



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**TEMPERATURAS DE SECADO DE SEMILLAS DE
TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)**

**TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**



PRESENTA

SANDRO BALBUENA MASCADA

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

MAYO DE 2015

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO



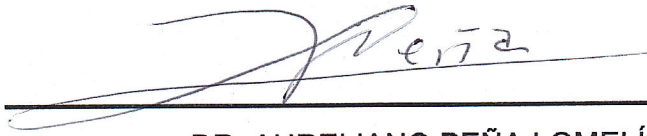
Instituto de Horticultura

TEMPERATURAS DE SECADO DE SEMILLAS DE TOMATE DE CÁSCARA
(*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

Tesis realizada por **Sandro Balbuena Mascada** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

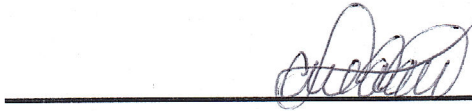
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

ASESOR:



PH.D. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR:



DR. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS

ASESOR:



M.C. NATANAEL MAGAÑA LIRA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con mucho amor a toda mi familia, especialmente a mis padres: Alberta Mascada Cahua y Cosme Balbuena Soriano, que por medio de su cariño, enseñanzas, confianza y apoyo incondicional me han permitido alcanzar innumerables satisfacciones.

A mi hermano Marcos Saith, a quien quiero mucho y agradezco su gran apoyo.

A mis abuelas Lucila y Celia. A mi tía Kenia. A mis primos Elizabeth y Emanuel. Gracias por el cariño y los momentos muy agradables que me brindan.

A Laura, Andrés, Jorge y Sandra por su amistad y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por haberme otorgado la beca que hizo posible lograr un grado más en mi formación profesional.

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

A la Universidad Autónoma Chapingo, institución en la que me he formado profesionalmente.

Al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al personal técnico de los Laboratorios de Análisis de Semillas (Don Mateo) y de Ecología (Yadira) del Departamento de Fitotecnia.

A todos los profesores del Posgrado de Horticultura que contribuyeron en mi formación profesional.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Sandro Balbuena Mascada nació el 17 de Noviembre de 1986 en Ojo de Agua (Las Salinas) municipio de Copala Gro. Realizó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo, generación 2004-2008.

Trabajó en el Programa IICA-SENASICA para evitar de introducción de la fiebre aftosa y enfermedades exóticas o bajo campaña en México en el periodo de 2008 a 2012, desempeñando actividades de inspección de mercancías de origen agropecuario procedentes del extranjero reguladas por SAGARPA.

En enero de 2013 ingresó a la Maestría en Ciencias en Horticultura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia del cultivo de tomate de cáscara.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivo general.....	4
1.3.1 Objetivos particulares.....	4
1.4 Hipótesis.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Definición de semilla.....	6
2.2 Maduración de las semillas.....	6
2.3 Germinación.....	8
2.4 Calidad de las semillas.....	8
2.4.1 Pruebas de calidad.....	9
2.4.2 Análisis de semillas de tomate de cáscara.....	10
2.4.3 Factores que reducen la viabilidad.....	10
2.5 Vigor en semillas.....	11
2.6 Investigaciones sobre calidad de semillas de tomate de cáscara.....	12
2.7 Deterioro de semillas.....	14
2.8 Generalidades sobre el secado de semillas.....	16
2.8.1 Principios del secado.....	17
2.8.2 Métodos de secado.....	19
2.8.2.1 Por el uso de equipo.....	19
2.8.2.2 Por el movimiento de semillas.....	20

2.8.2.3	Por la periodicidad de suministro de calor.....	21
2.8.3	Daños térmicos.....	23
2.9	Almacenamiento.....	25
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1	Localización del experimento.....	27
3.2	Factores de estudio.....	27
3.3	Diseño de tratamientos.....	28
3.3.1	Proceso de secado de semillas.....	28
3.3.2	Calidad fisiológica de semillas.....	28
3.4	Proceso de extracción de semillas.....	29
3.5	Proceso de secado de semillas.....	29
3.6	Evaluación de tratamientos.....	31
3.6.1	Características físicas de las semillas y parámetros de secado.....	31
3.6.1.1	Contenido de Humedad Inicial de las Semillas (HIS).....	31
3.6.1.2	Contenido de Humedad Final de las Semillas (HFS).....	32
3.6.1.3	Tiempo de secado de semillas en Alcanzar Masa Constante (TAMC).....	32
3.6.1.4	Porcentaje de Peso Eliminado en forma de agua durante el Secado (PPES).....	32
3.6.2	Calidad fisiológica de las semillas.....	32
3.6.2.1	Pruebas de germinación.....	32
3.6.2.2	Pruebas de vigor.....	33
3.7	Diseño experimental.....	35
3.8	Análisis estadístico.....	35

3.8.1	Modelo lineal de análisis de varianza factorial completo empleado para estudiar las variables de secado y calidad física de semillas.....	35
3.8.2	Modelo lineal de análisis de varianza para el caso factorial completo empleado para evaluar las variables de germinación y vigor.....	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1	Proceso de secado.....	38
4.1.1	Análisis de varianza de características físicas de semilla y secado.....	38
4.1.2	Comparación de medias de variedades.....	38
4.1.3	Comparación de medias de temperaturas de secado.....	40
4.1.4	Interacción Variedad x Temperatura.....	41
4.1.5	Correlaciones.....	43
4.2	Pruebas de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara.....	44
4.2.1	Análisis de varianza de calidad fisiológica de semillas....	44
4.2.2	Comparación de medias de variedades.....	45
4.2.3	Comparación de medias de temperaturas de secado.....	47
4.2.4	Interacción Variedad x Temperatura.....	49
4.2.5	Periodo de almacenamiento.....	53
4.2.6	Interacción Periodo x Variedad.....	55
4.2.7	Correlaciones.....	56
V.	CONCLUSIONES.....	58
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Análisis de varianza de tres variables de calidad física de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) en ocho temperaturas de secado.....	38
Cuadro 2.	Comparación de medias de tres variables de calidad física de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) durante su secado bajo ocho temperaturas.....	39
Cuadro 3.	Comparación de medias de cuatro variables de secado de semillas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) bajo ocho temperaturas.....	41
Cuadro 4.	Coeficientes de correlación de Pearson entre cuatro variables de calidad física de semillas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) en ocho temperaturas de secado.....	43
Cuadro 5.	Análisis de varianza de siete variables de calidad fisiológica de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) bajo ocho temperaturas de secado y tres periodos de almacenamiento.....	44
Cuadro 6.	Comparación de medias de seis variables de calidad fisiológica de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.).....	46
Cuadro 7.	Comparación de medias de seis variables de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) bajo ocho temperaturas de secado....	47
Cuadro 8.	Comparación de medias de seis variables de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) en tres periodos de almacenamiento..	53
Cuadro 9.	Coeficientes de correlación de Pearson entre siete variables de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) almacenadas en tres periodos.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Porcentaje de peso eliminado (PPES) de las semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) durante el proceso de secado bajo ocho temperaturas.....	42
Figura 2.	Porcentaje de germinación en la primera semana (G1) de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) secadas bajo ocho temperaturas.....	49
Figura 3.	Porcentaje de germinación total (GT) de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) secadas bajo ocho temperaturas.....	50
Figura 4.	Índice de Velocidad de Germinación (IVG) de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) secadas bajo ocho temperaturas.....	51
Figura 5.	Peso seco promedio de plántulas (PS) de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) originadas de semillas secadas bajo ocho temperaturas.....	52
Figura 6.	Longitud promedio de plántulas (LP) de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.), originadas de semillas almacenadas en tres periodos.....	55

TEMPERATURAS DE SECADO DE SEMILLAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

DRYING TEMPERATURES OF HUSK TOMATO SEEDS (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horm.)

Sandro Balbuena Mascada¹ y Aureliano Peña Lomelí²

RESUMEN

El secado de semillas es esencial para su proceso de producción, y la temperatura usada puede afectar su calidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes temperaturas de secado de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara en tres periodos de almacenamiento, sobre características de calidad fisiológica, germinación y vigor. Cuatro repeticiones de cinco gramos de semillas de cada variedad fueron secadas en una estufa hasta llegar a masa constante empleando las temperaturas siguientes: ambiental, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60°C. La calidad fisiológica fue evaluada con la prueba de germinación estándar con conteos semanales midiendo índice de velocidad de germinación, longitud total y masa seca de plántulas. La temperatura afectó la calidad de las semillas. En el secado a 30°C las semillas de tres variedades expresaron máxima calidad, y por arriba de 45 °C se reduce su potencial fisiológico.

Palabras clave: germinación, vigor, daños térmicos, velocidad de germinación, almacenamiento, variedades.

ABSTRACT

The drying of seeds is essential for their production process, and the temperature used may affect their quality. The aim of this study was to evaluate the effect of different drying temperatures of four husk tomato varieties seeds in three storage periods on characteristics of physiological quality, germination and vigor. Four repetitions of five grams of seeds for each cultivar were dried in an oven until constant mass was reached, the following temperatures: environmental, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60°C were used. The physiological quality was evaluated with the standard germination test doing weekly counts, measuring germination rate index, total length and seedling dry mass. The temperature affected the quality of the seeds. Drying at 30°C seeds of three varieties expressed the highest quality, and above 45°C, their physiological potential is reduced.

Keywords: germination, vigor, thermal damage, germination rate, storage, cultivars.

¹Autor de la tesis/Graduated student

²Director/ Thesis advisor.

I. INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) pertenece a la familia Solanaceae y subfamilia Solanoideae, tribu Solaneae, que contempla 18 géneros (Valtierra y Ramos, 2003). Dentro del género *Physalis* se ha estimado que existen alrededor de 100 especies, de las cuales más de 50 % son endémicas del territorio nacional. Por tal razón México se considera el centro de origen y diversidad del taxón (D'Arcy, 1973; Martínez, 1998).

1.1 Importancia del cultivo de tomate de cáscara

De todas las especies de *Physalis* reportadas en México, sólo *P. ixocarpa* es cultivada comercialmente por su redituabilidad (Pérez y Granados, 2001). Es un cultivo que se produce en casi todo México, parte de Estados Unidos y Centro América. Su fruto se utiliza desde épocas precolombinas en la preparación de gran número de platillos, sobre todo en salsas y ensaladas (Pérez *et al.*, 2008a). La herbolaria medicinal mexicana le atribuye al fruto propiedades curativas (Pérez y Granados, 2001).

La superficie cosechada de tomate de cáscara ha aumentado desde 1932. Este cultivo adquirió importancia en los setenta, y desde los ochenta se exporta en fresco o industrializado a los Estados Unidos (Pérez y Granados, 2001).

Esta hortaliza ha adquirido mayor relevancia en los últimos años debido a su fácil manejo, a la alta demanda por parte de la población, y a la intensificación de la tecnología de producción. Prueba de ello es que de 1990 al 2013 la producción

nacional se incrementó de 272,628 a 588,224.94 toneladas. En la actualidad es el séptimo cultivo hortícola después del jitomate, chile, papa, cebolla, sandía y pepino. Es sembrado en 26 estados de la República Mexicana con una superficie total en 2013 de 44,522.36 ha y con un rendimiento medio de 14.682 t·ha⁻¹. Destacan en su producción los estados de Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Estado de México, Puebla y Michoacán (SIAP, 2013).

1.2 Justificación

La presente investigación forma parte del Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo, donde actualmente el proceso de producción y secado de semilla de esta especie se realiza de forma manual, al aire libre y en condiciones climáticas adversas debido a que es en temporada de lluvias. Esto lo hace un proceso lento, demandante de mucha mano de obra, superficie, altamente dependiente de las condiciones ambientales y es vulnerable a reducir la calidad del producto por contaminación. Debido a que provienen de frutos de pulpa, como los tomates, los melones y los pepinos, las semillas de tomate de cáscara retienen un alto contenido de humedad en el momento de la recolección y absorben más agua durante el proceso de extracción húmeda, por consiguiente están demasiado húmedas cuando éste finaliza, por lo que se recomienda que deben someterse al secado de inmediato (George, 1983).

El secado cuidadoso, efectuado después de la cosecha y con el empleo del equipo adecuado es indispensable en muchas regiones (Popinigis, 1988). En

este sentido, George (1983) establece que las semillas producidas en zonas templadas y en los trópicos húmedos deberán secarse con aire caliente. Este procedimiento se utiliza especialmente en la producción a gran escala o si el producto debe almacenarse por periodos prolongados.

La propagación del tomate de cáscara es principalmente por medio de semillas y debido a su amplio cultivo esta es de gran demanda. Sin embargo, mucha de la ofrecida en el mercado es de baja calidad. Por lo anterior, es de suma importancia para el Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara realizar investigaciones y generar información que dé origen a tecnologías que le ayuden a superar los problemas inherentes a su producción. Además, se deben distribuir las variedades generadas, para ofrecerlas con la calidad y en los volúmenes adecuados en las regiones agrícolas de producción y de esta manera contribuir a que los productores logren rendimientos superiores a las $14.68 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ conseguidas actualmente en condiciones de riego, y con el uso de técnicas adecuadas de cultivo acercarlos al potencial de $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Peña y Santiaguillo, 1999).

A pesar de la importancia de este cultivo a nivel nacional, no se han desarrollado investigaciones en fisiología de semillas relacionadas al secado. De acuerdo a Popinigis (1988), estas son necesarias para determinar:

a) Temperaturas de secado, velocidad del aire y espesor de la camada de semillas, que permitan secar rápida y económicamente la semilla preservando la calidad fisiológica.

b) Técnicas de secado y aireación que permitan reducir los costos de secado y de inversión en instalaciones sin reducción de la calidad fisiológica de las semillas.

c) Procesos alternativos de secado adaptados a especies tropicales a ser utilizados en diferentes condiciones climáticas, con el objetivo de reducir costos y obtener semillas de alta calidad fisiológica.

1.3 Objetivo general

Analizar el efecto de ocho temperaturas durante el secado de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara y tres periodos de almacenamiento, sobre sus características de calidad fisiológica de germinación y vigor.

1.3.1 Objetivos particulares

Determinar la temperatura de secado de semillas de tomate de cáscara que permita la máxima expresión de la germinación y vigor.

Determinar la temperatura máxima de secado de semillas de tomate de cáscara, a partir de la cual disminuyan sus características de calidad fisiológica.

Comparar el comportamiento de las características de calidad fisiológica de germinación y vigor entre las semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara durante su almacenamiento.

1.4 Hipótesis

En el secado artificial de semillas de tomate de cáscara con temperaturas superiores a la ambiental disminuyen sus características de calidad fisiológica de germinación y vigor.

Habrà disminución de las características de calidad fisiológica germinación y vigor, al aumentar el tiempo de almacenamiento de las semillas de tomate de cáscara secadas artificialmente a temperaturas superiores a la ambiental.

El comportamiento de los parámetros de calidad fisiológica germinación y vigor de las semillas de las cuatro variedades de tomate de cáscara serán similares entre sí, independientemente de las temperaturas de secado a las que se sometan.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Definición de semilla

Las semillas son el origen de la mayor parte de las hortalizas. Por consiguiente, son la base indirecta de todos los demás insumos, como los fertilizantes, los productos químicos para protección de las plantas, el riego, así como la mano de obra para el cuidado, la cosecha y la comercialización del producto (George, 1983).

El Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2007) define a la semilla como la que se obtiene del fruto después de la fecundación de la flor, los frutos o partes de éstos, así como partes de vegetales o vegetales completos que se utilizan para la reproducción y propagación de las diferentes especies vegetales.

2.2 Maduración de las semillas

La maduración de semillas es una fase que comprende las transformaciones morfológicas, fisiológicas y funcionales que se inician en el momento de fertilización del óvulo y terminan con la acumulación máxima de materia seca (Popinigis, 1985). Este estadio es definido como el punto de madurez fisiológica y genéricamente, es considerado el momento en que las semillas se desligan de la planta y presentan su mayor potencial de calidad, indicado por el mayor peso de materia seca, germinación y vigor.

El proceso de desarrollo o maduración de la semilla es controlado genéticamente y se caracteriza por la síntesis y acumulación de reservas, posteriormente

movilizadas durante la germinación, que conducen a la reanudación del crecimiento y a la formación de una plántula (Marcos, 2005).

Desde la madurez fisiológica hasta el momento de su utilización en la siembra, las semillas están sujetas a la pérdida de calidad fisiológica por los cambios bioquímicos y fisiológicos que ocurren. El deterioro, en muchos casos imperceptibles en la fase inicial, se manifiesta en el transcurso del tiempo, ocasionando reflejos negativos en el vigor. Moraes (2000) asevera que la rapidez con la que ocurre la pérdida de calidad en la semilla después de la madurez fisiológica es función de la especie, del cultivar y de las condiciones impuestas a las semillas en el campo, después de la cosecha y durante las operaciones de beneficio y almacenamiento.

De manera general, es posible afirmar que la calidad de las semillas decrece a partir de la madurez fisiológica, dependiendo de las condiciones climáticas, principalmente temperatura y humedad relativa del ambiente, en que quedan expuestas hasta alcanzar el momento de la cosecha (Garcia *et al.*, 2004).

La tecnología para la producción de semillas preconiza genéricamente la realización de la cosecha en el momento más próximo posible de la madurez fisiológica. Se sabe entretanto, que las semillas, de una manera general, alcanzan la madurez fisiológica con contenidos de agua superiores a 30 %, no compatibles con la tecnología disponible para la cosecha mecánica (Villela y Silva, 1992; Peske y Barros, 1997; Miranda *et al.*, 1999).

2.3 Germinación

La germinación de las semillas es la reactivación del crecimiento activo del embrión que resulta en la ruptura de la cubierta de la semilla y la emergencia de la planta joven (Copeland, 1976). Esta definición asume que la semilla ha permanecido en estado de reposo posteriormente a su formación y desarrollo, el cual termina cuando se dé el tiempo y lugar adecuado para la reactivación del crecimiento.

En las reglas del ISTA (1996) la germinación de las semillas ortodoxas, como las del tomate de cáscara, es descrita como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales del embrión de la semilla, que indican la capacidad de producir una planta normal en condiciones favorables. Señala que en la mayoría de las especies el proceso de germinación se compone de dos fases principales:

- 1) Inicio del metabolismo activo en el embrión, seguido rápidamente por su crecimiento y diferenciación, apoyado por la utilización de material de reserva embriónica.
- 2) Crecimiento continuo del embrión, apoyado por el flujo de productos de la hidrólisis de los cotiledones, reservas alimentarias extraembriónicas tales como el endospermo. Esta fase continúa hasta que la planta se establece como organismo fotosintético o muere al haber agotado la reserva alimenticia.

2.4 Calidad de las semillas

La calidad de la semilla es un concepto múltiple que comprende varios componentes: físico, genético, sanitario y fisiológico. En cualquier sistema de producción de cultivos un aspecto importante es el uso de semilla de alta calidad,

donde el principal requisito para producir plantas vigorosas con mayor capacidad competitiva es la calidad fisiológica, que está referida a la facultad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas (Sánchez *et al.*, 2007).

2.4.1 Pruebas de calidad

Existen diversas pruebas que se utilizan para estimar calidad, como es el caso de la germinación estándar. Esta prueba es utilizada principalmente en la industria de las semillas. Sin embargo, debido a que es desarrollada bajo condiciones favorables comúnmente no es suficiente para predecir el comportamiento de las mismas en condiciones adversas en el campo, de tal modo que es necesario hacer evaluaciones de calidad de semilla mediante pruebas de vigor, para predecir de mejor manera su establecimiento en condiciones comerciales (Sánchez *et al.*, 2007).

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 (Nogarajan y Pandita, 2001). Estas pruebas (ISTA, 2004) se aplican principalmente en especies agrícolas de semilla grande (granos). Halmer (2000) señala que en semillas pequeñas, como en flores, hortalizas y pastos, se ha encontrado una correlación baja entre el envejecimiento artificial y la calidad fisiológica. Sin embargo, no se han estudiado suficientes variantes de temperatura y humedad de deterioro en estas semillas.

2.4.2 Análisis de semillas de tomate de cáscara

En las Reglas Internacionales de Análisis de Semillas no existe una recomendación de temperatura para ensayos de germinación de esta especie en laboratorio, por lo que normalmente la prueba se hace a 25 °C, que es la condición que la ISTA establece para el género *Physalis*, situación que no muestra resultados convincentes (Martínez *et al.*, 2006).

2.4.3 Factores que reducen la viabilidad

En el manejo comercial de semillas hortícolas los factores más importantes que reducen su viabilidad son la alta humedad ambiental y la alta temperatura, pero sobre todo el alto contenido de humedad de la semilla (Copeland y McDonald, 2001). La importancia de este factor en la preservación de las semillas radica en el papel del agua en los procesos fisiológicos que determinan el vigor y la longevidad de las mismas, así como en el desarrollo de insectos y hongos de almacén (Vadillo *et al.*, 2004).

En semillas ortodoxas, el contenido de humedad (CH) es probablemente el factor más importante que determina su longevidad. Si se reduce el CH se reduce también la respiración y se desacelera el envejecimiento de la semilla, por lo que se prolonga su viabilidad (Pérez *et al.*, 2012).

El almacenamiento con contenidos de humedad en base húmeda entre 0 y 4 % es muy seguro, siempre y cuando se realice 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 (Willan, 1991).

2.5 Vigor en semillas

El vigor de las semillas es la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel potencial de actividad y comportamiento de la misma o de la partida de semilla durante la germinación y emergencia de las plántulas (Hebblethwaite, 1983).

El desarrollo del vigor puede visualizarse como creciente al transcurrir el tiempo y la madurez sobre la planta madre, y decreciente con la edad después de la cosecha. 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. Si la cosecha es prematura tal vez la semilla no alcance su máximo vigor. El daño mecánico provocado al cosechar o durante la manipulación puede alterar el vigor y acelerar el deterioro. Después de la cosecha, el deterioro progresa en función de la temperatura y el contenido de humedad, llevando en definitiva a la muerte (Hebblethwaite, 1983).

2.6 Investigaciones sobre calidad de semillas de tomate de cáscara

La investigación en tomate de cáscara es escasa, en especial en relación con la calidad de la semilla y su deterioro. 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.*, 2008a).

La semilla es típicamente una estructura de resistencia, que contiene una planta embrionaria y anatómicamente diseñada para permitir que la planta sobreviva períodos desfavorables en su vida (Mendoza, 2006).

Las semillas de *Physalis* varían en color de amarillo a marrón, excepto en *P. parvianthera* que tiene semillas negras. Varían en tamaño de 0.6-3.0 mm de largo (Martínez *et al.*, 1998). Todas las especies tienen semillas reniformes, excepto *P. parvianthera*. Carrillo *et al.* (2011) determinaron experimentalmente que el peso promedio de la biomasa seca de una semilla de *Physalis ixocarpa* Brot. es de 1.27×10^{-6} kg.

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 (Pérez *et al.*, 2012).

En un estudio sobre el deterioro por envejecimiento natural en semilla de tomate de cáscara, Pérez *et al.* (2008a) estimaron que el peso de mil semillas disminuyó

35 % en los primeros dos años. Ellos también pudieron determinar tasas anuales de pérdidas de viabilidad (8.3 %), de emergencia de plántula en arena (6.9 %) y de germinación (8.7 %), esta última superior a la de 7.6 % encontrada en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Doijode, 1987), e inferior a la de 13.2 % reportada en chile (*Capsicum annuum* L.) (Thakur *et al.*, 1988).

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 ($32.9 - 138.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) por lo que atribuyen la pérdida de calidad fisiológica a la disminución en la respiración.

Pérez *et al.* (2012) determinaron que a los 55 días después de la polinización la semilla de tomate de cáscara se puede considerar fisiológicamente madura, edad en la que alcanza una germinación promedio de 70 %, al igual que la semilla de 65 días, la semilla de 55 días puede mantener su capacidad germinativa inicial (70 %) durante por lo menos ocho meses cuando se almacena en baja humedad relativa (24 %) o en frío (5 °C).

Sánchez *et al.* (2007) desarrollaron una investigación con el objetivo de identificar la prueba de vigor que presentara mayor asociación con la emergencia en campo. De sus resultados se desprende que las pruebas de laboratorio tuvieron un comportamiento similar entre ellas. Sin embargo, no se pudieron asociar con las pruebas de emergencia en invernadero y campo. Finalmente, las pruebas de agua caliente, cloruro de amonio, hidróxido de sodio y envejecimiento acelerado

empleadas por ellos fueron más eficientes para pronosticar la germinación en campo que la prueba de germinación estándar.

La evolución de la calidad fisiológica (germinación y vigor) durante el desarrollo de la semilla de tomate de cáscara y su relación con tres tipos de secado de semillas fue estudiada por Pérez *et al.* (2008b). Los resultados del experimento mostraron que el secado elevó la capacidad germinativa de las semillas, tanto inmaduras como maduras, cualquiera que fuese su etapa de desarrollo. Determinaron también que es posible realizar la cosecha de las semillas a partir de los 42 días después de la floración-polinización y con el secado alcanzar una germinabilidad > 90 %. Sin embargo, este afectó negativamente su vigor.

Al evaluar el efecto de la temperatura en la germinación de semillas de tomate de cáscara, Martínez *et al.* (2006) probaron que existe una relación directamente proporcional entre la temperatura y el porcentaje de germinación e índice de velocidad de germinación, por lo que proponen que la prueba de germinación estándar en semillas de esta especie se lleve a cabo de 30 a 35 °C. Morales y Tena (2008) coinciden en que al germinar las semillas de tomate de cáscara a estas temperaturas, se produjo una mejor expresión de la germinación y menor variación en índice de velocidad de germinación y porcentaje de germinación.

2.7 Deterioro de semillas

El envejecimiento es el proceso de deterioro y muerte de las semillas, y el vigor el principal componente de la calidad que es afectado por el deterioro. Las

relaciones del envejecimiento con la germinación y con el vigor son similares. El vigor de semillas y el envejecimiento están fisiológicamente ligados, en forma recíproca o inversa con la calidad de semillas. El vigor disminuye a medida que el envejecimiento aumenta. Un síntoma del envejecimiento de semillas es la disminución del tamaño de la plántula producida, que es un indicador de su vigor (Delouche, 2002; Jara *et al.*, 2006; Mapula *et al.*, 2008).

Algunos cambios fisiológicos en los tejidos celulares que pueden estar asociados con el envejecimiento fisiológico de las semillas (Palma *et al.*, 2000; Copeland y McDonald, 2001; Delouche, 2002; Rodríguez *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2009) son:

- 1) Pérdida de reservas nutritivas debida a la respiración, proteínas y azúcares no reductores, en tanto que los azúcares reductores y ácidos grasos libres se incrementan.
- 2) Acumulación de subproductos tóxicos de la respiración o inhibidores del crecimiento.
- 3) Pérdida de actividad de los sistemas enzimáticos.
- 4) Pérdida en la capacidad de las proteínas desecadas para recombinarse y formar moléculas protoplásmicas activas en una rehidratación ulterior.
- 5) Envejecimiento de membranas celulares semipermeables.
- 6) Peroxidación de lípidos, lo que hace que se liberen radicales libres que reaccionan y dañan a otros componentes celulares.
- 7) Alteraciones del ADN nuclear, que producen mutaciones y daño fisiológico.

Pérez *et al.* (2012) establecen que no se sabe hasta qué punto estos efectos causan deterioro, pero se ha propuesto que la generación de radicales libres es el primer efecto del daño por envejecimiento que sufren los sistemas de la célula.

Estos mecanismos pueden presentarse durante el almacenamiento y causar el envejecimiento de la semilla, el cual disminuye el porcentaje de germinación, la velocidad de crecimiento de la plántula y la tolerancia a condiciones adversas (Bradford, 2004; Estrada *et al.*, 2005; Quinto *et al.*, 2009).

Cualquiera que sea el mecanismo preciso del deterioro de semillas, en las semillas ortodoxas la pérdida de viabilidad es un fenómeno regido en gran medida por la respiración. Es probable que las condiciones que reduzcan la tasa de respiración, sin dañar la semilla, prolonguen su vida en almacén. Estas condiciones se pueden propiciar con bajos valores de contenido de oxígeno, de humedad y de temperatura (Pérez *et al.*, 2012).

2.8 Generalidades sobre el secado de semillas

El secado es un proceso fundamental de la tecnología para la producción de semillas de alta calidad, pues permite la reducción del contenido de agua a niveles adecuados para el almacenamiento, preserva las semillas de alteraciones físicas y químicas inducidas por el exceso de humedad, y torna posible la conservación de la calidad inicial durante el almacenamiento, posibilitando cosechas próximas a la madurez fisiológica (Baudet *et al.*, 1999).

El secado artificial de semillas es utilizado como una operación de rutina en las empresas de semillas. A pesar de las ventajas que tiene, es una operación de riesgo, pues puede provocar daños irreversibles si es realizada sin los conocimientos y cuidados necesarios para la preservación de la calidad inicial de las semillas (Carvalho, 1994; Miranda *et al.*, 1999).

El secado de semillas es un tema complejo y, en la mayoría de las veces, las instalaciones disponibles son las posibles y no las ideales. En muchos casos, los sistemas de secado son obligados a operar fuera de su régimen normal para que la unidad de beneficio de semillas pueda maximizar su desempeño. Así, se vuelve importante que los operadores tengan consciencia de las condiciones de secado que consiguen proporcionar a las semillas, buscando minimizar las inevitables e irreversibles pérdidas que ocurren a partir del momento que las semillas alcanzan su máxima calidad fisiológica (García *et al.*, 2004).

La cantidad de semillas es el factor limitante en la selección del método de secado, y cuando se requiere secar grandes cantidades es imprescindible la utilización del secado artificial, cuyos costos de operación están relacionados con volumen, velocidad de secado y temperatura del aire (García *et al.*, 2004).

2.8.1 Principios del secado

El secado demanda la existencia de gradientes de presión parcial de vapor de agua entre las semillas y el aire de secado. De acuerdo con las propiedades higroscópicas, el flujo de vapor de agua ocurre en el sentido de mayor hacia la

menor presión parcial de vapor. Así, el calentamiento del aire de secado determina la reducción de la humedad relativa y el consecuente aumento del potencial de retención de agua. El secado de semillas, mediante convección forzada del aire calentado, establece dos procesos que ocurren simultáneamente: transferencia de agua superficial de las semillas para el aire y movimiento de agua del interior hacia la superficie de las semillas dependiente del gradiente hídrico entre esas dos regiones (Villela, 1991; Moraes, 2000).

El secado puede ser también entendido como un proceso simultáneo de transferencia de calor del aire a las semillas y de masa (agua) de las semillas al aire. Así, en función de la necesidad de energía térmica para la evaporación del agua, ocurre un enfriamiento del aire de secado por la pérdida de calor sensible. El balance energético es nulo porque el aire recupera, en forma de vapor de agua (calor latente), el que perdió en forma de calor sensible. De ese modo, el secado se considera un proceso isoentálpico, en el que ocurre reducción de la temperatura del aire y aumentos de la razón de mezcla, de la humedad relativa, de la presión de vapor y de la temperatura del punto de rocío. Por otro lado, la entalpía y la temperatura del bulbo húmedo permanecen prácticamente constantes (Villela y Silva, 1992; Cavariani, 1996).

La deshidratación de semillas promueve varias funciones, esencialmente bioquímicas, protectoras de paredes y organelos celulares (Walters *et al.*, 2005). Sin embargo, también puede haber efectos perjudiciales que desvanecen los efectos protectores y fomentan daños en células de la semilla. Por tanto, es

necesario conocer los procesos que ocurren al cambiar el nivel de hidratación así como los mecanismos adversos que dan lugar a efectos deletéreos.

2.8.2 Métodos de secado

Garcia *et al.* (2004) señalan que los métodos de secado se clasifican en cuanto al uso de equipo (natural o artificial), al movimiento de las semillas (estacionario o continuo) y a la periodicidad del suministro de calor (continuo o intermitente).

2.8.2.1 Por el uso de equipo

El secado natural es basado en las acciones del viento y del sol para la remoción de la humedad de las semillas. Tal proceso es limitado por el clima, cuando las condiciones de humedad relativa del aire y temperatura no lo permiten o cuando se trata de mayores volúmenes de semillas. A pesar de presentar bajo costo es un método lento, y las semillas se deben revolver periódicamente y no ser expuestas en camadas superiores a los 4 - 6 cm (Maia, 1995). Presenta las desventajas que necesita mucha mano de obra, una vez que las operaciones producen bajos rendimientos y el proceso es totalmente dependiente de las condiciones climáticas disponibles (Carvalho, 1994).

En el secado artificial la fuente de calor puede variar. Lo que caracteriza a este método es que el proceso se ejecuta con auxilio de alternativas mecánicas, eléctricas o electrónicas y se fuerza el aire que cruza la masa de semillas (Cavariani, 1996). Tiene las ventajas de permitir el control de la temperatura, del

flujo de aire de secado y del tiempo de exposición de las semillas, factores cruciales para asegurar la eficiencia del proceso (Garcia *et al.*, 2004).

Basada en la capacidad del aire de suministrar calor y en la necesidad de aumentar la temperatura del aire, de acuerdo con Villela (1991), el secado artificial puede ser dividido en dos categorías:

- a) Secado a baja temperatura, en el cual se utiliza el aire natural o calentado de 1 - 8 °C encima de la temperatura ambiente.
- b) Secado en alta temperatura, que consiste en calentar el aire a temperaturas iguales o mayores a 8 -10 °C arriba de la temperatura ambiente.

2.8.2.2 Por el movimiento de semillas

El secado en flujo continuo implica mantener las semillas en constante movimiento en el interior del secador. En el secado continuo, las semillas pasan a través del secador apenas una vez, quedando expuestas un determinado periodo al aire calentado y otro en la cámara de enfriamiento. Las semillas entran húmedas a la cámara de secado y son descargadas enfriadas con la humedad deseada. En esas condiciones, la masa de semillas alcanza temperaturas elevadas, quedando expuestas a los daños térmicos, que pueden causar reducción en la viabilidad y el vigor (Aguirre y Peske, 1992; Villela y Silva, 1992; Carvalho, 1994). Aunque no se recomienda para el secado de semillas, ese método puede ser utilizado observadas algunas precauciones. Villela y Peske (1997) sugieren el aumento de la velocidad de flujo de las semillas, lo que permite el aumento del número de pasos por la cámara de secado, reduciendo de esa

forma, el tiempo de exposición al aire calentado y mantiene la temperatura de la masa de semillas en niveles no perjudiciales para la conservación de su calidad.

Otra alternativa que ha sido evaluada es la utilización del método continuo adaptado para el secado de semillas. Este consiste en el empleo de secadores que presentan, en lo mínimo, dos cámaras de secado (García *et al.*, 2004).

2.8.2.3 Por la periodicidad de suministro de calor

El secado intermitente es caracterizado por la permanencia de las semillas en contacto con el aire calentado por periodos cortos, intercalados con periodos sin exposición al flujo de aire calentado en la cámara de ecualización.

El periodo de ecualización posibilita la redistribución de la humedad en el interior de las semillas, reduciendo los gradientes hídricos y térmicos (Villela y Peske, 1997). En el secado intermitente, el periodo de ecualización permite aumentar la cantidad de agua removida por unidad de tiempo en relación al secado continuo. Esto debido al hecho de la velocidad de secado, después de la remoción del agua superficial, está determinada por la velocidad de transporte de agua del interior a la superficie de las semillas.

El secado intermitente de semillas permite la utilización de temperaturas elevadas de aire de secado, sin aumentar del todo, excesivamente, la temperatura de la masa de semillas debido al periodo de ecualización. Esto reduce los riesgos de provocar daños térmicos, volviéndose más eficiente que

los otros sistemas, pues la cantidad de agua extraída, por unidad de tiempo, es mayor (Villela, 1991; Baudet *et al.*, 1999).

El secado estacionario consiste en forzar el flujo aire a través de una camada de semillas que permanece estática en el interior del secador, usualmente un silo con fondo falso perforado. El secado ocurre de la base hacia la cima de la camada de semillas o en un silo, con tubo central perforado, que permite la distribución del flujo de aire del centro a la periferia (Garcia *et al.*, 2004).

El secado estacionario ocurre en camadas, en función de la formación del frente de secado, que corresponde a las regiones de intercambio de agua entre las semillas y el aire. En la región anterior al frente de secado, las semillas permanecen secas y la temperatura es mayor y, en la región posterior, se tienen semillas húmedas y de baja temperatura (Moraes, 2000).

El secado-aireación elimina el periodo de enfriamiento en el secador, transfiriendo las semillas aun calientes a un silo, donde serán enfriadas con flujos de aire de 0.3 a 1.0 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. En ese tipo de secado, el propio calor almacenado en las semillas es utilizado para provocar la migración de humedad, reduciendo en tiempo de secado con fuente de calor externa, lo que puede provocar una reducción del orden de 20 a 40 % de energía y aumento de la capacidad de secado de 50 a 75 %, comparado con el secado de flujo continuo (Dalpasquale *et al.*, 1987).

El secado con aire ambiente forzado es un método simple. Sin embargo, solamente es viable en regiones o épocas de clima seco cuando las condiciones

de humedad relativa del aire son inferiores a aquellas en que las semillas alcanzan el equilibrio, o sea, 70 y 75 %. Si ese sistema fuera debidamente proyectado y manejado, podrá tornarse económica y técnicamente eficiente, una vez que posibilita la obtención de un producto seco y de alta calidad (Queiroz y Pereira, 1982).

En general, el secado con aire ambiental forzado propicia mejor calidad de semillas. En la toma de decisiones el productor debe hacer un análisis crítico de los costos pues se trata de un proceso lento que requiere de 4 a 8 semanas, es limitado a la humedad inicial de 22 a 24 % y el secado y almacenamiento son en el mismo silo, minimizando la manipulación de semillas (Garcia *et al.*, 2004).

2.8.3 Daños térmicos

Durante el proceso de secado, las semillas sufren cambios físicos, provocados por gradientes de temperatura y humedad, que ocasionan expansión, contracción y alteraciones en la densidad y porosidad. El proceso de secado no aumenta el porcentaje de semillas quebradas, pero puede provocar fisuras internas o superficiales, volviendo las semillas más susceptibles a la quiebra durante el beneficio (Villela, 1991).

Según Cavarani (1996), la causa primaria del daño producido por altas temperaturas en tejidos vegetales es la desintegración de las membranas celulares, posiblemente, por alteraciones en los lípidos que las constituyen. También se acepta la teoría de que la temperatura excesivamente alta puede

provocar, entre otras alteraciones, desnaturalización de proteínas. Los daños fisiológicos causados por el secado se pueden reflejar en alteraciones en los sistemas subcelulares, incluyendo cromosomas y mitocondrias, en la reducción del número de granos de almidón en el eje embrionario, en mayor lixiviación de electrolitos y azúcares, en la producción de pigmentos carotenoides, y en reducción de permeabilidad de membranas celulares y tasa respiratoria.

La sensibilidad fisiológica al daño térmico es función de la especie, genotipo, contenido de agua, temperatura, tiempo de exposición y velocidad de secado. Estos daños pueden generar fisuras, capaces de volver las semillas fácilmente quebradizas en las operaciones de beneficio, además de interferir en los mecanismos de intercambios hídricos y gaseosos y aumentar la predisposición al ataque de insectos y microorganismos (Motta, 1997).

La manifestación del daño térmico puede ser verificada a través del análisis de germinación, por la presencia de plántulas anormales, reducción en el porcentaje de germinación y velocidad de germinación, por el análisis de fisuras internas, principalmente en arroz, o superficiales en maíz (Harrington, 1972; Nelist y Hughes, 1973). Los daños térmicos pueden no manifestar efectos inmediatos en la germinación, con todo, después de un periodo de almacenamiento, el vigor de las semillas puede sufrir reducciones considerables (Popinigis, 1985).

Teniendo a la vista la importancia del secado de semillas, se deben buscar métodos alternativos de secado, como por ejemplo, la combinación de los métodos discutidos, buscando reducir los costos de secado con aumento de la

eficiencia energética del proceso, preservación de los recursos y del medio ambiente (García *et al.*, 2004).

2.9 Almacenamiento

Cuando se han finalizado las operaciones para la extracción de las semillas es necesario mantenerlas en las mejores condiciones, con el fin de asegurar al máximo su poder germinativo y otros parámetros de calidad. Las semillas almacenadas constituyen un medio de producción de primera importancia en los programas de cultivo de plantas hortícolas de un país y representan un vínculo esencial para las generaciones sucesivas (George, 1989).

Los factores más importantes que pueden afectar la calidad de la semilla durante el almacenamiento son:

Factores mecánicos anteriores a la recolección. Las semillas dañadas mecánicamente son más vulnerables a las plagas y enfermedades de almacén. También se pueden producir daños durante el procesamiento de la semilla que tiene excesiva humedad, especialmente cuando son inmaduras. Por el contrario, la excesiva deshidratación produce semillas quebradizas predispuestas a romperse (George, 1989).

El ambiente del almacén. Los dos factores ambientales más importantes que pueden afectar a la calidad de la semilla durante el almacenamiento son la temperatura y la humedad relativa. En la práctica es la humedad relativa el factor que juega un papel más decisivo, en primer lugar porque el contenido de

humedad de la semilla es función de la humedad relativa y en segundo porque la incidencia de hongos e insectos en almacén viene influenciada por la humedad relativa en el seno de la masa de semillas (George, 1989).

Contenido de humedad de la semilla. La semilla que se adapta mejor al almacenamiento es la que tiene un contenido de humedad no mayor del 10 % de su peso. El coeficiente metabólico de las semillas es extremadamente bajo, a menudo indetectable. En este caso es hidrófila y capaz de absorber agua, incluso del vapor de agua de la atmósfera. Así, por muchas precauciones que se hayan tomado al disminuir su contenido de humedad por desecación antes del almacenamiento, puede absorber rápidamente agua otra vez (George, 1989).

La temperatura. Es otro de los principales factores del medio que deben ser tenidos en cuenta en el almacenamiento de las semillas. La disminución de la vitalidad de las semillas se retarda con bajas temperaturas; aunque este principio se aplica generalmente, dichas bajas temperaturas son utilizadas solamente en el caso de almacenamiento especial de lotes de semillas de alto valor como germoplasma (George, 1989).

En la práctica, el efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa es el que reduce la viabilidad potencial o la longevidad de la semilla desde el comienzo de su permanencia en el almacenamiento. El punto al que debe ser decidido el control de estos factores dependerá del valor de la semilla y del clima del lugar de almacenamiento (George, 1989).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

El presente trabajo de investigación se realizó en el periodo de junio a diciembre de 2014 en los Laboratorios de Ecología y de Análisis de Semillas del Departamento de Enseñanza e Investigación en Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en la Carretera México-Texcoco Km 38.5, en Texcoco, Estado de México, en las coordenadas geográficas 19°30' LN y 98°59' LW y a una altitud de 2,250 metros sobre el nivel del mar.

El manejo del cultivo fue el mismo en cada año de producción: trasplante a campo abierto en la primera semana de abril, a una densidad de 30,000 plantas·ha⁻¹. La cosecha de frutos se realizó en la segunda semana de junio (Martínez *et al.*, 2004).

3.2 Factores de estudio

Se estudiaron tres factores. El primero fueron las variedades, al que correspondieron cuatro genotipos de tomate de cáscara producidas en el ciclo primavera-verano 2014. Las variedades Diamante, Gema y Tecozautla 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 segundo factor de estudio fueron las temperaturas de secado en ocho niveles: 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 °C y se emplearon como testigos semillas secadas a temperatura ambiente.

El tercer factor de estudio fueron los tiempos de almacenamiento de las semillas secadas: cero, dos y cuatro meses.

3.3 Diseño de tratamientos

3.3.1 Proceso de secado de semillas

Con el propósito de determinar algunos parámetros del proceso de secado y de calidad física de las semillas, se realizó un diseño factorial completo, producto de las combinaciones de las cuatro variedades con las ocho temperaturas, generándose 32 tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones, del cual resultaron 128 unidades experimentales.

3.3.2 Calidad fisiológica de semillas

El diseño utilizado fue factorial completo, producto de las combinaciones de las cuatro variedades con las ocho temperaturas y los tres periodos de almacenamiento, por lo que se generaron 96 tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones, lo que dió por resultado 384 unidades experimentales.

3.4 Proceso de extracción de semillas

Los frutos se cosecharon 60 días después de la floración plena, les fue removida la cáscara y fueron lavados. Pérez *et al.* (2012) afirman que semillas de *P. ixocarpa* logran la madurez fisiológica a los 55 días de edad.

Las semillas fueron extraídas de manera manual con la ayuda de un tamiz de acero contra el cual fueron presionados y frotados los frutos. Se empleó un kilogramo de estos por cada unidad experimental.

La mezcla de semillas con pulpa obtenida fue sometida a tres decantaciones para separar las completamente llenas y de interés de las inmaduras, la pulpa y residuos de cáscara. Posteriormente fueron puestas a escurrir en coladeras plásticas y se les removió el exceso de humedad con papel filtro para facilitar su manipulación.

3.5 Proceso de secado de semillas

La unidad experimental consistió en cinco gramos de la semilla escurrida, los cuales se pesaron en una balanza Ohaus Pioneer (Ohaus Corp, USA) y se distribuyeron de manera uniforme en bases de cajas Petri Kimax de vidrio (de 50 mm de diámetro por 15 mm de fondo) e inmediatamente fueron colocadas en una Incubadora FELISA FE-132D (Fabricantes Feligneo S.A de C.V, Zapopan Jal. México) para la aplicación de los diferentes niveles de temperaturas de secado. Las semillas que fungieron como testigo fueron secadas en condiciones de laboratorio, sin la incidencia de luz solar directa y con buena ventilación.

Durante el proceso de secado, las muestras de semillas fueron pesadas en la misma balanza analítica para monitorear su masa. El tratamiento de temperatura concluyó una vez que el peso de éstas llegó a ser constante.

Al finalizar la aplicación de todos los niveles de temperatura de secado, los conglomerados de semillas fueron deshechos y estas fueron clasificadas por medio de una separadora neumática Seedburo (Seedburo Equipment Company, USA) con una velocidad de aire de $9.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Las semillas completamente llenas fueron almacenadas en sobres de papel satín en condiciones de laboratorio sin incidencia de luz solar directa, para ser utilizadas posteriormente en las pruebas de vigor y germinación. Transcurrieron 19 días desde el inicio del secado de las primeras muestras de semillas hasta el establecimiento de la primera prueba de germinación y vigor.

Las condiciones ambientales durante el periodo de secado y almacenamiento de las semillas fueron registradas mediante un sensor Hobo HO8-004-02 (Onset Computer Corporation, USA).

Las condiciones ambientales de secado en el laboratorio fueron:

Temperatura $24.8 \pm 2.71 \text{ }^{\circ}\text{C}$; Humedad relativa $23.76 \pm 0.38 \%$; Temperatura de punto de rocío $2.73 \pm 2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; Humedad absoluta $5.48 \pm 0.98 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$; Intensidad luminosa $2921.86 \pm 3704.83 \text{ lum}\cdot\text{m}^{-2}$.

Las condiciones ambientales del almacenamiento en laboratorio fueron:

Temperatura $23.43 \pm 0.64 \text{ }^{\circ}\text{C}$; Humedad relativa $23.55 \pm 0.06 \%$; Temperatura de punto de rocío $1.46 \pm 0.56 \text{ }^{\circ}\text{C}$; Humedad absoluta $4.95 \pm 0.18 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.6 Evaluación de tratamientos

Con el propósito de determinar el efecto de tratamientos, las evaluaciones se realizaron en dos etapas.

La primera de ellas fue cuantificar las características físicas de las semillas antes, durante y al final del proceso de secado. En la segunda etapa, la calidad fisiológica fue evaluada por medio de las pruebas de germinación y de vigor.

3.6.1 Características físicas de las semillas y parámetros de secado

Se cuantificaron las características físicas de las semillas antes, durante y al final del proceso de secado.

3.6.1.1 Contenido de Humedad Inicial de las Semillas (HIS)

De las semillas húmedas de cada unidad experimental, una vez escurridas, se pesaron muestras de un gramo en una balanza analítica Ohaus Pioneer (Ohaus Corp, USA). Estas fueron colocadas en cajas Petri de vidrio e introducidas en una estufa de secado Stabletemp 52120-02 (Cole Parmer Instrument Company, IL, USA) a 72 °C durante 72 horas (Pérez *et al.*, 2012). Posteriormente, se les cuantificó la masa final y se calculó el porcentaje de humedad inicial empleando la fórmula de Bewley y Black (1994).

3.6.1.2 Contenido de Humedad Final de las Semillas (HFS)

Al concluir la aplicación de los niveles de temperaturas de secado, se tomó una muestra de 0.3 g de semillas y se determinó el contenido final de humedad empleando el mismo procedimiento y equipo que en la cuantificación de (HIS).

3.6.1.3 Tiempo de secado de semillas en Alcanzar Masa Constante (TAMC)

Se registró el tiempo que duró la aplicación de los niveles de temperatura desde que se metió cada lote de semillas húmedas en la estufa hasta que llegaron a masa constante. Estas fueron pesadas a intervalos de 2.5 horas en los niveles de temperatura ambiente hasta los 50 °C y lapsos de 1.5 h para 55 y 60 °C.

3.6.1.4 Porcentaje de Peso Eliminado en forma de agua durante el proceso de Secado (PPES)

Con los datos de masa de las muestras al inicio y los del final del secado se calculó el porcentaje de peso eliminado en forma de agua de las semillas.

3.6.2 Calidad fisiológica de las semillas

3.6.2.1 Pruebas de germinación

Se evaluó la calidad fisiológica de las semillas de todos los tratamientos mediante pruebas de germinación estándar. Para esta 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), en oscuridad por 21 días según las normas del ISTA (2004). Se aplicaron los riegos necesarios con agua destilada. Los caracteres evaluados durante esta prueba fueron:

Porcentaje de germinación (PG). Se evaluó al finalizar la prueba de germinación estándar, con base en el número de semillas germinadas en relación con el total. Se realizaron conteos en la primera **(G1)**, segunda **(G2)**, tercera semana **(G3)** y el total de la prueba **(GT)**, que fue la suma de las tres semanas.

3.6.2.2 Pruebas de vigor

Se trabajó de acuerdo a las normas del ISTA (2004). Las unidades experimentales fueron colocadas en una cámara germinadora Precision 818 (Thermo Scientific, USA) a 30 ± 1 °C; condición propuesta por Martínez *et al.* (2006) y 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. Los riegos se aplicaron diariamente con agua destilada.

Los caracteres evaluados en esta prueba fueron:

Índice de velocidad de germinación (IVG). Durante la prueba de vigor este dato se obtuvo a partir de conteos de semillas germinadas realizados cada 48 horas,

consideradas a la emergencia de la radícula. Se calculó de acuerdo con la 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). Al término de la prueba de vigor, a partir de una muestra aleatoria de 10 plántulas por unidad experimental, se les midió la longitud desde la punta de la raíz primaria hasta la punta de las hojas cotiledonares y se obtuvo el promedio en centímetros.

Peso promedio de plántulas secas (PS). Las mismas plantas evaluadas en el carácter anterior fueron secadas hasta peso constante durante 72 h a 72 °C en una estufa Wisconsin Memmert (Wisconsin Oven Distributors Inc., USA). Posteriormente se pesaron en una balanza analítica Ohaus Pioneer (Ohaus Corp, USA) y se obtuvo el promedio del peso de plántulas en miligramos.

3.7 Diseño experimental

Para las pruebas de germinación estándar la 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 cinco ml de agua destilada.

Para las pruebas de vigor, 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 con 10 ml de agua destilada.

3.8 Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza en los caracteres evaluados de acuerdo al diseño de tratamientos factorial y al diseño experimental completamente al azar con el programa estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., USA)

Posteriormente se realizaron comparaciones de medias de Tukey ($P = 0.05$) para los factores correspondientes, sus interacciones y finalmente se obtuvieron las correlaciones lineales de Pearson entre pares de variables.

3.8.1 Modelo lineal de análisis de varianza factorial completo empleado para estudiar las variables de secado y calidad física de las semillas

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Respuesta obtenida en la k-ésima repetición de la i-ésima variedad, de la j-ésima temperatura de secado.

μ = Efecto medio general.

A_i = Efecto atribuido a i-ésimo nivel del factor variedad.

B_j = Efecto atribuido a j-ésimo nivel del factor temperatura de secado.

$(AB)_{ij}$ = Efecto atribuido a la interacción entre el i-ésimo nivel del factor variedad y el j-ésimo nivel del factor temperatura de secado.

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

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

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + e_{ijkl}$$

Dónde:

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

μ = Efecto medio general.

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

B_j = Efecto atribuido al j-ésimo nivel del factor temperatura de secado.

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

$(AB)_{ij}$ = Efecto atribuido a la interacción entre el i-ésimo nivel del factor variedad y el j-ésimo nivel del factor temperatura de secado.

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

$(BC)_{jk}$ = Efecto atribuido a la interacción entre el j-ésimo nivel del factor temperatura de secado y el k-ésimo nivel del factor periodo de almacenamiento de semilla.

$(ABC)_{ijk}$ = Efecto atribuido a la interacción entre el i-ésimo nivel del factor variedad, el j-ésimo nivel del factor temperatura de secado 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 Proceso de secado

4.1.1 Análisis de varianza de características físicas de semilla y secado

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 1) mostraron significancia estadística del factor variedad para las tres variables estudiadas en el proceso de secado, al igual que el factor temperatura. La interacción Variedad x Temperatura mostró significancia estadística solamente en HIS y PPES. Los coeficientes de variación de las cuatro variables evaluadas durante el secado indican que los resultados son confiables.

Cuadro 1. Análisis de varianza de tres variables de calidad física de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en ocho temperaturas de secado.

F.V.	GL	HIS (%)	HFS (%)	PPES (%)
Var	3	221.59 **	4.82 *	250.05 **
Temp	7	23.94 **	51.20 **	31.22 **
Var*Temp	21	5.88 *	1.95 NS	6.37 *
Error	96	3.34	1.41	3.44
Total	127			
Media		45.94	6.35	43.41
CV		3.98	18.68	4.27

NS, *, **, No significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente; F.V.: Factor de variación; Var: Variedades; Temp: Temperaturas; GL: Grados de libertad; HIS: Humedad inicial de semillas; HFS: Humedad final de las semillas; PPES: Porcentaje de peso eliminado durante el secado.

4.1.2 Comparación de medias de variedades

Los resultados de la comparación de medias entre variedades (Cuadro 2) muestran que las cuatro presentaron diferentes contenidos de humedad inicial

(HIS), la variedad Manzano Tepetlixpa mostró la mayor y Tecozautla 04 la menor ($P = 0.05$). 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).

Cuadro 2. Comparación de medias de tres variables de calidad física de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) durante su secado bajo ocho temperaturas.

VARIEDADES	HIS (%)	HFS (%)	PPES (%)
Diamante	46.25 b ^z	5.80 b	43.84 b
Gema	45.04 c	6.38 ab	42.46 c
Manzano Tepetlixpa.	49.37 a	6.67 a	47.00 a
Tecozautla 04	43.09 d	6.55 ab	40.34 d
Media	45.94	6.35	43.41
DMSH	1.19	0.78	1.21

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P = 0.05$); HIS: Humedad inicial de semillas; HFS: Humedad final de las semillas; PPES: Porcentaje de peso eliminado durante el secado; DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

El mayor contenido de humedad al final del secado lo presentaron las variedades Manzano Tepetlixpa, Tecozautla 04 y Gema. En contraste, Diamante fue la menos húmeda, estadísticamente menor que Manzano Tepetlixpa ($P = 0.05$) y también la que alcanzó una humedad final inferior a la media.

En referencia al PPES, la comparación de medias tuvo el mismo comportamiento que se observó en HIS es decir, las cuatro variedades son diferentes. Las semillas de la variedad Manzano Tepetlixpa tuvieron mayor contenido de humedad inicial, las que más porcentaje de peso eliminaron y numéricamente fueron las más húmedas al final del proceso de secado. Las semillas de la

variedad Tecozautla 04, al contrario, fueron las menos húmedas al inicio de la prueba de secado y las que menos masa eliminaron durante dicho proceso, aunque su contenido final de agua fue estadísticamente igual al de las semillas de Diamante y Manzano Tepetlixpa. De acuerdo con Cavariani (1996), el porcentaje de agua retirado de las semillas está relacionado con la movilidad del agua del interior hacia la superficie de las semillas que, a su vez, es dependiente del genotipo, del estado de maduración, del contenido de agua, de la permeabilidad de la capa protectora y de la composición física del lote de semillas. Este autor también asegura que influyen la temperatura, la humedad relativa, el flujo de aire y el método de secado. Sin embargo, estas condiciones fueron las mismas para todas las variedades. García *et al.* (2012) señalan que la velocidad de secado también puede ser función de la composición química de las semillas y coincide en que depende del método utilizado en el proceso de secado.

4.1.3 Comparación de medias de temperaturas de secado

La comparación de medias entre temperaturas de secado (Cuadro 3) muestra que las semillas secadas al ambiente y a 30 °C fueron las más húmedas al final del proceso ($P = 0.05$).

Las semillas más secas y las que más peso eliminaron al final de la prueba, fueron las expuestas a temperaturas superiores a los 45 °C, mientras que las semillas secadas a 35 °C y 40 °C eliminaron menos masa.

Las semillas secadas a 60 °C alcanzaron peso constante a los 255 minutos de iniciada la prueba, 5.83 veces más rápido que las secadas a temperatura

ambiente. Se observa que con el aumento de la temperatura ocurrió la disminución del tiempo de secado, debido a la mayor velocidad de eliminación de agua. Esto coincide con lo encontrado por Ullman *et al.* (2010) en el comportamiento de semillas de piñón manso (*Jatropha curcas* L.) durante su secado bajo diferentes temperaturas. Christ *et al.* (1997) por otra parte, aseveran que entre mayor sea la temperatura de secado mayor será la velocidad de secado y consecuentemente mayores serán los daños ocurridos.

Cuadro 3. Comparación de medias de cuatro variables de secado de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) bajo ocho temperaturas.

TEMP. (°C)	HIS (%)	HFS (%)	PPES (%)	TAMC (Min)
AMB	47.18 a ^z	9.31 a	43.15 bc	1486.0
30	46.37 ab	8.15 ab	43.31 abc	1225.0
35	43.72 c	5.58 c	40.85 d	843.0
40	44.75 bc	7.59 b	42.37 cd	630.0
45	47.31 a	4.13 d	45.27 a	500.0
50	46.61 ab	4.98 cd	44.81 ab	370.0
55	45.75 ab	5.79 c	43.39 abc	300.0
60	45.82 ab	5.28 cd	44.11 abc	255.0
Media	45.94	6.35	43.41	701.1
DMSH	2.00	1.30	2.03	

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P = 0.05$); TEMP.: Temperaturas; HIS: Humedad inicial de semillas; HFS: Humedad final de las semillas; PPES: Porcentaje de peso eliminado durante el secado; TAMC: Tiempo de secado de semillas en alcanzar masa constante, registrado para cada lote, sin repeticiones; AMB= 24.8 ± 2.7 °C; DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

4.1.4 Interacción Variedad x Temperatura

La interacción Variedad x Temperatura mostró significancia estadística ($P \leq 0.05$) en las variables de HIS y PPES. La variable HIS está directamente ligada a la

genética y composición química de las semillas y es independiente de la temperatura a la que se vaya a secar.

En la gráfica de los datos de PPES de las cuatro variedades en las diferentes temperaturas de secado (Figura 1), se observa que las semillas de la variedad Manzano Tepetlixpa fueron superiores en cuanto a pérdida de masa, mientras que las del cultivar Tecozautla 04 fueron las que menos eliminaron, situación que coincide con lo obtenido en el Cuadro 2 de comparación de medias por variedad.

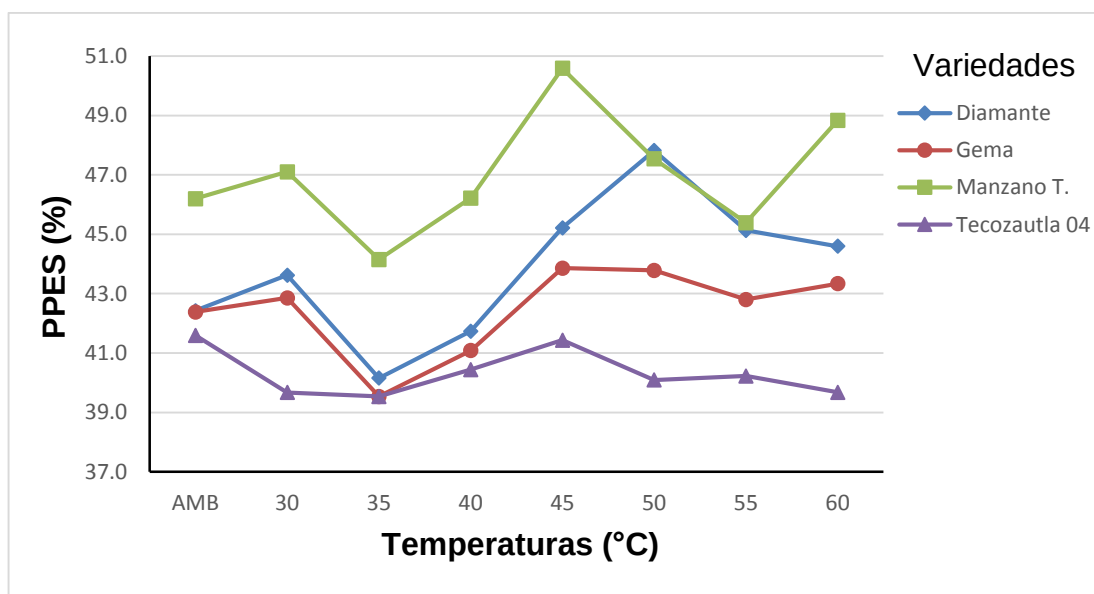


Figura 1. Porcentaje de peso eliminado (PPES) de las semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) durante el proceso de secado bajo ocho temperaturas.

También se aprecia que al secar las semillas a 35 °C las variedades Diamante, Gema y Tecozautla 04 tuvieron un comportamiento similar, pues perdieron cerca del 40 % de la masa de sus semillas, mientras que a esa misma temperatura Manzano Tepetlixpa fue superior a ellas perdiendo 4 % más, y es también a los 35 °C cuando los cuatro cultivares eliminaron menos masa.

4.1.5 Correlaciones

En el Cuadro 4 se muestran correlaciones altamente significativas ($P \leq 0.01$) de HIS con el PPES, resultados que confirman que a mayor contenido inicial de humedad de la semilla, se incrementa el peso eliminado por las mismas lo que a su vez coincide con el comportamiento del cultivar Manzano Tepetlixpa en el Cuadro 2.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre cuatro variables de calidad física de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en ocho temperaturas de secado.

	HFS	TAMC	PPES
HIS	-0.034 NS	0.056 NS	0.926 **
HFS		0.668 **	-0.191 *
TAMC			-0.149 NS

NS, *, **, No significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente; HIS: Humedad inicial de semillas; HFS: Humedad final de las semillas; TAMC: Tiempo de secado de semillas en alcanzar masa constante, registrado para cada lote, sin repeticiones; PPES: Porcentaje de peso eliminado durante el secado.

HFS también se correlaciona con TAMC significativamente ($P \leq 0.01$), lo que prueba que para reducir el contenido de humedad final de las semillas, éstas tienen que ser expuestas por más tiempo a los tratamientos de temperaturas de secado. Así mismo, coincide con lo observado por Sirisomboon y Kitchaiya (2009) durante el secado de piñón manso (*Jatropha curcas* L.) a temperaturas de 40, 60 y 80 °C ya que dichos investigadores verificaron que con la elevación de la temperatura de secado, aumentó la tasa de secado y disminuyó la relación de humedad y el tiempo necesario para que el producto llegase al contenido de agua 0.05 % en base seca.

HFS tiene correlación negativa significativa ($P \leq 0.05$) con PPES, lo que demuestra que al aumentar el contenido final de humedad de las semillas, disminuye el peso eliminado por las mismas.

4.2 Pruebas de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara

4.2.1 Análisis de varianza de calidad fisiológica de semillas

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 5) mostraron significancia estadística para seis de las siete variables estudiadas en los factores variedad, temperatura y su interacción.

Cuadro 5. Análisis de varianza de siete variables de calidad fisiológica de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) bajo ocho temperaturas de secado y tres periodos de almacenamiento.

F.V.	GL	G1 (%)		G2 (%)		G3 (%)		GT (%)		IVG		LP (cm)		PS (mg)	
Var	3	14868.03	**	36.01	*	1.76	NS	13473.88	**	743.59	**	10.92	**	0.257	**
Temp	7	10973.01	**	275.34	**	7.25	**	8042.84	**	800.49	**	1.17	NS	0.062	**
Var*Temp	21	4102.94	**	55.38	**	2.62	**	3597.90	**	232.38	**	1.01	NS	0.020	*
Per	2	1938.60	**	417.82	**	2.53	NS	510.36	**	149.12	**	71.58	**	0.125	**
Var*Per	6	34.50	NS	6.81	NS	1.00	NS	40.32	NS	4.32	NS	2.43	*	0.006	NS
Temp*Per	14	84.59	NS	14.72	NS	1.32	NS	78.57	NS	4.97	NS	1.09	NS	0.006	NS
Var*Temp*Per	42	73.43	NS	6.50	NS	0.91	NS	61.39	NS	2.90	NS	1.20	NS	0.005	NS
Error	288	125.87		11.65		1.04		98.72		5.69		0.97		0.010	
Total	383														
Media		69.39		4.85		0.68		74.92		13.66		4.76		0.923	
CV		16.17		70.32		150.35		13.26		17.47		20.63		10.926	

NS, *, **, No significativo y significativo a una $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente; F.V.: Factor de variación; Var: Variedades; Temp: Temperaturas; Per: Periodos de almacenamiento; GL: Grados de libertad; G1: Porcentaje de germinación semana uno; G2: Porcentaje de germinación semana dos; G3: Porcentaje de germinación semana tres; GT: Porcentaje de germinación total; IVG: Índice de Velocidad de germinación; LP: Longitud promedio de plántula; PS: Peso seco promedio de plántula; CV: Coeficiente de variación.

El factor periodo de almacenamiento también mostró significancia estadística en seis variables, sin embargo su interacción con variedades solo tuvo significancia en la variable longitud de plántula (LP). Los coeficientes de variación (CV) de los Porcentajes de germinación G1, GT, IVG, PS indican que los resultados son confiables y en LP son aceptables. Los CV de los G2 y G3 fueron altos debido a la heterogeneidad en la germinación de las semillas.

4.2.2 Comparación de medias de variedades

Los resultados de la comparación de medias entre variedades (Cuadro 6) muestran que los cultivares Tecozautla 04 y Gema tuvieron mejor comportamiento en la primera semana de la prueba de germinación ($P = 0.05$), mientras que Diamante tuvo el menor valor, mucho más bajo que la media. En la segunda semana, Diamante, Gema y Manzano Tepetlixpa presentaron los mayores valores. Las variedades que mostraron diferencias estadísticas fueron Diamante y Tecozautla 04, ésta con el menor porcentaje de germinación.

Al término de la prueba de germinación, los mayores resultados fueron obtenidos por Gema y Tecozautla 04. Éstas junto a Manzano Tepetlixpa también expresaron los mayores pesos secos de plántulas.

Tecozautla 04 expresó también los más altos valores en las variables IVG y LP, mientras que en la variedad Diamante se observó el menor desempeño ($P = 0.05$) en GT, IVG, PS y numéricamente en LP.

Cuadro 6. Comparación de medias de seis variables de calidad fisiológica de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.).

VAR	G1 (%)	G2 (%)	GT (%)	IVG	LP (cm)	PS (mg)
D	51.41 c ^z	5.63 a	57.87 c	9.544 c	4.377 c	0.847 b
G	76.37 a	5.04 ab	82.16 a	14.716 b	4.793 b	0.960 a
M	70.88 b	4.51 ab	75.98 b	14.695 b	4.683 bc	0.942 a
T	78.90 a	4.24 b	83.68 a	15.687 a	5.193 a	0.945 a
Media	69.39	4.85	74.92	13.660	4.760	0.923
DMSH	4.19	1.27	3.71	0.890	0.366	0.038

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P = 0.05$); VAR: Variedades; G1: Porcentaje de germinación semana uno; G2: Porcentaje de germinación semana dos; GT: Porcentaje de germinación total; IVG: Índice de Velocidad de germinación; LP: Longitud promedio de plántula; PS: Peso seco promedio de plántula; DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

Debido a que la semilla se produjo bajo las mismas condiciones, esta diferencia de comportamiento de vigor entre las variedades puede atribuirse, entre otros factores, a la condición genética de las semillas, ya que los cultivares estudiados provienen de razas diferentes. Manzano Tepetlixpa es de la raza Manzano, Diamante es producto de las razas Puebla x Rendidora, mientras que Tecozautla 04 y Gema son de la raza Puebla (Peña *et al.*, 2014). El origen de las variedades pudo influir en la germinación por el diferente grado de domesticación e inclusive diferencias en la precocidad, lo que genera semillas con diversos estados de madurez y que puede reflejarse en los valores dispares de germinación.

Al respecto, la composición química influye tanto en el vigor como en la velocidad de secado y en el potencial de crecimiento (García *et al.*, 2004). En este contexto, Bortolotto *et al.* (2008) del mismo modo afirman que diferencias en vigor asociadas a las características de las semillas son generalmente atribuidas a la

composición química, principalmente con relación a la cantidad de reservas o a la eficiencia en el metabolismo.

4.2.3 Comparación de medias de temperaturas de secado

La comparación de medias para el efecto de las temperaturas (Cuadro 7) mostró que al secar las semillas a 30 °C se favoreció la germinación ($P = 0.05$) durante la primer semana de la prueba, pues se obtuvieron valores 7.08 % y 9.94 % superiores a los valores más cercanos, obtenidos en las semillas secadas a temperatura ambiente y 35 °C, respectivamente.

Cuadro 7. Comparación de medias de seis variables de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) bajo ocho temperaturas de secado.

TEMP	G1 (%)	G2 (%)	G3 (%)	GT (%)	IVG	PS (mg)
AMB	81.33 b ^z	3.38 bc	0.48 c	85.19 ab	15.794 b	0.973 a
30	88.42 a	2.15 c	0.31 c	90.88 a	18.982 a	0.962 a
35	78.48 b	4.21 bc	0.52 c	83.21 b	15.755 b	0.925 abc
40	78.58 b	4.75 b	0.50 c	83.83 b	15.353 bc	0.944 ab
45	55.48 d	8.94 a	1.33 a	65.75 c	7.921 d	0.895 bc
50	66.17 c	4.04 bc	0.63 bc	70.83 c	14.493 bc	0.921 abc
55	43.13 e	8.08 a	1.25 ab	52.46 d	7.108 d	0.868 c
60	63.50 c	3.29 bc	0.42 c	67.21 c	13.877 c	0.898 bc
Media	69.39	4.85	0.68	74.92	13.660	0.923
DMSH	6.99	2.13	0.64	6.19	1.487	0.063

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P = 0.05$); TEMP: Temperatura; G1: Porcentaje de germinación semana uno; G2: Porcentaje de germinación semana dos; G3: Porcentaje de germinación semana tres; GT: Porcentaje de germinación total; IVG: Índice de Velocidad de germinación; PS: Peso seco promedio de plántula; AMB= 24.8 ± 2.7 °C; DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

El secado de semillas a 30 °C favoreció la G1 e IVG, debido a que presentaron los valores más altos ($P = 0.05$), siendo superior sobre la ambiental en 7.08 % y 3.19, respectivamente, y estadísticamente iguales en GT. Las semillas secadas

a estas temperaturas mantienen un porcentaje de germinación superior al 85 % que es el mínimo establecido por el SNICS para la certificación de semillas para siembra (SNICS, 2014).

La media del porcentaje de germinación en la primera semana de la prueba fue de 69.39 % y al secar las semillas a temperaturas mayores o iguales a 45 °C se obtuvieron germinaciones menores. El mismo fenómeno ocurre con las variables de GT, IVG y PS. Esto indica que a mayor temperatura de secado se reducirá más la calidad de las semillas independientemente del cultivar, tal y como concluyeron Menezes *et al.* (2012) al secar semillas de arroz. Gowda *et al.* (1992) establecieron que para obtener germinación superior al 70 % en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la temperatura máxima de secado permisible es de 45 °C.

Rosa *et al.* (2000), al estudiar los daños de secado en semilla de maíz, mencionan que a los 45 °C, la temperatura de secado más alta de su estudio, pudieron ocurrir daños en los sistemas de membranas celulares, lo que disminuye la capacidad de restablecimiento de su organización durante la imbibición y en consecuencia, liberar más solutos hacia el medio.

El calentamiento excesivo de las semillas durante el secado por tiempo elevado o alta temperatura de exposición pueden provocar daños como reducción en el porcentaje y velocidad de germinación, formación de plántulas anormales, rupturas al interior de las semillas y de tegumentos, y alteración de la coloración (Nelist y Hughes, 1973); adicionalmente señalan que la extensión de los daños

depende de la interacción entre temperatura, tiempo de exposición y contenido de agua de las semillas.

4.2.4 Interacción Variedad x Temperatura

Esta interacción se encontró en las variables G1, GT, IVG y PS e indica que el comportamiento de los cultivares varía con la temperatura de secado.

Se graficó el comportamiento de las variables G1, GT, IVG y PS de las cuatro variedades bajo las ocho diferentes temperaturas de secado, a partir de las cuales se establece que:

Al secar las semillas a 30 °C las variedades Gema, Tecozautla 04 y Diamante lograron la máxima germinación (90 %) en la primera semana de la prueba (Figura 2), mientras que el cultivar Manzano Tepetlixpa quedó rezagado con el 78 %.Ésta última alcanza su máxima germinación (80 %) cuando se secó a temperatura ambiental.

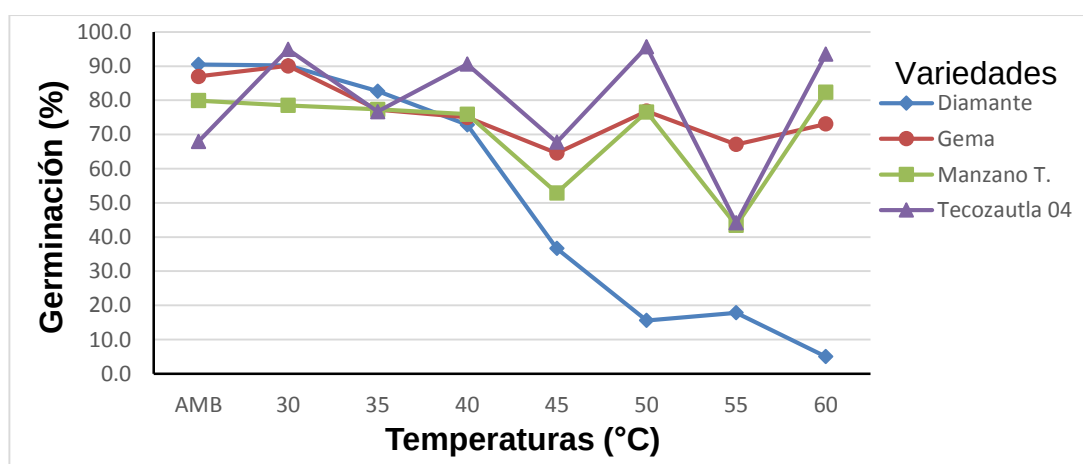


Figura 2. Porcentaje de germinación en la primera semana (G1) de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) secadas bajo ocho temperaturas.

Por otro lado, al secar las semillas a 35 °C, durante la primera semana de la prueba de germinación las cuatro variedades tuvieron un porcentaje de germinación similar (80 %).

En el porcentaje total de germinación (Figura 3), al igual que en la variable G1, se observa que cuando las semillas se secaron a 35 °C, la germinación de las cuatro variedades es similar (en el orden de 82 - 86 %), pero si son secadas a 30 °C las variedades Diamante, Gema y Tecozautla 04 alcanzan la máxima germinación (> 90 %), mientras que el cultivar Manzano Tepetlixpa queda abajo con 84 %.

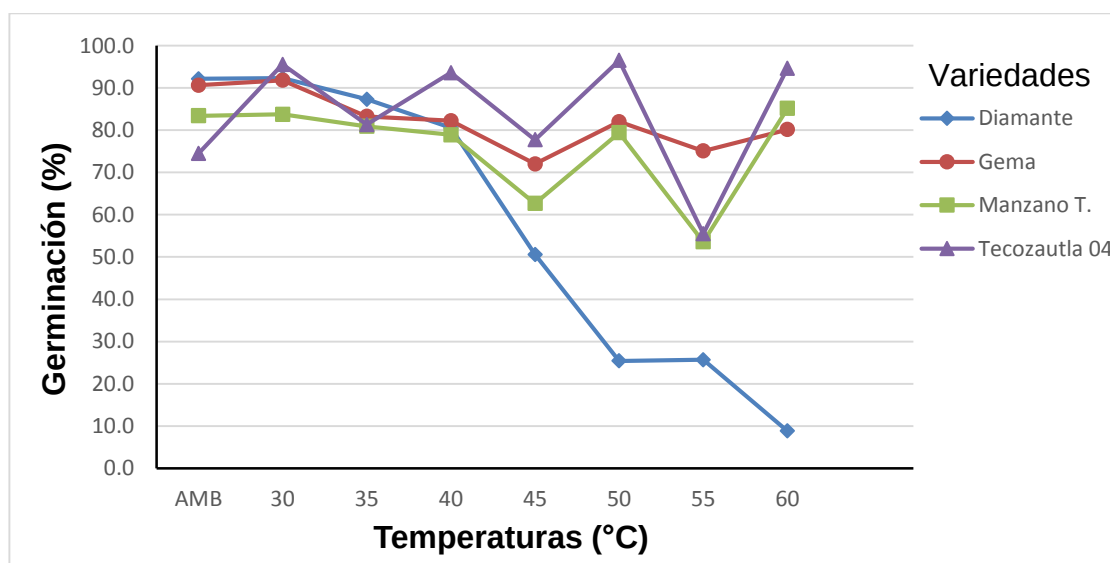


Figura 3. Porcentaje de germinación total (GT) de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) secadas bajo ocho temperaturas.

Así mismo, se observa que de los cuatro cultivares evaluados, Diamante fue la más sensible a la alta temperatura de secado, ya que por arriba de los 40 °C

disminuyó drásticamente el porcentaje de germinación hasta llegar a 10 % a los 60 °C, lo que coincide con la temperatura de secado límite de 45 °C establecida por Gowda *et al.* (1992) para semilla de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

En la Figura 4 se observa que el secado a 30 °C favoreció el índice de velocidad de germinación (IVG) pues los cultivares Tecozautla 04, Gema y Diamante alcanzaron los valores más altos (22, 20 y 19, respectivamente), mientras que la variedad Manzano Tepetlixpa registró 15.5; no obstante, éste último a 35 °C alcanzó IVG de 17.5, en tanto que los otros disminuyeron considerablemente hasta 15.

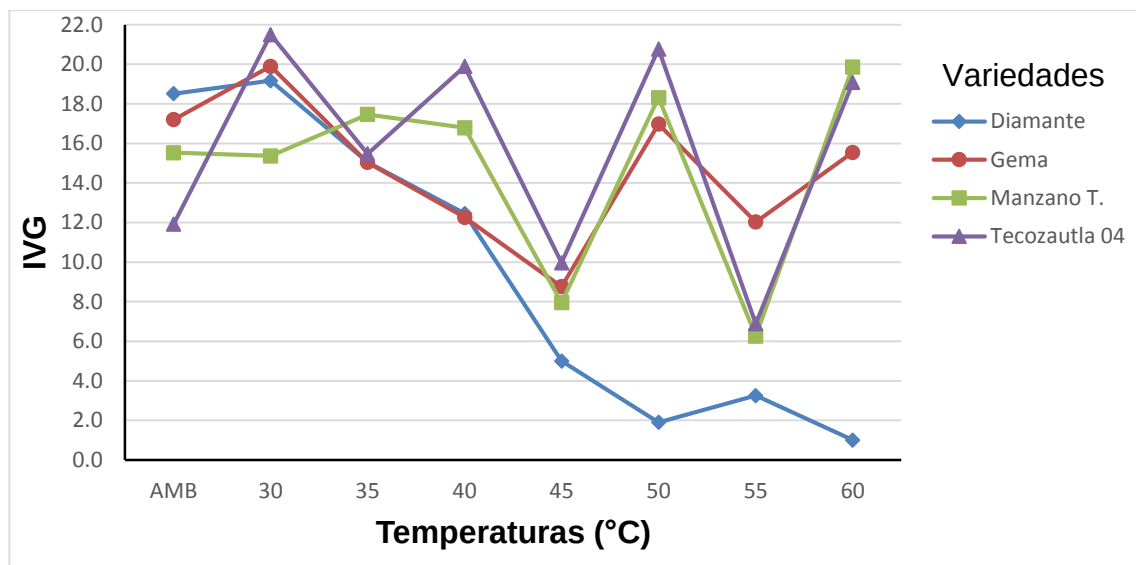


Figura 4. Índice de Velocidad de Germinación (IVG) de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) secadas bajo ocho temperaturas.

A medida que subió la temperatura de secado, en general el IVG de los cuatro cultivares disminuyó. Estos resultados coinciden con los encontrados por Höfs *et al.* (2004), quienes afirman que las temperaturas elevadas influyen

negativamente en la expresión del vigor de las semillas, lo que afecta inicialmente el crecimiento inicial de las plántulas y su capacidad de acumular biomasa.

En el IVG, el comportamiento del cultivar Diamante fue similar con su desempeño en GT, ya que después de los 40 °C disminuyeron drásticamente sus valores hasta llegar a uno cuando fueron secadas a 60 °C. Esto coincide con lo concluido por Menezes *et al.* (2012), quienes señalaron que cuanto más elevada sea la temperatura de secado mayor será la disminución en la calidad de las semillas.

En la Figura 5 se graficó el peso seco de plántulas. Diamante fue la que registró las plántulas menos pesadas. La heterogeneidad en el comportamiento de esta variable puede ser atribuida a la composición química de las semillas, tal y como lo afirmaron Bortolotto *et al.* (2008). El cultivar Manzano Tepetlixpa registró las plántulas más pesadas cuando sus semillas fueron secadas a temperatura ambiental, la variedad Gema las tuvo cuando sus semillas se secaron a 30, mientras que Tecozautla 04 a los 35, y Diamante a los 40 °C.

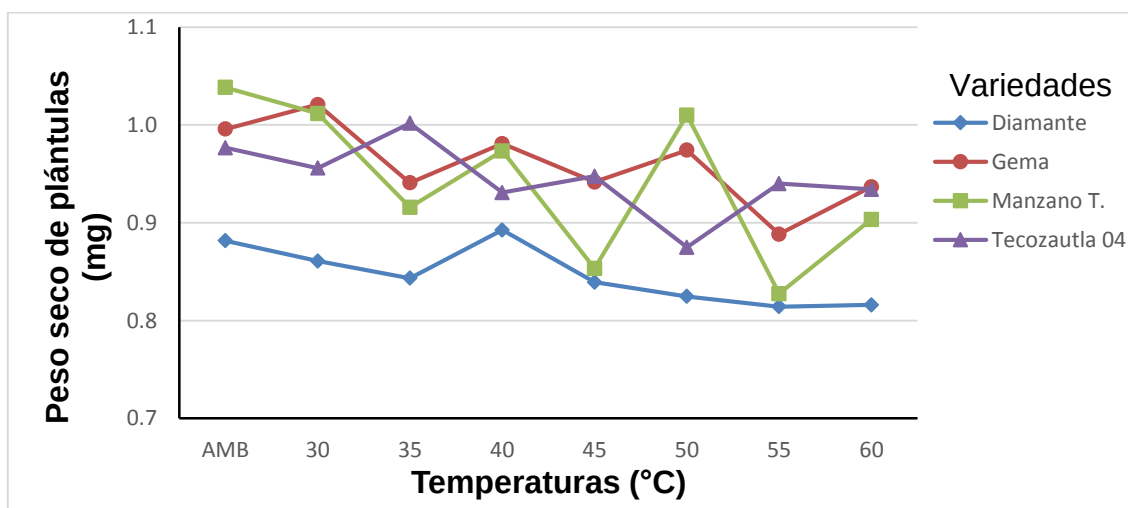


Figura 5. Peso seco promedio de plántulas (PS) de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) originadas de semillas secadas bajo ocho temperaturas.

4.2.5 Período de almacenamiento

La comparación de medias del efecto periodo de almacenamiento (Cuadro 8) muestra que al haber resguardado las semillas por dos meses favoreció la G1, obteniendo valores 5 y 8 % superiores ($P = 0.05$) a los alcanzados por las semillas conservadas a cero y cuatro meses, respectivamente. También mejoró el Índice de Velocidad de Germinación, mientras que el porcentaje de germinación total (GT) fue estadísticamente igual al del mes cero de almacenamiento.

Cuadro 8. Comparación de medias de seis variables de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en tres periodos de almacenamiento.

PER. (Meses)	G1 (%)	G2 (%)	GT (%)	IVG	LP (cm)	PS (mg)
0	68.60 b ²	5.20 b	74.63 ab	13.165 b	5.605 a	0.888 b
2	73.61 a	2.90 c	77.05 a	14.899 a	4.178 c	0.947 a
4	65.95 b	6.46 a	73.09 b	12.918 b	4.501 b	0.935 a
Media	69.39	4.85	74.92	13.660	4.760	0.923
DMSH	3.30	1.01	2.93	0.703	0.289	0.030

²Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P = 0.05$). PER: Período de almacenamiento; G1: Porcentaje de germinación semana uno; G2: Porcentaje de germinación semana dos; GT: Porcentaje de germinación total; IVG: Índice de Velocidad de germinación; LP: Longitud promedio de plántula; PS: Peso seco promedio de plántula; DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

Al cuarto mes de almacenamiento hubo una caída en los valores de las variables G1, GT, IVG y un aumento en G2, lo que representa una disminución en la calidad fisiológica. Este comportamiento indica la presencia de un posible periodo de dormancia en las semillas, y que en esta investigación desapareció a los dos meses (60 días) de almacenamiento. Existe un antecedente a este evento. Marín *et al.* (2007), al acondicionar semilla de tomate de cáscara osmóticamente, encontraron que la calidad fisiológica de la semilla mejoró a medida que se

prolongó el periodo de almacenamiento, pues a los 90 y 180 días se mostraron los más altos porcentajes de germinación y los menores porcentajes de semillas latentes en comparación con el testigo. Sin embargo, estos periodos para remover la dormancia difieren por mucho con el de 60 días encontrado en esta investigación, lo que posiblemente se debe a que se usaron variedades diferentes en los estudios.

La dormancia no es extraña en la familia de las Solanáceas. Ejemplo de ello es que semillas de *Capsicum* recién cosechadas pueden exhibir este fenómeno. Randle y Homna (1981) recomiendan que antes de ser sembradas, a estas se les debe dar un periodo posterior a la maduración de seis semanas, a temperatura ambiental para removerla, periodo más cercano al encontrado en las semillas de *Physalis* de esta investigación.

El periodo de almacenamiento de las semillas por dos meses también demostró su superioridad en el peso seco de las plántulas. Halfacre y Barden (1984) y Martínez *et al.* (2006) explican este suceso al relacionarlo con mayor porcentaje de germinación que permite a su vez una mayor velocidad de germinación. Por lo tanto las plántulas estuvieron expuestas con mayor celeridad a la luz y en consecuencia tuvieron más tiempo para fotosintetizar, reflejándose en el incremento del peso seco de las plántulas.

Para el carácter de longitud de plántulas, los más altos valores se obtuvieron en el periodo de almacenamiento del mes cero, lo que se explica por la mayor cantidad reservas comparada a los otros dos periodos. Sin embargo, Popinigis

(1985) argumenta que el crecimiento de las plántulas es un parámetro muy variable y fuertemente influenciado por factores genéticos y ambientales.

4.2.6 Interacción Periodo x Variedad

Se graficó el comportamiento de la Longitud Promedio de Plántulas (LP) de los cuatro cultivares de tomate de cáscara (Figura 6), cuyas semillas fueron secadas a diferentes temperaturas.

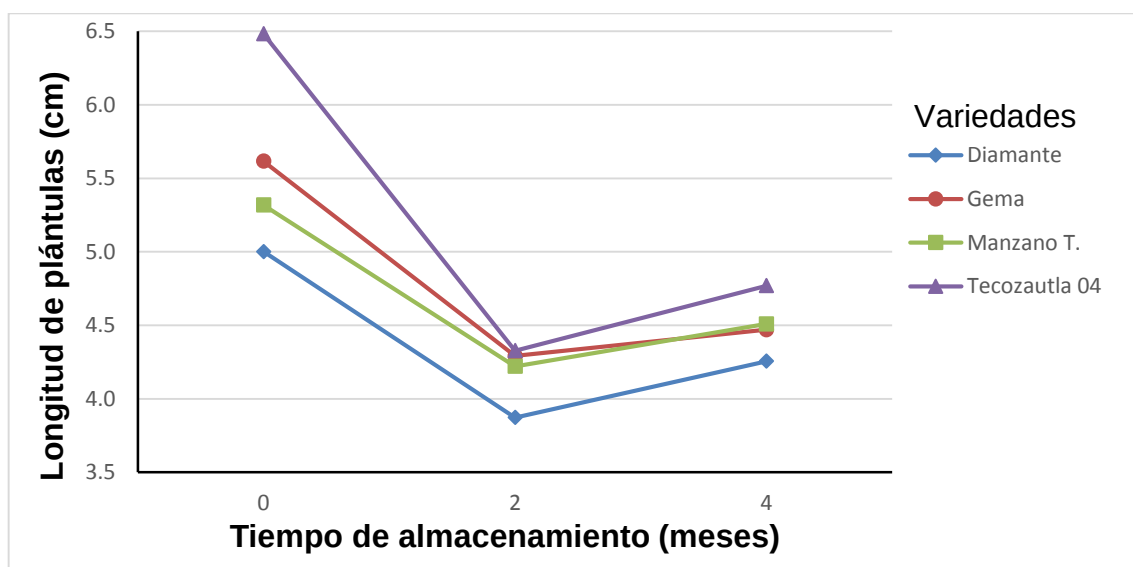


Figura 6. Longitud promedio de plántulas (LP) de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.), originadas de semillas almacenadas en tres periodos.

Diamante produjo las plántulas más cortas en los tres periodos de almacenamiento mientras que Tecozautla 04 generó las más largas. Esta última registró la mayor diferencia al mes cero, su superioridad respecto a Gema, Manzano Tepetlixpa y Diamante fue 1.0, 1.2 y 1.5 cm, respectivamente. La longitud de plántulas es atribuible a la condición genética de las semillas, a su

composición química principalmente con relación a la cantidad de reservas y a la eficiencia en el metabolismo, como lo mencionaron Bortolotto *et al.* (2008).

A los dos meses de almacenamiento las variedades Tecozautla 04, Gema y Manzano Tepetlixpa alcanzaron la uniformidad y la menor longitud de sus plántulas entre los tres tiempos de resguardo. Un síntoma del envejecimiento de las semillas es la disminución del tamaño de la plántula producida, que es un indicador de su vigor. Según Basavarajappa *et al.* (1991), durante el envejecimiento natural de la semilla de maíz se reduce el contenido total de reservas como carbohidratos y proteínas, que es una causa importante de los efectos en el crecimiento y desarrollo de la nueva plántula al avanzar el deterioro de la semillas.

4.2.7 Correlaciones

En el Cuadro 9 se muestran correlaciones altamente significativas ($P \leq 0.01$) del periodo de almacenamiento (Per) con PS y significativas con G2 ($P \leq 0.05$). También una correlación negativa altamente significativa con LP ($P \leq 0.01$). Estos resultados confirman que el incremento en el periodo de almacenamiento aumenta la germinación de semillas en la segunda semana de la prueba y el peso seco de las plántulas, pero disminuye la longitud de la plántula, debido a la pérdida de poder germinativo por envejecimiento.

El porcentaje de germinación de la primera semana (G1) tuvo correlación alta ($P \leq 0.01$) con las variables GT, IVG, PS y significativa ($P \leq 0.05$) con LP lo que

indica que las semillas con mejor germinación en la primera semana permiten a su vez mayor velocidad de germinación y por lo tanto mayor tiempo para realizar fotosíntesis, lo que se refleja en el incremento de peso seco y longitud de las mismas (Halfacre y Barden, 1984; Martínez *et al.*, 2006), lo que explica también las correlaciones de GT con IVG, LP y PS, y de IVG con PS.

Cuadro 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre siete variables de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) almacenadas en tres periodos.

	G1	G2	G3	GT	IVG	LP	PS
Per	-0.042 ^{NS}	0.113 [*]	-0.051 ^{NS}	-0.027 ^{NS}	-0.016 ^{NS}	-0.372 ^{**}	0.168 ^{**}
G1		-0.548 ^{**}	-0.335 ^{**}	0.984 ^{**}	0.885 ^{**}	0.101 [*]	0.331 ^{**}
G2			0.351 ^{**}	-0.393 ^{**}	-0.581 ^{**}	0.042 ^{NS}	-0.122 [*]
G3				-0.254 ^{**}	-0.361 ^{**}	0.058 ^{NS}	-0.118 [*]
GT					0.849 ^{**}	0.123 [*]	0.337 ^{**}
IVG						0.059 ^{NS}	0.323 ^{**}
LP							0.096 ^{NS}

^{NS}, ^{*}, ^{**}: No significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente; Per: Periodo de almacenamiento; G1: Porcentaje de germinación semana uno; G2: Porcentaje de germinación semana dos; G3: Porcentaje de germinación semana tres; GT: Porcentaje de germinación total; IVG: Índice de Velocidad de germinación; LP: Longitud promedio de plántula; PS: Peso seco promedio de plántula.

Las correlaciones negativas altamente significativas entre G2 y G3 en las variables GT, IVG y significativa en PS corroboran lo anteriormente mencionado, pues las semillas al aumentar su germinación en la segunda y tercera semanas, reducen su velocidad de germinación, tienen menos tiempo para realizar fotosíntesis y acumular materia seca.

V. CONCLUSIONES

Al aumentar la temperatura de secado de semillas de tomate de cáscara disminuye la humedad final de éstas y el tiempo de secado.

El comportamiento de las características de germinación y vigor entre las semillas de las cuatro variedades de tomate de cáscara varían con las temperaturas de secado y su tiempo de almacenamiento.

A los 60 días de almacenamiento las semillas expresan los valores máximos en las características de calidad fisiológica.

El secado de semillas a 30 °C favorece la expresión de las características de calidad fisiológica de las variedades Gema, Tecozautla 04 y Diamante. Estas variedades se deben secar a esta temperatura en un proceso cuya finalidad sea obtener semillas con la mejor calidad fisiológica, mientras que Manzano Tepetlixpa debe secarse a 35 °C.

En un proceso estándar de secado de semillas de las cuatro variedades se debe hacer a 35 °C, a reserva de mejorar la calidad fisiológica de las semillas con las operaciones de beneficio posteriores. En contraste, a temperaturas iguales y superiores a los 45 °C reducen drásticamente los parámetros de calidad fisiológica.

De las cuatro variedades evaluadas, Tecozautla 04 fue la más vigorosa, y Diamante fue la de menor vigor y la más sensible al proceso de secado, debido a que al superar los 40 °C disminuyó drásticamente los parámetros de vigor.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, R.; Peske, S. T. 1992. Manual para el Beneficio de Semillas. 2da ed. CIAT. Cali, Colombia. 248 p.
- Basavarajappa, B. S.; Shetty, H. S.; Prakash, H. S. 1991. Membrane deterioration and other biochemical changes associated with accelerated ageing of maize seeds. *Seed Science and Technology* 19 (2): 279-286.
- Baudet, L. M. L.; Villela, F. A.; Cavariani, C. 1999. Princípios de secagem. *Seed News* 10: 20-27.
- Bewley, J. D.; Black, M. 1994. *Seeds, Physiology of Development and Germination*. 2da edición. Plenum Press. New York, USA. 445 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.
- Bradford, K. J. 2004. *Seed Production and Quality*. University of California. California, USA. 134 p.
- 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.
- Carvalho, N. M. 1994. *A Secagem de Sementes*. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, Brasil. 165 p.
- Cavariani, C. 1996. Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar. Tesis Doctoral. Universidade de São Paulo, Brasil. 85 p.
- Christ, D.; Corrêa, P. C.; Alvarenga, E. M. 1997. Efeito da temperatura e da umidade relative do ar de secagem sobre a qualidade fisiológica de sementes de canola (*Brassica napus* L. var. oleífera Metzg.). *Revista Brasileira de Sementes* 19 (2): 150-154.
- Copeland, O. L. 1976. *Principles of Seed Science and Technology*. Ed. Burgess Publishing Company. Minnesota, USA. 369 p.
- Copeland, O. L.; McDonald, M. B. 2001. *Principles of Seed Science and Technology*. 4th ed. Kluwer Press. New York, USA. 488 p.
- D'Arcy, W. G. 1973. Solanaceae, pp. 573-780. *In: Flora of Panama*. Woodson, R. E.; Schery, R. W. (eds.). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 60: St. Louis :Missouri, USA.
- Dalpasquale, V. A.; Queiroz, D. M. de; Pereira, J. A. M.; Sinício, R. 1987. *Secagem de Grãos em Altas Temperaturas*. Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 47 p.

- Delouche, J. C. 2002. Germinação, deterioração e vigor da semente. *Seed News*. 6 (6).
- Doijode, S. D. 1987. Seed longevity in different tomato cultivars. *Progressive Horticulture* 19: 87-89.
- Estrada, O. J.; Castillo, R. B.; López, D. M. T.; Díaz, F. V. 2005. Variación del peso de la semilla de nim y sus componentes durante su almacenamiento. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 37: 81-86.
- Garcia, D. C.; Barros, A. C. S. A.; Peske, S. T.; Menezes, N. L. 2004. A secagem de sementes. *Ciência Rural* 34 (2): 603-608.
- George, R. A. T. 1983. Guía Para la Tecnología de las Semillas de Hortalizas. FAO. Roma, Italia. 94 p.
- George, R. A. T. 1989. Producción de Semillas de Plantas Hortícolas. Traducido al español por Mateo B., J. M.; Casallo G., A. Mundi-Prensa. Madrid, España. 330 p.
- Gowda, S. J.; Talukdar, K. C.; Ramaiah, H. 1992. Studies on drying characteristics of tomato seeds (Pusa Ruby) (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Progressive Horticulture* 21(3-4): 296-299.
- Halfacre, R. G.; Barden, J A. 1984. Horticultura. AGT Editor. D.F. México. 727 p.
- Halmer, P. 2000. Comercial seed treatment technology, pp. 257-286. *In: Seed Technology and its Biological Basis*. Black, M.; Bewley, J. D. (eds.). Academic Press. Sheffield, UK.
- Harrington, J. F. 1972. Seed storage and longevity, pp. 145-245. *In: Seed Biology*. Kozlowski, T. T (ed.). Vol. 3. Academic Press. New York, USA.
- Hebblethwaite, P. D. 1983. Producción Moderna de Semillas. Traducido al español por Stanham, F. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 798 p
- Höfs, A.; Schuch, L.O.B.; Peske, S.T.; Barros, A.C.S.A. 2004. Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. *Revista Brasileira de Sementes* 26 (1): 92-97.
- ISTA. 1996. International Seed Testing Rules. International Seed Testing Association. Zurich, Suiza. 336 p.
- ISTA. 2004. International Seed Testing Rules. International Seed Testing Association. Zurich, Suiza. 243 p.
- Jara, P. A.; Arancio, G.; Moreno, R.; Carmona, M. R. 2006. Factores abióticos que influncian la germinación de seis especies herbáceas de la zona árida de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 79 (3): 309-319.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2 (1): 176-177.

- Maia, M. 1995. Secagem de Sementes de Azevém Anual (*Lolium multiflorum* Lam.) com ar ambiente forçado. Tesis Doctoral. Universidade Federal de Pelotas, Brasil. 108 p.
- Mapula, L. M.; López, U. J.; Vargas, H. J. J.; Hernández, L. A. 2008. Germination and vigor of seeds in *Pseudotsuga menziesii* of Mexico. *Ra Ximhai*. 4 (1):119-134.
- Marcos F., J. 2005. Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. Piracicaba, Brasil. 495 p.
- 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. 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.
- Martínez, M. 1998. Revision of *Physalis* section *Epeteiorhiza* (*Solanaceae*). *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 69 (2): 71-117.
- Mendoza V., N. E. 2006. Efecto de la temperatura en la geminación de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 37 p.
- Menezes, N. L.; Pasqualli, L. L.; Barbieri, A. P. P.; Vidal, M. D.; Conceição, G. M. 2012. Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição de sementes de arroz. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 42 (4): 430-436.
- Miranda, L. C.; Da Silva, W. R.; Cavariani, C. 1999. Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar. I. Monitoramento físico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34 (11): 2097-2108.
- Moraes, M. L. B. 2000. Comportamento da pressão estática e da frente de secagem em uma coluna de sementes de arroz. Tesis Doctoral. Universidade 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.). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 39 p.
- Motta, W. A. 1997. Adaptação do método contínuo de secagem para sementes de arroz. Disertación de Mestría. Universidade Federal de Pelotas, Brasil. 58 p.

- Nelist, M. E.; Hughes, M. 1973. Physical and biological processes in the drying of seed. *Seed Science and Technology* 1 (1): 613-643.
- Nogarajan S; Pandita, V. K. 2001. Improvement in germination characteristics in artificially aged seeds tomato by osmoconditioning. *Seed Research*. 29: 136-140.
- 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.
- Peña L., A.; Santiaguillo H, J. F. 1999. Variabilidad Genética de Tomate de Cáscara en México. Boletín Técnico Núm. 2. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 26 p.
- Pérez C., I.; Ayala G., O. J.; González H., V. A.; Carrillo S., J. A.; Peña L., A.; García S., G. 2008a. Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas de tomate de cáscara. *Agrociencia* 42: 891-901.
- Pérez C., I.; González H., V. A.; Molina M., J. C.; Ayala G., O. J.; Peña L., A. 2008b. Efecto de desarrollo y secado de semillas de *Physalis ixocarpa* Brot. en germinación, vigor y contenido de azúcares. *Interciencia* 33 (10): 762-766.
- 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 M., L.; Granados A., J. 2001. Fertilización nitro-fosfórica en tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* Brot. de riego, en Irapuato, Gto., México. *Acta Universitaria* 11 (1): 19-25.
- Peske, S. T.; Barros, A. C. S. A. 1997. Produção de sementes de arroz, pp. 351-412. *In: Produção de Arroz Irrigado*. Peske, S.T.; Nedel, J.L.; Barros, A.C.S.A. (eds.). Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul, Brasil.
- 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.
- Popinigis, F. 1985. *Fisiologia da Semente*. 2 ed. Agiplan. Brasília D. F., Brasil. 289 p.
- Popinigis, F. 1988. Necessidades de pesquisas relacionadas a qualidade fisiológica de sementes. *Revista Brasileira de Sementes* 9 (1): 95-103.
- Queiroz, D. M.; Pereira, J. A. M. 1982. *Secagem a Baixa Temperatura*. Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, Brasil. 30 p.

- Quinto, L.; Martínez H., P. A.; Pimentel B., L.; Rodríguez T., D. A. 2009. Alternativas para mejorar la germinación de semillas de tres árboles tropicales. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 15 (1): 23-28.
- Randle W. M.; Honma, S. 1981. Dormancy in peppers. Scientia Horticulturae 14: 19-25.
- Rodríguez R., M. F.; Sosa, L. R.; Fernández, E. A.; Reale, M. I.; Villarreal, V. 2007. Efecto del estrés hídrico a distintas temperaturas sobre la germinación de semillas de *Bulnesia retama* (Gill. ex. Hook.) Griseb. - Zigofiláceas-en San Luis, Argentina. Phytón. 76: 5-17.
- Rosa, S. D. V. F.; Pinho, E. V. R. V.; Vieira, M. G. G. C.; Veiga, R. D. 2000. Eficácia do teste de condutividade elétrica para uso em estudos de danos de secagem em sementes de milho. Revista Brasileira de Sementes 22 (1): 54-63.
- Sánchez V., E.; Martínez S., J.; Rodríguez P., J. E.; Peña L., A.; Mora A., R. 2007. Relación entre pruebas de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), con el establecimiento en el máculo. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture. 51: 185-206.
- SIAP. 2013. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=286&Itemid=428
- Sirisomboon, P; Kitchaiya, P. 2009. Physical properties of *Jatropha curcas* L. kernels after heat treatments. Biosystems Engineering. 102 (02): 244-250.
- SNICS. 2007. Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. SAGARPA. México D.F. 17 p.
- SNICS. 2014. Regla para la calificación de semilla de tomate (*Physalis* spp.). Disponible en: <http://www.snics.sagarpa.gob.mx/> (Abril 2015)
- Souza, C. L. M; Souza, M. O.; Oliveira, M. F.; Oliveira, L. M.; Pelacani, C. R. 2010. Morfologia de sementes e desenvolvimento pós-seminal de *Physalis angulata* L. Acta Botanica Brasilica 24 (4): 1082-1085.
- Thakur, P. C.; Joshi, S.; Verma, T. S.; Kapoor, K. S. 1988. Effect of storage period on germination of sweet pepper seed. Capsicum Newslet. 7: 58-59.
- Ullmann, R.; Resende, O.; Sales, J. F.; Chaves, T. H. 2010. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. Revista Ciência Agronômica 41 (3): 442-447.

- Vadillo, G.; Suni, M.; Cano, A. 2004. Viabilidad y germinación de semillas de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). *Revista Peruana de Biología*. 11(1): 71-78.
- Valtierra P., E.; Ramos S., A. 2003. Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena Productiva de Tomate Verde en el Estado de Puebla. Fundación Produce Puebla, Gobierno del estado de Puebla. México. 237 p.
- Villela, F. A. 1991. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. Tesis Doctoral. Universidade de São Paulo. 104 p.
- Villela, F. A.; Peske, S. T. 1997. Tecnologia pós-colheita para arroz, pp. 351- 412. *In: Produção de Arroz Irrigado*. Peske, S. T.; Nedel, J. L.; Barros, A.C.S.A. (eds.). Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul, Brasil.
- Villela, F. A.; Silva, W. R. 1992. Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente. *Scientia Agricola* 49 (1): 145-153.
- Walters, C.; Hill, L. M.; Wheeler, L. J. 2005. Dying while dry: Kinetics and mechanisms of deterioration in desiccated organisms. *Integrative and Comparative Biology* 45 (5): 751-758.
- Willan, R.L.1991. Guía para la manipulación de semillas forestales. FAO-Montes. Roma, Italia. 502 p.
- Zhou, L.; Jiang, E.; Li, B. 2009. Effect of wood vinegar on seed germination and water implantation of corn. *Journal of Northeast Agricultural University*. 16 (2): 6-11.