



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA INSTITUTO DE HORTICULTURA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

**CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE TOMATE
DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)
EN DOS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

MORENO SÁNCHEZ LINDA ANGÉLICA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, México, mayo de 2016



Instituto de Horticultura

**CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE TOMATE DE CÁSCARA
(*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) EN DOS CONDICIONES DE
ALMACENAMIENTO**

Tesis realizada por **Linda Angélica Moreno Sánchez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS

ASESOR:



DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

ASESOR:



Ph.D. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR:



M.C. NATANAEL MAGAÑA LIRA

Chapingo, México. Mayo de 2016.

DATOS BIOGRÁFICOS

Linda Angélica Moreno Sánchez nació el 22 de junio de 1986 en la Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal. Realizó sus estudios de Licenciatura en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo en la generación 2003-2007. Realizó sus estudios de maestría en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en el Programa de Horticultura (2014-2015). Obtuvo el título de Maestra en Ciencias en Horticultura con la tesis titulada “CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) EN DOS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO”.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada durante la realización de mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Instituto de Horticultura por formarme profesionalmente. Así como a todos los profesores del posgrado que compartieron conmigo sus conocimientos e hicieron que esto fuera posible.

A mi comité asesor: Dr. Juan Martínez Solís, Dr. Aureliano Peña Lomelí, Ph.D. Jaime Sahagún Castellanos y M.C. Natanael Magaña Lira, del Departamento de Fitotecnia, por su confianza, asesoría, paciencia, apoyo incondicional y valiosas aportaciones para realizar este trabajo de investigación.

Al personal técnico del Laboratorio de Análisis de Semillas del Departamento de Fitotecnia Don Mateo y Marce, por su apoyo durante la fase experimental.

A mis compañeros de generación 2014-2015 de la Maestría en Ciencias en Horticultura por los gratos momentos compartidos.

DEDICATORIA

A Dios y al Universo por vibrar en armonía en vida, dándome las mejores experiencias, Gracias.

A mis papas con mucho amor Ana Rosa Sánchez Moscosa y Jaime Emilo Moreno, por brindarme todo el apoyo en cada decisión de mi vida, dándome los mejores ánimos para seguir adelante y culminar con éxito cada propósito, este logro también es suyo, los quiero mucho.

A mi hermano Diego Jaime Moreno Sánchez por contagiarme de buena vibra y reír en cada momento, por darme ánimos y los mejores consejos, por apoyarme incondicionalmente, Gracias.

A mi abuelita Basilisa Moscosa López por siempre consentirme, quererme mucho y estar presente en cada paso de mi vida.

A toda mi familia por mantenernos unidos y compartir alegres momentos.

A mis amigos George, Caro, Mitzy, Karlita, Cecy, Oly, Marijo, Felix, José Miguel, Irving, Ramón, Dionis, Mary, Sebastián, Miriam, Chiapas, Marco, Nery, Xochilt, Prima Pao, Gaby, Roberto, Doña Bertha, Davinia, Santos, Luigi, Idalia, Tía Gloria, Ricardo, Víctor, Cinthia, Susy, Tere, Profr. Miguel Urrestarazu, Profr. Rogelio Ascencio y al Profr Gustavo Mena, quienes a lo largo de esta experiencia estuvieron presentes con muchas sonrisas y me brindaron su amistad sincera.

Con amor Linda Angélica.

CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) EN DOS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO.

PHYSIOLOGICAL QUALITY OF HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) SEEDS UNDER TWO STORAGE CONDITIONS.

Linda Angélica Moreno Sánchez¹, Juan Martínez Solís²

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto de dos ambientes y tiempo de almacenamiento en la calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara, semillas de cuatro variedades producidas en 2013 fueron almacenadas durante dos años en el Laboratorio de Semillas bajo condiciones ambientales (23.43 ± 0.64 °C y H.R. 23 %) y en el Banco de Germoplasma (-20 °C y H.R. 13 %) de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Se muestreó cada tres meses desde octubre de 2013 a octubre de 2015. En cada muestra se hicieron pruebas de germinación y vigor bajo un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones. Las pruebas se realizaron a 30 °C durante 21 días en una cámara germinadora. En la primera prueba se determinó el porcentaje de germinación; en la segunda prueba se evaluó el vigor a través del índice de velocidad de germinación, porcentaje de plántulas normales, y longitud y peso seco de plántulas. Después de un periodo de dos años de almacenamiento, la germinación decreció 1.97 %, donde los porcentajes más altos se obtuvieron con las variedades 'Diamante' y 'Tecozautila 04'. No se observó efecto de los ambientes de almacenamiento sobre la germinación, sin embargo, bajo las condiciones de almacenamiento del Banco de Germoplasma se presentaron los valores más altos de índice de velocidad de germinación y porcentaje de plántulas normales, donde la variedad 'Diamante' fue la que presentó los mayores valores. Exceptuando la longitud de plántula que se redujo en el periodo de evaluación, las variables restantes de vigor no muestran una influencia negativa por efecto del tiempo de almacenamiento.

Palabras clave: germinación, vigor, calidad de semilla, deterioro, conservación

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of two storage conditions and storage time on the physiological seed quality of husk tomato, seeds from four varieties produced in 2013 were stored for two years at the Laboratory of Seed Analysis under room conditions (23.43 ± 0.64 °C; R.H. 23 %), and at the Gene Bank (4 °C; R.H. 13 %) at Chapingo University, Mexico. Sampling was performed every three months from October, 2013 to October, 2015. For each sample germination and vigor tests were carried out under a completely randomized experimental design, with six replications. Seeds were placed in a germination chamber at 30 °C for 21 days. In the first test, percentage of germination. In the second test, seed vigor was assessed through speed of germination, percentage of normal seedlings, and seedling length and dry weight. After a two- year storage period, germination decreased 1.97 %, with the highest percentages obtained in 'Diamante' and 'Tecozautila 04' varieties. The storage environments had no effect on germination; however, the storage under Gene Bank conditions showed the highest values in speed of germination and normal seedling percentage, particularly in the 'Diamante' variety which presented the highest values. Excluding seedling length which decreased during the evaluation period, the remaining vigor variables do not show a negative effect caused by storage time.

Keywords: germination, vigor, seed quality, deterioration, conservation.

¹Autor de la tesis/Graduate student

²Director/ Thesis advisor.

ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN.....	1
	1.1 Objetivo.....	2
	1.2 Hipótesis.....	3
II	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
	2.1 Calidad de semilla.....	4
	2.1.1 Calidad física.....	4
	2.1.2 Calidad genética.....	5
	2.1.3 Calidad sanitaria.....	6
	2.1.4 Calidad fisiológica.....	6
	2.1.4.1 Viabilidad.....	6
	2.1.4.2 Germinación.....	7
	2.1.4.3 Vigor.....	7
	2.2 Deterioro.....	9
	2.2.1 Factores que inducen al deterioro.....	10
	2.2.2 Teorías del deterioro.....	11
	2.2.3 Como evaluar el deterioro de las semillas.....	12
	2.3 Almacenamiento.....	13
	2.3.1 Importancia del almacenamiento.....	14
	2.3.2 Factores a considerar para mejorar el almacenamiento..	15
	2.3.2.1 Contenido de humedad e la semilla.....	15
	2.3.2.2 Humedad relativa.....	16
	2.3.2.3 Temperatura.....	17
	2.3.2.4 Gases O ₂ y CO ₂	17
	2.3.2.5 Tipo de envase.....	18
	2.3.3 Almacenamiento en el banco de germoplasma.....	18

2.3.4	Almacenamiento de productores.....	19
2.4	Características de las variedades de tomate de cáscara en estudio	20
III	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1	Localización del experimento.....	23
3.2	Material vegetal.....	23
3.3	Factores y niveles de estudio.....	24
3.4	Diseño de tratamientos.....	26
3.4.1	Calidad fisiológica de las semillas prueba de germinación estándar.....	26
3.4.2	Calidad fisiológica de semillas prueba de vigor.....	27
3.5	Variables respuesta.....	28
3.6	Análisis estadístico.....	30
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1	Análisis de varianza de la calidad fisiológica de semilla.....	32
4.1.1	Germinación.....	32
4.1.2	Vigor.....	33
4.2	Comparación de medias.....	35
4.2.1	Germinación.....	35
4.2.2	Vigor.....	38
4.3	Interacción.....	43
4.3.1	Variedad por tiempo de almacenamiento.....	43
V	CONCLUSIONES.....	46
VI	LITERATURA CITADA.....	47
	ANEXO.....	56

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Cuadrados medios del análisis de varianza para los porcentajes de germinación de semilla de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.). Almacenada en dos ambientes durante dos años.....	32
Cuadro 2.	Cuadrados medios y significancia para las variables de vigor de cuatro variedades de semilla de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) almacenadas en dos ambientes durante dos años.....	34
Cuadro 3.	Comparación de las medias de los porcentajes de germinación de cuatro variedades, dos ambientes de almacenamiento y nueve tiempos de almacenamiento de semillas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.).....	36
Cuadro 4.	Efecto de variedad, ambientes y tiempo de almacenamiento en el vigor en semillas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.).....	40
Cuadro 1A.	Promedio del peso de 100 semillas, de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.).....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Comportamiento de longitud de plántula de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) provenientes de semillas muestreadas trimestralmente en un periodo de 15 meses de almacenamiento.	44
-----------	--	----

I. INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara o tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.), también llamado “tomatillo”, es una hortaliza que desde tiempos precolombinos se consume en México (Sánchez *et al.*, 2007). Actualmente es el quinto cultivo hortícola en cuanto a superficie sembrada, después del chile (*Capsicum annuum* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), y cebolla (*Allium cepa* L.). Su producción nacional se ha incrementado de 272,628 t en 1990 a 661,141.11 t en 2014. Los principales estados productores son Sinaloa, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Sonora y Puebla. Se siembra en 30 de los 32 estados de la República Mexicana, cuya superficie cultivada es de 44,524.59 ha, con un rendimiento promedio de 14.94 t ha⁻¹ y un valor de la producción de \$2,404,944,160 (SIAP, 2015).

Para lograr el rendimiento antes mencionado en un sistema de producción eficiente, uno de los insumos más importantes es la semilla de buena calidad, que es el punto de partida para tener una buena respuesta a las condiciones de siembra, producir plantas vigorosas y consecuentemente alcanzar un rendimiento alto. La semilla representa un insumo estratégico por excelencia que permite sustentar las actividades agrícolas, contribuyendo significativamente a mejorar su producción en términos de calidad y rentabilidad.

La importancia de esta hortaliza en México se refleja en su alta demanda. Aunque en la última década se ha mejorado la tecnología de producción, aún existen temas que no han sido debidamente explorados. El deterioro de la semilla durante el almacenamiento reduce su capacidad germinativa y vigor, lo que consecuentemente afecta el establecimiento de plántulas en campo. En semillas de tomate de cáscara se desconoce puntualmente el efecto de los factores ambientales que afectan su longevidad, germinación, vigor y desempeño fisiológico durante el almacenamiento. Se estima empíricamente que por cada año de almacenamiento la semilla pierde hasta 20 % de su germinación. Contar con bases claras sobre el deterioro, no solo es importante en los programas de mejoramiento genético y de conservación de germoplasma, sino también es de utilidad para los productores que suelen conservar semillas de su cosecha para ciclos posteriores (Pérez-Camacho *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2012).

1.1 Objetivo

Determinar el impacto de las condiciones y tiempo de almacenamiento en la germinación y vigor de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

1.2 Hipótesis

La baja temperatura y humedad relativa de un banco de germoplasma, reducirán el efecto negativo del deterioro en la germinación y el vigor de semilla. Además, debe haber diferencias entre variedades respecto a sus respuestas a las condiciones ambientales mencionadas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La semilla es el óvulo fecundado y maduro encerrado dentro del ovario maduro o fruto. Para producir semillas viables, debe tener lugar tanto la polinización como la fecundación. La semilla tiene tres partes básicas: el embrión, los tejidos de reserva alimenticia y las cubiertas de la semilla. Las cubiertas de las semillas son las envolturas de la misma y proporcionan protección mecánica para el embrión, haciendo posible manejar las semillas sin causarles daños, pudiendo ser almacenadas por largo tiempo.

2.1 Calidad de semilla

La calidad de la semilla es un concepto múltiple que comprende varios componentes: físico, genético, sanitario y fisiológico. Esta hace que el sistema de producción sea competitivo, puesto que dará origen a plantas uniformes y vigorosas. Las principales propiedades que deben reunir los lotes de semilla de calidad son genuinidad, pureza, limpieza, sanidad, viabilidad y vigor (Sánchez *et al.*, 2007; Doria, 2010).

2.1.1 Calidad física

La calidad física está representada por la uniformidad y estética de lote de semillas, en donde se requieren las siguientes cualidades: un mínimo de semillas rotas o dañadas, debido a que estas son sensibles al ataque de microorganismos e insectos y puede que estas no logren germinar; un lote libre

de semillas enfermas, puesto que representan un riesgo al poder difundir la enfermedad a otras semillas o plantas cuando estas ya hayan germinado; lotes que no contengan semillas de malezas u otros cultivos y que además no presenten restos de esquilmos como piedras o materia inerte; finalmente un tamaño de semillas uniforme que se logra en el acondicionamiento, donde las semillas más pequeñas y livianas son normalmente eliminadas, y se conservan las semillas maduras medianas y grandes que tendrán generalmente mayor germinación y vigor que las semillas pequeñas y livianas (FAO, 2011).

2.1.2 Calidad genética

En relación a la calidad genética de semillas, estas deben pertenecer a la misma variedad, lo que asegura que las plantas producidas presenten las mismas características distintivas de una generación a otra. Las variedades mejoradas son el resultado de programas de fitomejoramiento, que una vez superados los trámites correspondientes a su registro y consecuente liberación, pasan a sistemas formales de producción de semillas que les permite ser distribuidos comercialmente. Otras clases de variedades de cultivos son las variedades tradicionales, también conocidas como variedades locales o criollas, las cuales son producidas y conservadas por los agricultores. Las principales características que buscan los productores respecto a las variedades es que estén adaptadas a las condiciones locales, tengan tolerancia a plagas y enfermedades, y que su potencial productivo sea de alto de rendimiento (FAO, 2011).

2.1.3 Calidad sanitaria

Es importante que el lote de semillas esté ausente de organismos que puedan causar enfermedades, tales como hongos, bacterias, virus y plagas, debido a que se puede ocasionar un desarrollo progresivo de las enfermedades en el campo y reducir el valor comercial del cultivo. Inclusive los lotes de semilla importados, pueden introducir enfermedades o plagas dentro de regiones donde no estaban presentes (FAO, 2011).

2.1.4 Calidad fisiológica

La calidad fisiológica está referida a la facultad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. Se evalúa mediante pruebas de viabilidad y germinación estándar. Sin embargo, como esta última se desarrollada bajo condiciones favorables, los resultados pueden diferir de los obtenidos en campo, por lo que es necesario hacer evaluaciones de calidad de semilla mediante pruebas de vigor, para predecir de mejor manera su establecimiento en condiciones comerciales (Marín *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2007).

2.1.4.1 Viabilidad

Una semilla viable mostrará por su actividad bioquímica el potencial para germinar y desarrollar una plántula normal en condiciones adecuadas de temperatura, agua, oxígeno y luz. Una semilla no viable son semillas muertas o

semillas que muestran deficiencias o anomalías de naturaleza que pudieran dar lugar a plántulas anormales (Doria, 2010; Navarro *et al.*, 2012).

2.1.4.2 Germinación

La germinación es un proceso complejo que comienza con la imbibición de la semilla, proceso en donde los tejidos que conforman la semilla absorben grandes cantidades de agua causando hinchamiento y ruptura de la testa, seguida por el inicio de las actividades enzimáticas y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión. Posteriormente, inicia el crecimiento y división celular que provoca la emergencia de la radícula y de la plúmula. La aparición de la radícula a través de las cubiertas seminales es el primer indicio visible de la germinación. El porcentaje de germinación es un indicador de la habilidad de la semilla para emerger del suelo para producir una planta en el campo bajo condiciones normales (Doria, 2010; FAO, 2011; Navarro *et al.*, 2012).

2.1.4.3 Vigor

El vigor de la semilla determina el potencial que esta podrá tener en campo, debido que muestra la capacidad para emerger del suelo y sobrevivir bajo condiciones de campo potencialmente estresantes y crecer rápidamente bajo condiciones favorables, ya que se muestra la habilidad o característica que

posee la semilla de producir plantas sanas y eficientes (Doria, 2010; FAO, 2011).

El nivel máximo de vigor que puede alcanzar un lote de semilla está determinado por el genotipo, pero puede verse modificado por las condiciones de la planta madre. Por ejemplo, la nutrición y la sanidad pueden afectar el tamaño o la composición de la semilla. O bien, si la cosecha es prematura tal vez la semilla no alcance su máximo vigor. También el daño mecánico provocado al cosechar o durante la manipulación puede alterar el vigor y acelerar el deterioro, el cual a su vez, después de la cosecha, progresa en función de la temperatura y el contenido de humedad, llevando en definitiva a la muerte (Balbuena, 2015).

Las pruebas de vigor ofrecen información complementaria a la obtenida por la prueba de germinación, lo que a su vez permite estimar el potencial de la emergencia en el campo en una amplia gama de condiciones ambientales. El vigor es un componente importante en la evaluación de los elementos de calidad en la industria semillera, ya que a través de esta prueba se puede detectar el deterioro en el almacenamiento (Navarro *et al.*, 2012).

2.2 Deterioro

El deterioro de semillas está asociado a cambios en su metabolismo relacionados con su edad, contenido de humedad y condiciones de almacenamiento. Es un proceso en el cual disminuye el porcentaje germinación, la velocidad de crecimiento de las plántulas y la tolerancia a condiciones adversas. Un síntoma del envejecimiento de semillas es la disminución del tamaño de la plántula producida, que es un indicador de su vigor. El vigor de semillas y el envejecimiento están fisiológicamente ligados, puesto que el vigor disminuye a medida que el envejecimiento aumenta. Las relaciones del envejecimiento con la germinación y con el vigor son similares (Pérez-Camacho *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2012).

Cuando las semillas se deterioran presentan cambios fisiológicos en los tejidos celulares como lo son pérdida de reservas nutritivas debida a la respiración, como proteínas y azúcares no reductores, en tanto que los azúcares reductores y ácidos grasos libres se incrementan. Además, hay acumulación de subproductos tóxicos de la respiración o inhibidores del crecimiento, así como pérdida de actividad de los sistemas enzimáticos y pérdida en la capacidad de las proteínas desecadas para recombinarse y formar moléculas protoplásmicas activas en una rehidratación ulterior. Adicionalmente existe envejecimiento de membranas celulares semipermeables, así como peroxidación de lípidos, lo que hace que se liberen radicales libres que reaccionan y dañan a otros componentes celulares. También se ha detectado crecimiento anormal, daños

en las estructuras principales de las plántulas, pérdida de compuestos solubles debida a excesiva permeabilidad de la membrana, así como daño oxidativo al ADN y proteínas (Pérez-Camacho *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2012).

2.2.1 Factores que inducen al deterioro

Los factores con estrecha interrelación que pueden conducir al deterioro, la pérdida de vigor y viabilidad total o parcial son las condiciones de almacenamiento, la temperatura, humedad, presión de oxígeno, bacterias, hongos, insectos, roedores, la especie y la variedad. También influyen las condiciones impuestas a las semillas en el campo, después de la cosecha y durante las operaciones de beneficio, los daños mecánicos a los cuales son expuestas las semillas en el uso excesivo o inadecuado de maquinarias, que no solo producen magulladuras y abrasiones que se manifiestan por un rápido descenso y pérdidas de vigor, lo que da origen a plántulas débiles y anormales, sino que hacen a las semillas más vulnerables a infecciones secundarias por hongos e insectos, lo cual provoca un rápido deterioro del material (Moraes, 2000; Doria, 2010).

En el manejo comercial de semillas hortícolas los factores más importantes que reducen su viabilidad son la alta humedad relativa y la alta temperatura, y sobre todo el alto contenido de humedad de la semilla (Pérez *et al.*, 2012).

2.2.2 Teorías del deterioro

La investigación en relación con la calidad de la semilla de tomate de cáscara y su deterioro es escasa. El conocimiento detallado de las características morfológicas y fisiológicas de las semillas de esta especie podría ayudar a identificar los factores involucrados en su deterioro. Este aspecto es importante en los programas de mejoramiento genético y de conservación de germoplasma (Pérez *et al.*, 2008).

Se ha observado que la semilla de tomate de cáscara almacenada a 18.2 ± 5 °C y 41.2 ± 10 % de humedad relativa por 1, 2, 3 y 5 años, tiene deterioro y consecuentemente reducción en la germinación (8.7 % anual), viabilidad (8.3 % anual) y emergencia de la plántula en arena (6.9 % anual) por envejecimiento natural, la cual es superior a la de 7.6 % encontrada en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), e inferior a la de 13.2 % reportada en chile (*Capsicum annuum* L.). Las razones de la pérdida de germinación en tomate de cáscara no han sido aún clarificadas (Pérez-Camacho *et al.*, 2008).

Al evaluar el deterioro en semillas de tomate de cáscara, Pichardo *et al.* (2010) determinaron que los tratamientos de envejecimiento acelerado no cambiaron la composición de ácidos grasos (heptadecanoico, linoleico, oleico y palmítico) en las semillas y que el ácido linoleico fue el de mayor concentración en éstas, al constituir entre 87 y 93 % del total de ácidos grasos (32.9 - 138.5 mg g⁻¹).

La semilla de *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm. puede mantener su capacidad germinativa inicial de 70 %, por al menos ocho meses cuando se almacena en baja humedad relativa (24 %) o en frío (5 °C), ya que la combinación de alta humedad relativa (81 %) y temperatura de (23 °C) causan el deterioro de la semilla. El deterioro se manifiesta en reducciones de germinación de 70 a 29 %, viabilidad de 81 a 46 %, así como velocidad de emergencia de radícula de 20.4 a 9.9 (Pérez-Camacho *et al.*, 2008).

2.2.3 Cómo evaluar el deterioro de las semillas

Las pruebas de laboratorio de deterioro controlado o envejecimiento acelerado se usan para evaluar la calidad fisiológica de las semillas, con el supuesto de que el proceso de deterioro artificial es similar al deterioro natural. Otra técnica para provocar estrés, sin necesidad de utilizar cámaras de envejecimiento ni soluciones salinas o bajas temperaturas, es el almacenamiento al ambiente y los diferentes tiempos evaluados constituyen el método estresante, basado en que, como mecanismo natural para asegurar las sucesiones vegetales, las semillas impermeabilizan sus cubiertas por pérdida del agua intracelular y con ello provocan una mayor resistencia a la renovación del crecimiento. En este contexto, se concluye que el almacenamiento en condiciones ambientales visto en el tiempo, o lo que es igual, analizado mensualmente de inicio a fin, se enfoca como diferentes grados de estrés. Generalmente las pruebas de

deterioro acelerado se aplican principalmente en especies agrícolas de semilla grande. Sin embargo, en semillas pequeñas, como en flores, hortalizas y pastos, se ha encontrado una correlación baja entre el envejecimiento artificial y la calidad fisiológica. No obstante, cabe mencionar que no se han estudiado suficientes variantes de temperatura y humedad de deterioro en éstas semillas (Pichardo *et al.*, 2010; Navarro *et al.*, 2012).

2.3 Almacenamiento

El período de almacenamiento está a menudo limitado por el potencial fisiológico, es decir, el tiempo en que una semilla en particular sobrevive en las condiciones de que se disponga. Para mantener la viabilidad por períodos prolongados es importante que al almacenar la semilla tenga el contenido de humedad recomendado, además que el ambiente del almacén reúna las condiciones óptimas para cada especie, como lo son áreas de almacenamiento limpias, bien ventiladas, y de ser necesario, tratamiento de la semilla para prevenir el ataque de insectos. Al igual, se requieren inspecciones periódicas de la semilla almacenada para monitorear su calidad. Las semillas no deberían ser almacenadas por períodos extensos bajo condiciones de temperaturas y humedad relativa altas (Navarro y Lezcano, 2008; Doria, 2010).

2.3.1 Importancia del almacenamiento

El objetivo primordial del almacenamiento es mantener las semillas viables en buena condición física y fisiológica, desde su cosecha hasta la próxima siembra, con la finalidad de lograr una germinación satisfactoria y posterior emergencia de plántula, motivo por el cual las semillas almacenadas constituyen un eslabón importante en el ciclo de producción y representan un vínculo esencial para las generaciones sucesivas. En el comercio las reservas de semillas representan una importante proporción del activo de los productores (Doria, 2010; FAO, 2011).

En tomate de cáscara, como en muchas otras especies, es común observar que la semilla almacenada pierde rápidamente la viabilidad con temperaturas de almacenamiento superiores a 30 °C, condición que ocurre frecuentemente en bodegas de campos agrícolas. Hay semillas ortodoxas y recalcitrantes, las primeras adquieren la capacidad de tolerar la desecación hasta de 3 % durante la última etapa de su desarrollo, a través de cambios celulares, fisiológicos y bioquímicos, lo que permite conservarlas por décadas a temperaturas inferiores a 0 °C en bancos de germoplasma; en contra parte, las semillas recalcitrantes no toleran bajos niveles de desecación y por consiguiente se dificulta el resguardo del germoplasma en cuartos fríos, debido a que su alto contenido de humedad las torna sensibles al daño por congelamiento. Existe la tecnología para lograr condiciones de almacenamiento adecuadas para preservar la calidad fisiológica de las semillas ortodoxas por largos periodos, pero su alto

costo la hace poco accesible para la mayoría de los usuarios, particularmente en los países en desarrollo. (Rangel *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2012).

2.3.2 Factores a considerar para mejorar el almacenamiento

Las semillas almacenadas requieren de ciertas condiciones, que de no estar presentes pueden hacer perder la viabilidad y disminuir la germinación de la semilla cosechada.

2.3.2.1 Contenido de humedad en la semilla

El porcentaje de humedad óptimo depende de la especie y de la temperatura. Por ejemplo, los cereales deben tener un contenido de humedad de 13 % o menos, las leguminosas 10 % o menos y las semillas hortícolas 8 % o menos. En semillas ortodoxas, el contenido de humedad es probablemente el factor más importante que determina su longevidad. Si se reduce el contenido de humedad se reduce también tasa de respiración y se desacelera el deterioro de la semilla, por lo que se prolonga su viabilidad. Por lo tanto, el secado correcto de la semilla es crítico para minimizar el deterioro durante el almacenamiento. Cuando las semillas almacenadas contienen alta humedad, se incrementan la actividad enzimática hidrolítica, la respiración y los ácidos grasos libres, por lo que la humedad se considera el factor más crítico para su conservación. El alto contenido de agua acelera las reacciones que deterioran la semilla y actúa como solvente para la mayoría de las reacciones bioquímicas, de modo que su

reducción disminuye la tasa de difusión de solutos y la actividad metabólica nociva. El contenido de humedad ideal oscila entre el 4 % o menos, donde el almacenamiento es muy seguro, siempre y cuando se haga en condiciones herméticas; de 8 a 9 %, hay una importante reducción en la actividad de insectos; de 12 a 14 % se inicia la posibilidad de desarrollo de hongos; de 18 a 20 % la semilla puede calentarse debido a una tasa alta de respiración y liberación de energía; y de 45 a 60 % empieza la germinación (Carrillo *et al.*, 2011; FAO, 2011; Pérez *et al.*, 2012).

2.3.2.2 Humedad relativa

Las condiciones ambientales del almacén están vinculadas con los cambios en el contenido de humedad, debido a la propiedad de las semillas de ser higroscópicas. Es decir, tratan constantemente de equilibrar su contenido de humedad con la humedad relativa ambiental, por lo que el contenido de humedad de la semilla está en función de la humedad relativa: si la humedad relativa es alta, entonces el contenido de humedad de la semilla será alto y la semilla se deteriorará rápidamente. Sin embargo, cuando la semilla seca se guarda en envases que permiten el libre movimiento de la humedad, en climas secos con baja humedad relativa durante el período de almacenamiento, la semilla permanecerá con bajo contenido de humedad, lo que representa un factor para un buen almacenamiento de semillas. Un alto contenido de humedad de la semilla favorece la incidencia de hongos e insectos. La máxima

longevidad de la semilla se alcanza con una humedad relativa entre 5 y 6 % (Taiz y Zeiger, 2006; Carrillo *et al.*, 2011; FAO, 2011; Navarro *et al.*, 2012).

2.3.2.3 Temperatura

El alto contenido de humedad combinado con una alta temperatura son factores importantes que reducen la viabilidad y longevidad de la semilla desde el comienzo de su permanencia en el almacenamiento, debido que a temperaturas más altas incrementan la tasa de respiración de la semilla y el deterioro de la misma. Semillas suficientemente secas pueden soportar temperaturas relativamente altas sin deterioro significativo. De hecho, una regla práctica para la temperatura durante el almacenamiento es que por cada 5 °C de disminución en la temperatura, se duplica la vida de la semilla en el almacenamiento, razón por la que se utilizan bajas temperaturas especialmente en lotes de semillas de alto valor como germoplasma (FAO, 2011).

2.3.2.4 Gases O₂ y CO₂

El oxígeno y dióxido de carbono influyen fuertemente en los granos y las semillas almacenados, lo que está relacionado con el volumen y la porosidad de las semillas almacenadas, así como los procesos de respiración. Las semillas son organismos conformados por células vivas que respiran para producir la energía necesaria para los diversos procesos metabólicos. El control diario de

las semillas y la apertura de los envases asegurará que éstas, aún en bolsas de plástico, tengan suficiente oxígeno (Doria, 2010; FAO, 2011).

2.3.2.5 Tipo de envase

Las semillas hortícolas conservadas por períodos prolongados deben ser guardadas en envases sellados herméticamente o en envases de plástico sellados. De lo contrario, se puede asumir que la semilla se deteriorará rápidamente. Éste es un importante método de almacenamiento usado a menudo para semillas de alto valor. En este contexto, primeramente las semillas son secadas a un contenido de humedad de 8 % o menos, para ser colocadas en envases a prueba de humedad o latas que las protegen de la migración de humedad del aire. Sin embargo, si la semilla no está suficientemente seca y la temperatura del aire es alta, la semilla alcanzará el contenido de humedad de equilibrio con el aire en el envase, la respiración de la semilla aumentará y se condensará humedad dentro del envase sellado, lo que producirá un ambiente ideal para el desarrollo de hongos y consecuente deterioro de la semilla (FAO, 2011).

2.3.3 Almacenamiento en el banco de germoplasma

El almacenamiento con fines de conservación de recursos genéticos de especies agrícolas ortodoxas a largo plazo se recomienda con una temperatura de -18 °C y 5 % de humedad relativa. Las cantidades de semillas que requieren

este tipo de almacenamiento son pequeñas y el costo por kilogramo de semilla conservado es mayor en comparación del almacenamiento convencional (FAO, 1991).

Al almacenarlas a largo plazo, a bajas temperaturas y contenido de humedad bajo, las semillas se encuentran en estado vítreo, estado que se produce por la acumulación de sacarosa, posiblemente en conjunción con oligosacáridos (como rafinosa), lo que contribuye a preservar la membrana y la estructura de las proteínas. En estas circunstancias, la difusión de moléculas en el citoplasma es mínima y por consiguiente se inhibe el deterioro de la semilla. Cuando se incrementa la temperatura o el contenido de humedad de la semilla, el estado sólido vítreo puede suavizarse a un estado de consistencia elástica o incluso a un estado líquido. Bajo estas circunstancias los procesos que inician el envejecimiento de las semillas pueden depender de la temperatura de transición a la vitificación del citoplasma de las semillas, por lo que la temperatura de almacenamiento cerca o debajo de la temperatura de transición a la vitificación beneficiaría marcadamente el almacenamiento a largo plazo (Narayana *et al.*, 2003; Socorro *et al.*, 2007; Carrillo *et al.*, 2011).

2.3.4 Almacenamiento de productores

Los principales factores que se toman en cuenta a la hora de elegir el almacenamiento por los productores, son las características de la semilla de la especie de que se trate, el período durante el que se va a almacenar y el costo.

Cuando existe más de un método adecuado para mantener la viabilidad durante el período de que se trate, normalmente se elige el más sencillo y barato.

Las semillas ortodoxas mantienen su viabilidad durante más tiempo cuando se almacenan secas (4 a 8 % de humedad) en un recipiente hermético o en una estancia con control de la humedad, que cuando se almacenan en condiciones de equilibrio con la humedad del ambiente. La vida en almacenamiento se prolonga aún más cuando se pueden proporcionar condiciones de temperatura fresca, pero no controlada, por ejemplo en latitudes o altitudes altas y en bodegas u otras habitaciones protegidas del sol directo (FAO, 1991; Doria, 2010).

2.4 Características de las variedades de tomate de cáscara en estudio

Las cuatro variedades estudiadas, fueron desarrolladas por el Dr. Aureliano Peña Lomelí.

‘Manzano Tepetlixpa’. Es un material de frutos dulces y de color amarillo que se distribuye principalmente en el Estado de México y Morelos. Es una variedad mejorada por selección, y su número de registro definitivo ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) es TOM-003-170908. Es una planta precoz, de porte erecto, con hojas elípticas de color verde y flores de tamaño medio; sus frutos son grandes, con tres lóculos,

amarillos y de firmeza media, con cobertura del cáliz completamente cerrada y acostillada. Presenta semillas medianas de color amarillo pardo (Sánchez y Peña, 2015).

‘Tecoautla 04’. Presenta una pulpa de color verde, frutos muy grandes con semilla amarillo pardo y con vida de anaquel intermedia. Se distribuye principalmente en la región de Valles Altos, El Bajío y el Noroeste del país. Es una variedad mejorada por selección y su número de registro definitivo ante el SNICS es TOM-010-170908. Es una planta de porte erecto con hojas elípticas de color verde y flores grandes; sus frutos son muy grandes con tres lóculos, de color verde, fuerte adherencia del cáliz al fruto y cobertura abierta y acostillada (Sánchez y Peña, 2015).

‘Diamante’. Esta variedad se obtuvo a partir de un híbrido entre las variedades CHF1 Chapingo y Puebla SM3. Presenta una vida corta de anaquel con frutos de color verde, tamaño grande y precoz. Se adapta a las condiciones climáticas de la región Valles Altos. Su número de registro definitivo ante el SNICS es TOM-002-170908. Es una planta precoz de porte semierecto con hojas elípticas de color verde y flores de tamaño medio; sus frutos son grandes con tres lóculos, verdes y de firmeza media con cobertura del cáliz completamente cerrada. Presenta semillas de color amarillo pardo (Sánchez y Peña, 2015).

‘Gema’. Es una variedad sintética obtenida por selección que está en proceso de descripción para su registro ante el SNICS. Es de frutos muy grandes, verdes y de larga vida de anaquel (Coronado, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

El presente trabajo de investigación se realizó en el periodo comprendido de octubre de 2013 a octubre de 2015 en el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal y en los Laboratorios de Ecología y Análisis de Semillas del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), ubicada en las coordenadas geográficas 19°30' LN y 98°59' LW, con altitud de 2250 msnm. El presente proyecto forma parte del programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara.

3.2 Material vegetal

El material biológico empleado para la realización del experimento se produjo en el ciclo primavera-verano 2013 en el campo experimental de la UACH y del Colegio de Postgraduados. El manejo del cultivo fue el descrito por Martínez *et al.* (2004) para la producción de semilla de tomate de cáscara. Las plántulas se trasplantaron a campo abierto en la primera semana de abril de 2013, a una densidad de 30,000 plantas·ha⁻¹. La cosecha de frutos se realizó en la segunda semana de junio cuando éstos estaban maduros fisiológicamente y tenían color verde claro a amarillo para el caso de 'Tecozautla 04', 'Diamante' y 'Gema', y color amarillo para 'Manzano Tepetlixpa'. La extracción de la semilla se hizo inmediatamente después de la cosecha con una máquina despulpadora.

La semilla se secó al sol sobre bastidores (Martínez *et al.*, 2004) y posteriormente fue beneficiada en octubre del 2013 con una máquina de aire y zarandas, tipo SEEDBURO® modelo LA-LS/B, con un motor de 1 HP. Se obtuvo tres tamaños de semilla: chica, estándar y grande, con el uso de cribas redondas de 1.5, 2.0 y 3.0 mm, respectivamente. Además, las impurezas fueron separadas y se eliminó la semilla vana. Para el experimento se tomó 1 kg de semilla clasificada en tamaño estándar (2 mm) que es la que generalmente se comercializa de cada variedad. Al finalizar el proceso de secado y acondicionamiento, la semilla se almacenó con un contenido de humedad de 5 % en 'Gema', 6 % en 'Tecoautla 04', 6.4 % en 'Diamante' y 7.8 % en 'Manzano Tepetlixpa'.

Cada muestra se dividió en dos partes de 500 g cada una, para establecer una muestra por variedad en cada condición de almacenamiento a estudiarse a partir de febrero de 2014.

3.3 Factores y niveles de estudio

Un factor de estudio fue la condición de almacenamiento, cuyos niveles se describen a continuación.

1) Condiciones ambientales. Sin control de temperatura y de humedad relativa en el Laboratorio de Semillas del Departamento de Fitotecnia, en la Universidad Autónoma Chapingo, temperatura promedio 23.43 ± 0.64 °C; humedad relativa promedio 23.55 ± 0.06 %; temperatura de punto de rocío 1.46 ± 0.56 °C y humedad absoluta 4.95 ± 0.18 g·m⁻³. Medio kilogramo de semilla acondicionada por variedad fue colocado en una bolsa tipo “ziploc” de plástico tipo aluminizada de 30 x 22 cm.

2) Banco Nacional de Germoplasma Vegetal del Departamento de Fitotecnia, en la Universidad Autónoma Chapingo, a una temperatura media de -20 °C y 13 % de humedad relativa. Medio kilogramo de semilla acondicionada por variedad fue colocada junto con una pequeña bolsa cuadrada de plástico con silicagel (3 x 3 cm) en frascos de cristal translucidos de 500 ml de volumen, con cierre hermético. Las semillas fueron almacenadas en esta condición a partir de febrero de 2014.

El segundo factor fueron las variedades, al que correspondieron cuatro genotipos de tomate de cáscara producidas en el ciclo primavera-verano 2013, las cuales fueron desarrolladas por el Dr. Aureliano Peña Lomelí. Las variedades ‘Diamante’, ‘Gema’ y ‘Tecoautla 04’ fueron producidas en el Campo Agrícola Experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad

Autónoma Chapingo, y la variedad 'Manzano Tepetlixpa' en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.

El tercer factor de estudio fue tiempo de almacenamiento de las semillas. Las pruebas de calidad de la semilla se realizaron cada tres meses, durante dos años (nueve pruebas). La evaluación del primer muestreo para la prueba de germinación fue en octubre de 2013 y la primera prueba de vigor se realizó en julio de 2014. En cada fecha y hasta octubre de 2015, se tomó de ambos ambientes una muestra de 5 g de semillas por variedad para realizar las pruebas.

3.4 Diseño de tratamientos

3.4.1 Calidad fisiológica de las semillas prueba de germinación estándar

Con el propósito de determinar la calidad fisiológica en relación al porcentaje de germinación, se realizó un factorial incompleto $2 \times 4 \times 9$ combinando los niveles almacenamiento (2), variedades (4) y tiempo de almacenamiento (9). En las primeras dos fechas solo se evaluó el almacenamiento a temperatura ambiente y a partir de la tercera fecha se evaluaron ambos ambientes. Por lo que las combinaciones de estos niveles produjeron 64 tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones en las dos primeras fechas de muestreo, cinco en la tercera y seis en el resto, lo que generó 360 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en

una caja Petri plástica transparente de 95 mm de diámetro por 10 mm de profundidad, con 100 semillas uniformemente distribuidas sobre papel filtro de poro mediano humedecido con 5 ml de agua destilada al inicio, y la necesaria para mantener la humedad durante toda la prueba. Las unidades experimentales fueron colocadas en una cámara germinadora Seedburo D-7140 (Seedburo Equipment Company, USA.) a 30 ± 1 °C y 90 % de humedad relativa, condiciones propuestas por Martínez *et al.* (2006) y Morales y Tena (2008), por 21 días según las normas del ISTA (2004).

3.4.2 Calidad fisiológica de semillas prueba de vigor

Con el propósito de determinar la calidad fisiológica en relación al vigor de las semillas respecto al tiempo de almacenamiento, se realizó un factorial completo $2 \times 4 \times 6$, combinando los niveles de almacenamiento, variedades y tiempo de almacenamiento, respectivamente, con lo que se obtuvieron 48 tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar con seis repeticiones, que representó 288 unidades experimentales.

Para esta prueba cada unidad experimental consistió en una caja Petri plástica de 135 mm de diámetro por 22 de profundidad, con 50 semillas distribuidas uniformemente sobre papel filtro de poro mediano humedecido permanentemente con 10 ml de agua destilada. Las unidades experimentales fueron colocadas en una cámara germinadora Precision 818 (Thermo Scientific,

USA) a 30 ± 1 °C (Martínez *et al.*, 2006; Morales y Tena, 2008). Las cajas se mantuvieron iluminadas las 24 horas, durante los 14 días que duró la prueba y se realizaron conteos de plántulas germinadas cada 48 horas hasta el final de la misma.

3.5 Variables respuesta

Porcentaje de germinación (PG). Se evaluó con base en el número de semillas sembradas y el número de semillas con emisión de radículas en plántulas normales al finalizar la prueba.

Índice de velocidad de germinación (IVG). A partir del tercer día de establecida la prueba, se realizaron conteos de semillas germinadas cada 48 horas, considerando como tal la emergencia de la radícula. El IVG se calculó de acuerdo con la fórmula propuesta de Maguire (1962):

$$IVG = \sum_{i=1}^n \frac{X_i - X_{i-1}}{n_i}$$

Dónde:

IVG = Índice de velocidad de germinación.

n= Número de conteos.

X_i = Número de semillas germinadas en el i-ésimo conteo.

X_{i-1} = Número de semillas germinadas en conteo $i-1$.

n_i = Número de días transcurridos desde la siembra hasta el i -ésimo conteo.

Longitud promedio de plántula (LP). A los 14 días de establecida la siembra, se tomó una muestra de diez plántulas por unidad experimental. A cada plántula se le midió la longitud (cm) desde la punta de la raíz primaria hasta la punta de las hojas cotiledonares. Finalmente se calculó la longitud promedio.

Peso promedio de plántulas secas (PSP). Una vez medidas las plántulas previamente referidas, éstas fueron secadas hasta peso constante durante 72 h a 72 °C en una estufa Wisconsin Memmert (Wisconsin Oven Distributors Inc., USA). Posteriormente se pesaron (mg) en una balanza analítica Ohaus Pioneer (Ohaus Corp, USA), y se procedió al cálculo del promedio.

Porcentaje de plántulas normales (PPN). El PPN se calculó en función del número de plántulas normales contabilizadas al final de la prueba. Las plantas normales fueron las que mostraron todas sus estructuras esenciales.

3.6 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para los datos de cada uno de los caracteres evaluados. Mediante el programa estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., USA). Posteriormente se realizaron comparaciones de medias de Tukey ($P = 0.05$). Los datos de porcentaje de germinación y porcentaje de plántulas normales fueron transformados antes del ANAVA mediante la fórmula arco seno $\sqrt{y/100}$ (Sokal & Rohlf, 1995) con el propósito de corregir su desviación respecto a una distribución normal.

Modelo lineal de análisis de varianza para el factorial completo empleado para evaluar las variables de germinación y vigor

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + A_j + F_k + VA_{ij} + VF_{ik} + AF_{jk} + VAF_{ijk} + e_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} = Respuesta obtenida en la l-ésima repetición de la i-ésima variedad, del j-ésimo tipo de almacenamiento, del k-ésimo periodo de almacenamiento.

μ = Efecto medio general.

V_i = Efecto atribuido al i-ésimo nivel del factor variedad.

A_j = Efecto atribuido al j-ésimo nivel del factor tipo de almacenamiento.

F_k = Efecto atribuido al k-ésimo nivel del factor periodo de almacenamiento de la semilla.

VA_{ij} = Efecto atribuido a la interacción entre el i-ésimo nivel del factor variedad y el j-ésimo nivel del factor tipo de almacenamiento.

VF_{ik} = Efecto atribuido a la interacción entre el i-ésimo nivel del factor variedad y el k-ésimo nivel del factor periodo de almacenamiento de la semilla.

AF_{jk} = Efecto atribuido a la interacción entre el j-ésimo nivel del factor tipo de almacenamiento y el k-ésimo nivel del factor periodo de almacenamiento de semilla.

VAF_{ijk} = Efecto atribuido a la interacción entre el i-ésimo nivel del factor variedad, el j-ésimo nivel del factor tipo de almacenamiento y el k-ésimo nivel del factor periodo de almacenamiento de semilla.

e_{ijkl} = Error aleatorio correspondiente a Y_{ijkl} .

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de varianza de la calidad fisiológica de semilla

4.1.1 Germinación

Los resultados del análisis de varianza para germinación (Cuadro 1) muestran diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre medias de las variedades y de los efectos del tiempo de almacenamiento, no así para el ambiente de almacenamiento. El coeficiente de variación indica que los resultados son confiables.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para los porcentajes de germinación de semilla de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). Almacenada en dos ambientes durante dos años.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
Variedad	3	1244.99 **
Ambiente	1	5.63
Tiempo de Almacenamiento	8	104.23 **
Variedad*Ambiente	3	13.69
Variedad*Tiempo de Almacenamiento	24	30.15
Ambiente*Tiempo de Almacenamiento	6	13.42
Variedad*Ambiente*Tiempo de Almacenamiento	18	17.77
Error	296	21.05
Total	359	
Coeficiente de variación (%)		5.98

**· Significativo con una $P \leq 0.01$.

De lo anterior se puede apreciar que los dos ambientes de almacenamiento evaluados resultan igualmente eficientes para mantener la germinación de la semilla. Lo anterior puede explicarse porque el almacenamiento ocurrió en ambos casos a temperaturas inferiores a 30 °C, que es el punto a partir del cual se acelera el deterioro en tomate de cáscara (Pérez *et al.*, 2012). Además, la semilla se almacenó en un contenedor hermético, por lo que presumiblemente la humedad de la misma se mantuvo baja en ambos ambientes. No se encontraron diferencias estadísticas en las interacciones de las fuentes de variación.

4.1.2 Vigor

Los resultados del análisis de varianza para las variables de vigor (Cuadro 2) presentan efectos significativos ($P \leq 0.05$) para el factor tiempo de almacenamiento (TA) en todas las variables, mientras que los factores variedad y ambiente tuvieron efectos significativos sobre las variables de vigor, excepto el peso seco de plántula (PSP). Asimismo, solo se encontraron dos interacciones significativas para longitud de plántula (LP): Variedad x Tiempo de Almacenamiento y la interacción de los tres factores.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia para las variables de vigor de cuatro variedades de semilla de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) almacenadas en dos ambientes durante dos años.

Factores de variación	GL	IVG	LP (cm)	PSP (mg)	PN ¹ (%)
Variedad	3	68.30 **	2.04 **	1.69	1123.42 **
Ambiente	1	14.40 *	1.17 *	0.96	191.75 *
TA	5	8.14 **	60.46 **	7.45 **	256.36 **
Variedad*ambiente	3	3.10	0.09	0.43	7.46
Variedad*TA	15	3.20	0.65 **	0.58	42.83
Ambiente*TA	5	1.52	0.10	0.85	25.16
Variedad*ambiente*TA	15	1.36	0.35 *	0.75	22.26
Error	240	2.46	0.19	0.65	31.91
Total	287				
CV (%)		11.56	10.52	8.55	7.43

* y **: Significativo con una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente. TA: Tiempo de almacenamiento; CV: Coeficiente de variación; GL: Grados de libertad; IVG: Índice de velocidad de germinación; LP: Longitud de plántula; PSP: Peso seco de plántula; PN¹: Valores de plántulas normales transformados con la formula arco seno $\sqrt{\frac{y}{100}}$.

A diferencia del porcentaje de germinación, en la evaluación del vigor si se puede observar el efecto de las diferentes condiciones de almacenamiento sobre tres de las cuatro variables evaluadas. Esto se debe a la diferente metodología de ambas pruebas, pues en el caso de germinación bastó con tener la emergencia de la radícula al final de la prueba, mientras que en la prueba de vigor se contabilizaron el porcentaje de plántulas normales con todas sus estructuras esenciales completas, el índice de velocidad de germinación, la longitud y el peso seco de plántula.

4.2 Comparación de medias

4.2.1 Germinación

Los resultados de la comparación de medias muestran que las variedades con mayor germinación fueron ‘Diamante’ y ‘Tecoautla 04’, que superaron los resultados de ‘Gema’ y ‘Manzano Tepetlixpa’ (Cuadro 3), esta última con menor valor de germinación. Estos resultados se pueden atribuir a la condición genética de las semillas debido a que las variedades provienen de razas distintas, por lo que probablemente tienen diferente precocidad y composición química (Peña *et al.*, 2014), lo que se puede reflejar en diversos tamaños de semilla o bien en diferente grado de madurez fisiológica, y consecuentemente en diversos porcentajes de germinación.

En relación a los ambientes de almacenamiento, no hubo diferencias significativas, lo que supone que el contenido de humedad de la semilla a la hora de almacenarse, el envase donde se colocó, además de las condiciones de almacenamiento como humedad relativa y temperatura en ambos ambientes, fueron adecuadas para el mantenimiento de la calidad de semillas en dos años y la consecuente emisión de la radícula en la prueba de germinación. Al respecto, Aramendiz-Tatis *et al.* (2007) mencionan que las semillas almacenadas en refrigerador, independientemente del tipo de empaque, conservan mejor la calidad fisiológica. Sin embargo, en condiciones no controladas, el deterioro puede ser más rápido por la permeabilidad del empaque a las oscilaciones ambientales. En contraste a esto último, Pérez *et*

al. (2012) no vieron afectada la germinación y la viabilidad de semillas de *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm. almacenadas en una bodega rustica sin control de clima, a pesar de que la temperatura y la humedad relativa alcanzaron 23 °C y 51 %, respectivamente.

Cuadro 3. Comparación de las medias de los porcentajes de germinación de cuatro variedades, dos ambientes de almacenamiento y nueve tiempos de almacenamiento de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

	Germinación (%)	Germinación ¹ (%)
VARIEDAD		
'Gema'	93.89	76.39 b ^z
'Manzano Tepetlixpa'	89.72	71.62 c
'Tecoautla 04'	95.32	78.75 a
'Diamante'	96.50	80.29 a
DMSH		1.77
AMBIENTE		
Laboratorio	93.95	77.09 a
Banco	93.74	76.38 a
DMSH		0.96
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO		
Octubre 2013	95.63	80.39 a
Enero 2014	95.25	78.80 ab
Abril 2014	95.03	77.90 ab
Julio 2014	93.88	77.67 ab
Octubre 2014	94.69	77.37 ab
Enero 2015	91.50	73.74 c
Abril 2015	93.27	75.77 cb
Julio 2015	94.04	76.79 cb
Octubre 2015	93.75	76.43 cb
DMSH		3.54

^zPara cada factor, medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ¹Valores de germinación transformados con la formula arco seno $\sqrt{\frac{y}{100}}$.; DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

Los resultados de las comparaciones de medias del tiempo de almacenamiento no muestran diferencias estadísticas entre las cinco muestras obtenidas durante el primer año de evaluación. A partir del decimoquinto mes comienza un comportamiento descendiente en la germinación, aunque no significativo entre las pruebas de 2014 y 2015, excepto la de enero de 2015; en los dos años de muestreo se registró una disminución del 1.97 % en la germinación. Esta dinámica coincide con lo reportado por Pérez-Camacho *et al.* (2008) en la germinación de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) almacenada por 1, 2, 3 y 5 años, donde la germinación disminuyó linealmente en 8.7 % anual. Es evidente que en el experimento la reducción no fue tan drástica, pero queda claro que hay pérdida de la germinación por efecto del deterioro, el cual comienza a partir de la madurez fisiológica y puede llevar hasta la pérdida total de la capacidad germinativa (Delouche, 2002), por consumo de reservas de la simiente durante el almacenamiento (Copeland y McDonald, 2001) o por incremento en los procesos fisiológicos de las mismas como respiración o activación metabólica, entre otros.

La menor germinación registrada durante el tiempo de almacenamiento fue de 91.5 %, valor que supera el estándar requerido para la certificación, que es de al menos 85 % (FAO, 2011), lo que indica que aún después de dos años, los lotes serían viables de certificarse comercialmente.

4.2.2 Vigor

Los resultados de la comparación de medias para vigor (Cuadro 4) muestran que la variedad con mayor IVG fue 'Diamante' (Tukey, 0.05), que superó en 11.2 % a 'Gema' y 'Tecoautla 04', y en 15 % a 'Manzano Tepetlixpa'. Sin embargo, 'Diamante' presentó estadísticamente menor longitud de plántula (LP) respecto a las tres restantes en un 8 %. La primera etapa para dar origen a la germinación es la rehidratación de la semilla con agua por imbibición (Doria, 2010), donde la cantidad de agua absorbida durante esta etapa depende de factores como el tamaño de semilla, que no excede de dos a tres veces el peso seco de esta (Jara, 1996; Méndez *et al.*, 2008). En este contexto, el peso promedio de semilla de 'Diamante' (1.38 mg) es menor que el de las tres variedades restantes, cuyo valor fluctúa de 1.46 a 1.48 mg (Cuadro A1). Esta situación hace evidente que 'Diamante', al ser más pequeña, imbibire más rápido y consecuentemente su IVG fue mayor que el de las variedades restantes. Adicionalmente, al tener menos reservas, su LP fue inferior al de las otras variedades, y aunque no hubo diferencias significativas en el peso seco de plántula (PSP) entre las cuatro variedades, 'Diamante' tiende a mostrar el valor más bajo del grupo.

Los mayores porcentajes de plántulas normales (PN) fueron registrados en las variedades 'Diamante' y 'Tecoautla 04', que superaron a 'Manzano Tepetlixpa' en 10.7 y 10.4 %, respectivamente, mientras que 'Gema' solo fue superada (Tukey, 0.05) por 'Diamante' en 3.9 % de PN. Las diferencias de vigor están

asociadas a las características físicas y químicas de las semillas, que influyen principalmente en la cantidad de reservas y en la eficiencia en su metabolismo (Bortolotto *et al.*, 2008), aunado a la condición genética de las mismas, que presentan, entre otras cosas, diferente precocidad entre variedades. En este contexto, 'Diamante' es un genotipo precoz que proviene de un híbrido intervarietal de las razas Rendidora y Puebla, lo que pudo haber influido en un mayor IVG y consecuentemente en valores altos de PN por tener mayor tiempo para la exposición de sus estructuras esenciales durante la prueba. Por otra parte 'Tecoautla 04' y 'Gema' son de la raza Puebla (Peña *et al.*, 2014), y el hecho de que provengan del mismo origen pudiese explicar su comportamiento similar ($P \leq 0.05$) en todas las variables de vigor evaluadas.

Cuadro 4. Efecto de variedad, ambientes y tiempo de almacenamiento en el vigor en semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.).

	IVG	LP (cm)	PSP (mg)	PN (%)	PN ¹ (%)
VARIEDAD					
‘Gema’	13.30 b ²	4.23 a	9.57 a	92.97	75.86 b
‘Manzano Tepetlixpa’	12.72 b	4.21 a	9.54 a	88.25	70.46 c
‘Tecozautla 04’	13.33 b	4.21 a	9.46 a	94.75	78.72 ab
‘Diamante’	14.98 a	3.88 b	9.23 a	95.53	78.96 a
DMSH	0.68	0.19	0.35		2.44
ALMACÉN					
Laboratorio	13.36 b	4.20 a	9.51 a	92.10	75.18 b
Banco	13.81 a	4.07 b	9.40 a	93.65	76.81 a
DMSH	0.36	0.10	0.19		1.31
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO					
Julio 2014	13.95 a	6.17 a	9.52 b	94.83	78.81 a
Octubre 2014	13.72 ab	4.23 b	9.43 b	90.38	72.81 c
Enero 2015	13.29 ab	3.43 c	10.09 a	91.33	74.03 bc
Abril 2015	12.94 b	3.35 cd	9.57 b	93.13	76.28 ab
Julio 2015	14.03 a	4.44 b	8.94 c	94.58	78.16 a
Octubre 2015	13.56 ab	3.17 d	9.17 bc	93.00	75.93 abc
DMSH	0.92	0.26	0.47		3.31

²Para cada factor, medias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, 0.05); DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; IVG: Índice de velocidad de germinación; LP: Longitud de plántula; PSP: Peso seco de plántula; PN: Plántulas normales, PN¹:Valores de plántulas normales transformados con la formula arco seno $\sqrt{y/100}$.

El vigor en PSP mostró el mismo comportamiento en ambos ambientes de almacenamiento, resultado similar al observado por Pérez *et al.* (2008), en cuyo experimento el PSP decreció entre el segundo y tercer año de almacenamiento. En el mismo contexto, la semilla conservada en el Banco de Germoplasma generó los mayores valores ($P \leq 0.05$) de IVG y PN, superando los obtenidos en simientes almacenados en el Laboratorio de Semillas en un 3.3 y 2.1 %, respectivamente, resultados probablemente debidos a un menor deterioro producto de la conservación a baja temperatura (-20 °C) y baja humedad

relativa (13 %) prevaleciente en el Banco de Germoplasma, y que aunado a un adecuado porcentaje de humedad de semilla (5 - 7 %) al que se almacenó, pudo haber generado que la semilla llegara a un estado vidrioso, que se produce por la acumulación de sacarosa, posiblemente en conjunción con oligosacáridos (como rafinosa), lo que contribuye a preservar la membrana y la estructura de las proteínas (Bradford, 2004). En estas circunstancias, la difusión de moléculas en el citoplasma es mínima y por consiguiente se reduce el deterioro de la semilla (Carrillo *et al.*, 2011), lo que en consecuencia minimiza el efecto negativo en germinación y vigor.

En contraparte el mayor valor de longitud de plántula (LP) se obtuvo de semilla almacenada sin control ambiental en el Laboratorio de Semillas, superando (Tukey, 0.05) en 1.2 % a los resultados de las simientes muestreadas del Banco de Germoplasma. Este comportamiento se contrapone a lo previamente referido en el sentido que la mayor expresión de vigor debió provenir de las semillas almacenadas en las mejores condiciones de almacenamiento. Al respecto, Popinigis (1985) argumenta que el crecimiento de las plántulas es muy variable y fuertemente influenciado por factores genéticos y ambientales durante su establecimiento, lo que puede explicar la discrepancia del resultado previamente discutido.

Los resultados de las comparaciones de medias para valorar el efecto del tiempo de almacenamiento en cuatro variables de vigor (Cuadro 4), muestran diferencias (Tukey, 0.05) en todas las variables. Particularmente, solo en la longitud de plántula (LP) se observa una tendencia de reducción del vigor a mayor tiempo de almacenamiento, pues en el IVG, PSP y PN los valores del primer y último muestreo son iguales ($P \leq 0.05$), lo que supone que en los 15 meses de evaluación y con 27 meses de haberse cosechado la semilla el deterioro no refleja claramente el efecto negativo en el vigor.

Bajo estas circunstancias, se considera que las condiciones de almacenamiento en el laboratorio (23 °C y 23 % H. R.) y Banco de Germoplasma (-20 °C y 13 % H.R.) permitieron en buena medida mantener el vigor de las semillas durante los quince meses de evaluación, ya que está plenamente comprobado que la reducción de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento retardan el deterioro. En el primer caso, la disminución de la temperatura impide el incremento de la tasa de respiración (FAO, 2011), mientras que en el segundo, la baja humedad relativa evita que se eleve el contenido de humedad en la semilla (Navarro *et al.*, 2012) y por lo tanto previene el incremento de la actividad metabólica que podría derivar en liberación de energía y calentamiento (Carrillo *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2012), concluyendo con la pérdida de viabilidad, germinación y vigor de la semilla. Por otra parte, haber secado las semillas (5 - 7 %) previo a su conservación en este experimento, también tuvo un rol importante, en virtud de que seguramente se redujo la tasa

de respiración y consecuentemente la actividad enzimática, desacelerando de este modo el deterioro (Carrillo *et al.*, 2011).

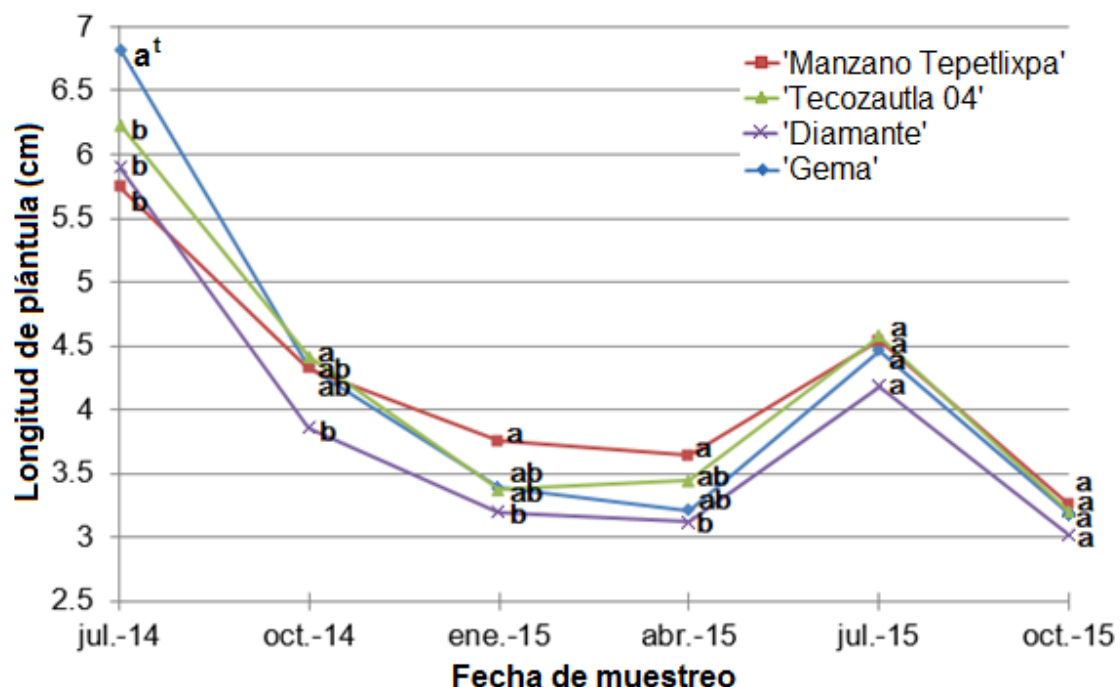
4.3 Interacción

4.3.1 Variedad por tiempo de almacenamiento

Como ya se mencionó previamente, la longitud de plántula (LP) fue el parámetro de vigor donde se ve claramente el efecto del deterioro, pues en 15 meses mostró una reducción de 48.6 % en el último muestreo con respecto a la primera evaluación. Sin embargo, dicho abatimiento se muestra a partir del segundo muestreo cuyos resultados son similares durante los nueve meses siguientes (Cuadro 4).

Este comportamiento se confirma en la gráfica de la interacción variedad por fecha de evaluación (Figura 1), en la que a partir del segundo muestreo existe una tendencia en la disminución de la LP, la cual tiene el mismo comportamiento ($P \leq 0.05$) entre variedades a los 12 y 15 meses de almacenamiento. Con estos resultados es evidente la pérdida del vigor, ya que la disminución del tamaño de plántula es un síntoma del envejecimiento de la semilla que se acrecienta con el transcurrir del tiempo (Pérez *et al.*, 2012), debido a que durante el envejecimiento natural de la semilla se reduce el contenido total de reservas como carbohidratos y proteínas, que causan importantes efectos en el crecimiento y desarrollo de la nueva plántula

(Basavarajappa *et al.*, 1991). No obstante, se aprecia una interacción entre variedad y tiempo de almacenamiento, donde las variedades 'Diamante' y 'Gema' en las primeras cuatro evaluaciones, se agrupan con los menores y mayores valores de LP, respectivamente.



^tMedias con la misma letra en cada fecha de evaluación son iguales (Tukey, 0.05).

Figura 1. Comportamiento de longitud de plántula de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) provenientes de semillas muestreadas trimestralmente en un periodo de 15 meses de almacenamiento.

De este modo el efecto de interacción está básicamente dado por el comportamiento de la LP de las variedades 'Manzano Tepetlixpa' y 'Tecoautla 04', en virtud de que en la primera evaluación reportan valores bajos, mientras que a los tres, seis y nueve meses sus valores de LP tuvieron el mismo comportamiento ($P \leq 0.05$) que en los menores y mayores valores de las

variedades 'Diamante' y 'Gema', respectivamente. Después de esas fechas no hay diferencias entre las variedades.

V. CONCLUSIONES

Tras un periodo de dos años de almacenamiento, la germinación de la semilla de tomate de cáscara sólo decreció 1.97 %. Los valores más altos se obtuvieron con las variedades 'Diamante' y 'Tecoautla 04'. Las cuatro variedades estudiadas mantuvieron una germinación superior al 90%. No se observó diferencias entre los efectos de los dos ambientes de almacenamiento estudiados sobre la germinación.

Las condiciones de almacenamiento del Banco de Germoplasma (-20 °C y 13 % de humedad relativa) favorecieron valores mayores de índice de velocidad de germinación y porcentaje de plántulas normales.

Exceptuando la longitud de plántula que se redujo en el periodo de evaluación, las variables restantes de vigor no muestran una influencia negativa por efecto del tiempo de almacenamiento.

En la prueba de vigor, 'Diamante' presentó los mayores valores de índice de velocidad de germinación y porcentaje de plántulas normales.

VI. LITERATURA CITADA

Aramendiz-Tatis, H.; Cardona, C.; Jarma, A.; Robles, J.; Montalván, R. 2007. Efecto del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agronomía Colombiana* 25(1): 104-112.

Ayala-Villegas, M. J.; Ayala-Garay, O. J.; Aguilar-Rincón, V. H.; Corona-Torres, T. 2014. Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37 (1): 79–87.

Balbuena M., S. 2015. Temperaturas de secado de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 66 p.

Bradford, K. J. 2004. Seed Production and Quality. 1st ed. Department of Vegetable Crop and Weed Science. University of California. Davis CA, USA. 134 p.

Bortolotto, R. P.; Menezes, N. L.; Garcia, D. C.; Mattioni, N. M. 2008. Teor de proteína e qualidade fisiológica de sementes de arroz. *Bragantia* 67(2): 513-520.

Carrillo S., J. A.; Pichardo G., J. M.; Ayala G., O. J.; González H., V. A.; Peña L., A.
2011. Adaptación de un modelo de deterioro a semillas de tomate de cáscara.
Revista Fitotecnia Mexicana 34(1): 53-61.

Copeland, O. L., McDonald, M. B. 2001. Principles of seed science and technology. 4th
edition. Kluwer Press, New York. USA. 488 p.

Coronado G., J. 2015. Rendimiento y calidad de semilla en cuatro variedades de
tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). Tesis de Maestría en
Ciencias en Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma
Chapingo. 86 p.

De la Cuadra I., C.; Mansur V., L.; Verdugo R., G.; Arriagada G., L. 2000. Deterioro de
las semillas de *Leucocoryne* spp. en función del tiempo de almacenaje Trabajo
presentado a XII Reunión Anual de la Sociedad Botánica de Chile y XXVII
Jornadas Argentinas de Botánica efectuado en Concepción entre el 5 y el 8 de
enero del 2000. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía,
Casilla 4-D, Quillota, Chile. pp: 46-55.

Delouche, J. C. 2002. Germinación, deterioro y vigor de semillas. Seed News 6: 6.

Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31(1): 74-85.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. Semillas en Emergencias, manual técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 85 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. Guía para la manipulación de semillas forestales. Almacenamiento de la semilla. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 97 p.

International Seed Testing Association (ISTA). 2004. International rules for seed testing. Rules 2004. ISTA editions. Zurich, Switzerland. 243 p.

Jara N., Luis F. 1996. Biología de las semillas forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. pp. 25

Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2(1): 176-177.

- Marín S., J.; Mejía C., J. A.; Hernández L., A.; Peña L., A.; Carballo C., A. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. Agricultura Técnica en México 33(2): 115-123.
- Martínez S., J.; Peña L., A.; Montalvo H., D. 2004. Producción y Tecnología de Semilla de Tomate de Cáscara. Boletín Técnico No. 4. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 35 p.
- Martínez S., J.; Mendoza V., N. M.; Rodríguez P., J. E.; Peña L., A.; Peña O., G. M. 2006. Efecto de la temperatura en la germinación de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 50: 7-12.
- Méndez Natera, J. R.; Merazo Pinto, J. F.; Montañó Mata, N. J. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). Revista UDO Agrícola 8 (1): 61-66.
- Moraes, M. L. B. 2000. Comportamento da pressão estática e da frente de secagem em uma coluna de sementes de arroz. Tesis Doctoral. Universidad Federal de Pelotas, Brasil. 50 p.

Morales H., J.; Tena Á., A. 2008. Determinación de temperaturas óptimas de germinación en Tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 39 p.

Navarro, M.; Lezcano, J. C. 2008. Efecto del método de secado en la longevidad y calidad de las semillas de *Bauhinia purpurea*. II. Almacenamiento en cámara fría. Pastos y Forrajes 31(1): 53-61.

Navarro, M.; Febles, G.; Torres, V. 2012. Bases conceptuales para la estimación del vigor de las semillas a través de indicadores del crecimiento y el desarrollo inicial. Pastos y Forrajes 35(3): 233-246.

Narayana M., U. M.; Kumar P., P.; Sun Q., W. 2003. Mechanisms of seed ageing under different storage conditions for *Vigna radiata* (L.) Wilczek: lipid peroxidation, sugar hydrolysis, Maillard reactions and their relationship to glass state transition. J. Exp. Bot. 54: 1057-1067.

Peña L., A.; Ponce V., J.J.; Sánchez Del C., F.; Magaña L. N. 2014. Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(4): 381-391.

Pérez C., I.; González H., V. A.; Molina M., J. C.; Ayala G., O. J.; Peña L., A. 2008. Efecto de desarrollo y secado de semillas de *Physalis ixocarpa* Brot. en germinación, vigor y contenido de azúcares. *Interciencia* 33(10): 726-766.

Pérez C., I.; González H., V. A.; Ayala G., O. J.; Carrillo S., J. A.; García S., G.; Peña L., A.; Cruz C., E. 2012. Calidad fisiológica de *Physalis ixocarpa* en función de madurez a cosecha y condiciones de almacenamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(1): 67-78.

Pérez-Camacho, I.; Ayala-Garay, O. J.; González-Hernández, V. A.; Carrillo-Salazar, J. A.; Peña-Lomelí, A.; García-de los Santos, G. 2008. Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas en tomate de cáscara. *Agrociencia* 42(8): 891-901.

Pichardo G., J. M.; Ayala G., O. J.; González H., V. A.; Flores O., C. M.; Carrillo S., J. A.; Peña L., A.; Robledo P., A.; García S., G. 2010. Calidad fisiológica, ácidos

grasos y respiración en semillas de tomate de cáscara deterioradas artificialmente. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(3): 231-238.

Pittcock J. K. 2008. Seed production, processing and analysis. *In: Plant Propagation*. C A Beyl, R N Trigiano (ed.). CRC Press Taylor & Francis Group. U.S.A. pp: 401-406.

Popinigis, F. 1985. *Fisiologia da Semente*. 2 ed. Agiplan. Brasília D. F., Brasil. 289 p.

Rangel F., M. A.; Córdova T., L.; López A., A. P.; Delgado A., A.; Zavaleta M., H. A.; 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.

Sánchez M., J.; Peña L., A. 2015. Variedades de uso común; un breve mirar a la riqueza mexicana. Volumen II tomate de cáscara. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. SAGARPA. México, D.F. 45 p.

Sánchez V., E.; Martínez S., J.; Rodríguez P., E.; Peña L., A.; Mora A., R. 2007. Relación entre pruebas de calidad fisiológica de semillas de tomate de cascara

(*Physalis ixocarpa* Brot.), con el establecimiento en almácigo. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 51: 185-206.

Santiaguillo Hernández, J. F.; Cedillo Portugal, E.; Cuevas Sánchez, J. A. 2010. Distribución geográfica de *Physalis spp.* en México, UACH, Prometeo Editores, México. 245 p.

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Consultada el 25 de julio de 2014 en: www.siap.gob.mx

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 2007. Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas. SNICS, SAGARPA. México D.F. 17 p.

Socorro, A.; Hernández, E.; Calderón, S.; Penichet, H. 2007. Modelo para curvas isotérmicas de humedad de equilibrio en semillas de interés agrícola. Rev. Cub. Física 24: 138-143.

Sokal, R.R.; Rohlf, F.J. 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. Third edition. W.H. Freeman and Company, New York, USA. 887 p.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. Plant physiology. 4th ed. Sinauer Associates Inc. Massachusetts, USA 705 p.

ANEXO

Cuadro A1. Promedio del peso de 100 semillas (mg), de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.), en dos ambientes de almacenamiento.

Muestra	'Gema'		'Manzano Tepetlixpa'		'Tecoautla 04'		'Diamante'	
	L	B	L	B	L	B	L	B
1	149.50	148.00	141.60	145.50	153.20	144.40	138.40	138.20
2	145.70	144.00	148.00	145.00	149.40	146.00	139.10	139.70
3	146.80	142.10	151.10	151.30	147.70	148.40	136.70	138.50
4	145.80	143.80	144.40	140.60	147.50	148.90	137.80	135.10
5	146.20	152.20	151.40	147.20	146.20	153.90	138.50	136.10
6	149.70	148.30	142.90	146.00	147.70	146.30	137.60	135.40
Prom. 1	147.28	146.40	146.57	145.93	148.62	147.98	138.02	137.17
Prom. 2	146.84		146.25		148.30		137.59	
Peso de una semilla.	1.47		1.46		1.48		1.38	

L: Laboratorio de Semillas; B: Banco de Germoplasma; Promedio 1: Peso promedio de las semillas por ambiente; Promedio 2: Peso promedio de las semillas por ambos ambientes.

