the Oxidative Stability of Oil Extracted from *Jatropha curcas* L. Seeds by Adding Oil Extracted from Roasted *Vitis vinifera* Seeds. *Revista de Chimie (Bucharest)*, 67(6): 1127–1130. <http://www.revistadechimie.ro>
- Enciso-Garay C.R., Vergara O. F.A., Santacruz O.V.R. 2013. Seed quality in collections and accessions of *Jatropha curcas* L.. *Idesia (Arica)*, 31(2): 49-53. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000200007>
- Fontana A.M.L., Pérez V.R., Luna C.V. 2016. Pruebas de envejecimiento acelerado para determinar vigor de semillas de *Prosopis alba* de tres procedencias geográficas. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 15(1):37-50. <https://doi.org/10.14409/fa.v15i1.5871>
- Garay R., Hidalgo E., Alegría J., Mendieta O. 2012. Determinación de períodos fisiológicos en la maduración y calidad del aceite de piñón blanco (*J. curcas* L.). *Información Tecnológica*. 23(4): 53-64. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000400007>
- González F., León D., Borges L., Pinzón L., Magaña M., Sangines R., Urrestarazu M. 2014. Envejecimiento acelerado sobre la calidad de semillas de maíz para producir germinados para forraje alternativo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (8): 1487-1493. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131168014>
- International Seed Testing Association [ISTA]. 2005. *International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association, 68 p. <https://www.seedtest.org/upload/cms/user/STI130Oct2005.pdf>
- Kaewnaree P., Vichitphan S., Klanrit P., Siri B., K. Vichitphan. 2011. Effect of accelerated aging process on seed quality and biochemical changes in sweet pepper (*Capsicum annuum* Linn.) seeds. *Biotechnology*, 2: 175-182. [10.3923/biotech.2011.175.182](https://doi.org/10.3923/biotech.2011.175.182)
- Khajeh-Hosseini M., Powell A.A., Bingham I.J. 2003. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soyabean seeds. *Seed Science and technology*, 31 (3), 715-725. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.20>
- Knothe G., Dunn R.O. 2003. Dependence of oil stability index of fatty compounds on their structure and concentration and presence of metals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(10): 1021–1026. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0814-x>
- Lehner A., Mamadou N., Poels P., Côme D., Bailly C., Corbineau F. 2008. Changes in soluble carbohydrates, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in the embryo during ageing in wheat grains. *Journal of Cereal Science*. 47: 555-565. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.017>
- Lopes F.F. de M., Beltrão N.E. de M., Lopes Neto J.P., Pedroza J.P. 2008. Crescimento inicial de genótipos de mamoneira com sementes submetidas ao envelhecimento acelerado. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, 12: 69-79. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/278185/1/1222008002rbof12269792008.pdf>
- Lozano-Isla F., Miranda P.V., Pompelli M.F. 2017.

- Germination behavior of *Jatropha curcas* L. after different imbibition times. *Peruvian Journal of Agronomy*, 1 (1): 32-38. <https://dx.doi.org/10.21704/pja.v1i1.1065>
- Marcos Filho, J. 2005. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. FEALQ. ISBN: 978-85-64895-03-4 <http://www.abrates.org.br/loja/produto/fisiologia-de-semillas-de-plantas-cultivadas>
- Martínez H.J., Siddhuraju P., Francis G., Dávila O., Becker K. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry* 96: 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.059>
- Nzikou J.M., Matos L., Mbemba F., Ndangui C.B., Pambou-Tobi N.P.G., Kimbonguila A., Silou Th., Linder M., Desobry S. 2009. Characteristics and Composition of *Jatropha curcas* Oils, Variety Congo-Brazzaville. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 1(3): 154-159. <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?docid=20407467-200910-201009060080-201009060080-154-159>
- Oliveira G.L., Dias L.A. dos S., Dias D.C.F. dos S., Soares M.M., da Silva L.J. 2014. Accelerated ageing test to evaluate vigour in *Jatropha curcas* L. seeds. *Revista Ciência Agrônômica*, 120-127. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000100015>
- Pandey D. K. 1992. Conductivity testing of seeds. *In: Seed Analysis. Molecular Methods of Plant Analysis*. H.F. Linskens and J.F. Jackson (eds). New Series Vol. 14 Springer- Verlag. London. 273-304 p. https://doi.org/10.1007/978-3-662-01639-8_14
- Pedraza-Sánchez E.A., Cayón-Salinas D.G. 2010. Caracterización morfofisiológica de *Jatropha curcas* L. variedad Brasil cultivada en dos zonas de Colombia. *Acta Agronómica*, 59 (1): 30-36. <https://search.proquest.com/openview/32ad41c7b0ac8b033bda0510aa776b5b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2035751>
- Pukacka S., Ratajczak E., Kalembe E. 2009. Non-reducing sugar levels in beech (*fagus sylvatica*) seeds as related to withstanding desiccation and storage. *Journal of Plant Physiology* 166: 1381-1390. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.02.013>
- Rincón F., Molina J. 1990. Efecto del método de envejecimiento artificial sobre la germinación de semillas de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 1: 51-53. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5529972>
- Rocha M.S., Braga J.M., Bruno R.L.A., Viana J.S., Moura M.F., Beltrão N.E.M., Guedes R.S. 2007. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de mamona cultivar BRS Energia. *In: Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras E Biodiesel, 4., Varginha. Anais. Lavras: UFLA.* p. 1421-1431. <https://revistas.pucsp.br/index.php/reb/artic le/view/2764>
- Salinas A.R., Yoldjian A.M., Craviotto R.M., Bisaro V. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 36(2): 371-379. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200022>
- Saturnino H.M., Pacheco D.D., Kakida J., Tominaga N., Goncalves N. P. 2005. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). *Informe Agropecuario* 26: 44-78. <http://www.epamig.br>
- Secretaría de Economía. (14 de Febrero de 2011). NMXF-154-SCFI-2010: alimentos- aceites y grasas vegetales o animales- determinación del valor de peróxido - método de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. D.F., México. <http://aniame.com/mx/wp-content/uploads/Normatividad/CTNNIAG S/NMX-F-154-SCFI-2010.pdf>
- Silva L.J., Dias D.C.F.S., Dias L.A.S., Hilst P.C. 2011. Physiological quality of *Jatropha curcas* L. seeds harvested at different development stages. *Seed Science and Technology*, 39(3): 572-580. <https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.3.04>
- Spinola M.C.M., Cicero S.M., de Melo M. 2000. Alterações Bioquímicas E Fisiológicas Em Sementes De Milho Causadas Pelo Envelhecimento Acelerado. *Scientia Agricola*, 57(2): 263-270. <http://www.scielo.br/pdf/sa/v57n2/v57n2a11.pdf>
- Vanzolini S., Nakagawa J. 2005. Condutividade Elétrica Em Amendoim. *Revista Brasileira de Sementes*, 27(2): 151-158. <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v27n2/a22v27n2.pdf>
- Zavala-Hernández J.T., Córdova-Téllez L., Martínez-Herrera J., Molina-Moreno J. C.

2015. Desarrollo del fruto y semilla de *Jatropha curcas* L. e indicadores de madurez fisiológica de la semilla. Revista fitotecnia mexicana, 38(3): 275-284.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000300006&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000300006&lng=es&tlng=es)