

Drying temperatures of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) seeds

Temperaturas de secado de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm)

Sandro Balbuena-Mascada; Aureliano Peña-Lomelí*; Natanael Magaña-Lira;
Jaime Sahagún-Castellanos; Juan Martínez-Solís

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5,
Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

*Corresponding author: penalomeli@gmail.com.

Abstract

Tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) is widely grown in Mexico with non-certified seed. Little research has been done on seed drying and physiology. Seed drying is a fundamental process in production technology, and the temperature used can affect its quality. This study aimed to evaluate the effect of different drying temperatures on the physical and physiological quality of seeds of four varieties (Tecozautla 04, Diamante, Gema and Manzano Tepetlixpa) in three storage periods. Seeds of each variety were dried in an oven until reaching constant weight at different temperatures: ambient, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 °C; subsequently, they were stored under ambient laboratory conditions for 0, 2 and 4 months. The experimental unit was 5 g of seeds. The study was carried out under a completely randomized experimental design with four replications. Physiological quality was evaluated with standard germination tests, and with the vigor test the germination speed index, total seedling length and seedling dry weight were determined. Seed quality was affected by temperature. When drying from 30 to 35 °C, the seeds expressed their maximum physiological quality, and above 45 °C their quality decreased. Tecozautla 04 had the greatest vigor, whereas Diamante had the least vigor and was the most sensitive to damage during the drying process. After two months of storage, the seeds showed the best physiological quality.

Keywords: germination,
vigor, thermal damage,
germination speed, storage.

Resumen

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es ampliamente cultivado en México con semilla no certificada. Se ha desarrollado poca investigación en secado y fisiología de semillas. El secado de semillas es un proceso fundamental en la tecnología de producción, y la temperatura usada puede afectar su calidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes temperaturas de secado sobre la calidad física y fisiológica de semillas de cuatro variedades (Tecozautla 04, Diamante, Gema y Manzano Tepetlixpa) en tres periodos de almacenamiento. Se secaron semillas de cada variedad en una estufa hasta llegar a un peso constante con diferentes temperaturas: ambiental, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 °C; posteriormente, se almacenaron en condiciones ambientales de laboratorio por 0, 2 y 4 meses. La unidad experimental fue 5 g de semillas. El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. La calidad fisiológica se evaluó con las pruebas de germinación estándar, y con la prueba de vigor se determinaron el índice de velocidad de germinación, la longitud total y el peso seco de plántulas. La temperatura afectó la calidad de las semillas. En el secado de 30 a 35 °C, las semillas expresaron su máxima calidad fisiológica, y arriba de 45 °C disminuyó su calidad. La variedad Tecozautla 04 tuvo el mayor vigor. Diamante presentó el menor vigor y fue la más sensible a daños en el proceso de secado. A los dos meses de almacenamiento, las semillas expresaron la mejor calidad fisiológica.

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



Introduction

Tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) is produced in 30 states of the Mexican Republic. In 2020, it occupied a total planted area of 40,116.97 ha and had an average yield of 19.28 t·ha⁻¹ (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021). Currently, tomatillo is the sixth most widely planted vegetable crop in the country. Due to its widespread cultivation, both for domestic consumption and export, its seed is in great demand. Despite the importance of this crop, little research has been carried out on seed physiology related to drying, whose purpose is to reduce costs, preserve physiological quality and make drying processes efficient. Some aspects to consider in this process are temperature, air speed, thickness of the seed layer, drying technique, and aeration (Coronado-González, Peña-Lomelí, Magaña-Lira, Sahagún-Castellanos, & Ybarra-Moncada, 2019; Martínez-Solís, Peña-Lomelí, & Montalvo-Hernández, 2004).

Tomatillo, being a fleshy fruit, has seeds with a high moisture content. Therefore, it is recommended that they be subjected to the drying process immediately after being extracted from the fruit to avoid fermentation, which causes immediate damage. It has been determined that at 55 days after pollination, the tomatillo seed can be considered physiologically mature, that it rapidly loses viability with storage temperatures above 30 °C, and that drying increases its germination capacity, regardless of its stage of development (Pérez-Camacho, González-Hernández, Molina-Moreno, Ayala-Garay, & Peña-Lomelí, 2008; Pérez-Camacho et al., 2012).

Drying is a fundamental process in the production of high quality seeds, since it reduces the amount of water to adequate levels and enables the preservation of quality during storage, in addition to avoiding physical and chemical alterations induced by excess moisture in the seed (Baudet, Villela, & Cavariani, 1999). The drying process can be carried out in various ways; however, it requires special care in terms of the temperature used.

Depending on the species, exposure time and drying method, high temperatures can damage cell membranes, denature proteins and cause cracks. Such damage causes a reduction in the physical and physiological quality of seeds, either after drying (immediate effect) or during storage (latent effect) (Pérez-Camacho et al., 2008, 2012). One of the objectives of storage is to preserve the quality of the seed and reduce the deterioration process, which is influenced by the initial physiological conditions of the seeds, physical damage, storage conditions, type and incidence of pathogens, and the joint action of these factors, which can cause different behaviors among lots of stored seeds (Villela & Peske, 2003).

Introducción

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) se produce en 30 estados de la República Mexicana. En 2020, ocupó una superficie sembrada total de 40,116.97 ha y tuvo un rendimiento medio de 19.28 t·ha⁻¹ (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021). En la actualidad, el tomate de cáscara es el sexto cultivo olerícola mayormente sembrado. Debido a su amplio cultivo, tanto para consumo nacional como para exportación, su semilla es de gran demanda. A pesar de la importancia de este cultivo, se ha desarrollado poca investigación sobre la fisiología de las semillas relacionada con el secado, cuyo propósito es reducir costos, preservar la calidad fisiológica y hacer eficientes los procesos de secado. Algunos aspectos a considerar en dicho proceso son la temperatura, la velocidad del aire, el espesor de la camada de semillas, la técnica de secado y la aireación (Coronado-González, Peña-Lomelí, Magaña-Lira, Sahagún-Castellanos, & Ybarra-Moncada, 2019; Martínez-Solís, Peña-Lomelí, & Montalvo-Hernández, 2004).

El tomate de cáscara, por ser un fruto carnoso, presenta semillas con humedad elevada. Por ello, se recomienda que sean sometidas al proceso de secado inmediatamente después de haber sido extraídas del fruto para evitar su fermentación, la cual provoca daños inmediatos. Se ha determinado que a los 55 días después de la polinización, la semilla de tomate de cáscara se puede considerar fisiológicamente madura, que pierde rápidamente la viabilidad con temperaturas de almacenamiento superiores a 30 °C, y que el secado eleva su capacidad germinativa, independientemente de su etapa de desarrollo (Pérez-Camacho, González-Hernández, Molina-Moreno, Ayala-Garay, & Peña-Lomelí, 2008; Pérez-Camacho et al., 2012).

El secado es un proceso fundamental en la producción de semillas de alta calidad, ya que reduce la cantidad de agua a niveles adecuados y posibilita la conservación de la calidad durante el almacenamiento, además de evitar alteraciones físicas y químicas inducidas por el exceso de humedad en la semilla (Baudet, Villela, & Cavariani, 1999). El proceso de secado se puede realizar de diversas maneras; sin embargo, requiere cuidados especiales en cuanto a la temperatura empleada.

Dependiendo de la especie, el tiempo de exposición y el método de secado, las temperaturas elevadas pueden dañar las membranas celulares, desnaturalizar proteínas y causar fisuras. Tales daños ocasionan reducción en la calidad física y fisiológica de las semillas, sea después del secado (efecto inmediato) o durante el almacenamiento (efecto latente) (Pérez-Camacho et al., 2008, 2012). Uno de los objetivos del almacenamiento es conservar la calidad de las semillas y reducir el proceso de deterioro, el cual está

At present, the tomatillo seed drying process is carried out under environmental conditions, either sun-dried or shade-dried (Martínez-Solís et al., 2004), so it is necessary to generate information that helps overcome the problems inherent to this process, since there are few studies related to drying and storage, in the context of commercial seed production. Therefore, this research aimed to evaluate the effects of eight temperatures during the drying of seeds of four tomatillo varieties, stored for three periods, on their physical and physiological quality.

Materials and methods

The research was carried out from June to December 2014 in the Ecology and Seed Analysis laboratories of the Plant Science Department of the *Universidad Autónoma Chapingo* (UACH), Mexico. Tomatillo seeds produced in the spring-summer 2014 growing season were used in the study. The Diamante, Gema and Tecozautla 04 varieties were produced in isolated lots at the UACH Experimental Agricultural Field, and the Manzano Tepetlixpa variety at the *Colegio de Postgraduados*, Campus Montecillo. Transplanting to the open field was carried out in the first week of April, at a density of 30,000 plants·ha⁻¹ (Coronado-González et al., 2019). The fruit harvest was carried out in the second week of June, 60 days after full flowering, and the seeds were extracted manually (Pérez-Camacho et al., 2008).

The study factors were variety (Diamante, Gema, Manzano Tepetlixpa and Tecozautla 04; Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SNICS], 2021), drying temperature (ambient, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 °C) and storage time (zero, two and four months). The parameters of the drying process and physical quality of the seeds were studied under a full factorial treatment design, product of the combinations of the four varieties with the eight temperatures (32 treatments), in a completely randomized experimental design with four replications. The experimental unit consisted of 5 g of wet and drained seeds for the application of the different drying temperature levels. The control seeds were dried under laboratory conditions, without direct sunlight and with adequate ventilation. The temperature treatment ended once seed weight became constant. The environmental conditions during the drying period were recorded by means of a sensor (Hobo® HO8-004-02, Onset®, USA) and were as follows: temperature of 24.8 ± 2.71 °C, relative humidity of 23.76 ± 0.38 %, dew point temperature of 2.73 ± 2.5 °C and absolute humidity of 5.48 ± 0.98 g·m⁻³.

The physical characteristics of the seeds were quantified before, during and at the end of the drying process. Initial (ISM) and final seed moisture (FSM) percentages were calculated using the formula of Bewley and

influenciado por las condiciones fisiológicas iniciales de las semillas, los daños físicos, las condiciones de resguardo, el tipo y la incidencia de patógenos, y la acción conjunta de estos factores, lo cual puede ocasionar diferentes comportamientos entre lotes de semillas almacenadas (Villela & Peske, 2003).

En la actualidad, el proceso de secado de semillas de tomate de cáscara se hace bajo condiciones ambientales, ya sea secado al sol o a la sombra (Martínez-Solís et al., 2004), por lo que es necesario generar información que ayude a superar los problemas inherentes a este proceso, ya que son escasos los estudios relacionados con el secado y el almacenamiento, en el contexto de la producción comercial de semilla. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de ocho temperaturas durante el secado de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara, almacenadas durante tres periodos, sobre su calidad física y fisiológica.

Materiales y métodos

La investigación se realizó de junio a diciembre de 2014 en los laboratorios de Ecología y de Análisis de Semillas del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. En el estudio se emplearon semillas de tomate de cáscara producidas en el ciclo primavera- verano 2014. Las variedades Diamante, Gema y Tecozautla 04 se produjeron en lotes aislados en el Campo Agrícola Experimental de la UACH, y la variedad Manzano Tepetlixpa, en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. El trasplante a campo abierto se realizó en la primera semana de abril, a una densidad de 30,000 plantas·ha⁻¹ (Coronado-González et al., 2019). La cosecha de frutos se realizó en la segunda semana de junio, 60 días después de la floración plena, y las semillas se extrajeron de manera manual (Pérez-Camacho et al., 2008).

Los factores de estudio fueron variedad (Diamante, Gema, Manzano Tepetlixpa y Tecozautla 04; Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SNICS], 2021), temperatura de secado (ambiente, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 °C) y tiempo de almacenamiento (cero, dos y cuatro meses). Los parámetros del proceso de secado y de calidad física de las semillas se estudiaron bajo un diseño de tratamientos factorial completo, producto de las combinaciones de las cuatro variedades con las ocho temperaturas (32 tratamientos), en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en 5 g de semillas húmedas y escurridas para la aplicación de los diferentes niveles de temperaturas de secado. Las semillas que fungieron como testigo se secaron en condiciones de laboratorio, sin la incidencia de luz solar directa y con adecuada ventilación. El tratamiento de temperaturas concluyó una vez que el peso de las semillas llegó a ser constante. Las

Black (1994). Seeds were dehydrated for 72 h at 72 °C in an oven (Stabletemp 52120-02, Cole-Parmer®, USA) and then the dry weight was determined. The drying time of each seed lot was recorded until they reached constant weight. Seeds were weighed every 2.5 h at room temperature levels up to 50 °C, and every 1.5 h for 55 and 60 °C. With the weight data of the samples at the beginning and end of the drying process, the percentage of weight removed from the seeds in the form of water by drying (PWRD) was calculated.

At the end of the temperature treatments, the seeds were sorted by means of a pneumatic separator (Seedburo®, USA), with an air speed of 9 m·s⁻¹. Seeds were stored in satin paper envelopes, under laboratory conditions and without direct sunlight. These seeds were used in subsequent vigor and germination tests. The environmental storage conditions of the seeds were recorded with the same type of sensor mentioned previously, and were as follows: temperature of 23.43 ± 0.64 °C, relative humidity of 23.55 ± 0.06 %, dew point temperature of 1.46 ± 0.56 °C and absolute humidity of 4.95 ± 0.18 g·m⁻³.

To determine the physiological quality parameters of the seeds, a full factorial treatment design was established, product of the combinations of the four varieties with the eight temperatures and three storage periods. The experimental design was completely randomized with four replications. The physiological quality of the seeds of the 96 treatments was evaluated using standard germination and vigor tests (International Seed Testing Association [ISTA], 2004).

In the germination tests, the experimental unit consisted of a Petri dish with a diameter of 95 mm and a depth of 10 mm, with 100 seeds evenly distributed on filter paper moistened with 5 mL of distilled water. In this test, the experimental units were placed in a germination chamber (Seedburo D-7140, Seedburo®, USA) at 30 ± 1 °C, 90 % relative humidity (Martínez-Solís, Mendoza, Rodríguez-Pérez, Peña-Lomelí, & Peña, 2006) and darkness for 21 days according to ISTA (2004) standards. The necessary irrigations were carried out with distilled water. The variable evaluated during this test was the germination percentage, which was quantified based on the number of germinated seeds in relation to the total. Counts were made after the first (G1), second (G2) and third week (G3), as well as the total test (TG), which was the sum of the three weeks.

Vigor tests were performed according to ISTA (2004) standards. The experimental unit consisted of a Petri dish with a diameter of 135 mm and a depth of 22 mm, with 50 seeds evenly distributed on filter paper moistened with 10 mL of distilled water. The boxes were placed in a germination chamber (Precision 818, Thermo Scientific®, USA) at 30 ± 1 °C (Martínez-

condiciones ambientales durante el periodo de secado se registraron mediante un sensor (Hobo® HO8-004-02, Onset®, EUA) y fueron las siguientes: temperatura de 24.8 ± 2.71 °C, humedad relativa de 23.76 ± 0.38 %, temperatura de punto de rocío de 2.73 ± 2.5 °C y humedad absoluta de 5.48 ± 0.98 g·m⁻³.

Se cuantificaron las características físicas de las semillas antes, durante y al final del proceso de secado. Los porcentajes de humedad inicial (HIS) y final de las semillas (HFS) se calcularon con la fórmula de Bewley y Black (1994). Las semillas se deshidrataron por 72 h a 72 °C en una estufa (Stabletemp 52120-02, Cole-Parmer®, EUA) y después se determinó el peso seco. Se registró el tiempo de secado de cada lote de semillas hasta que alcanzaron peso constante. Las semillas se pesaron cada 2.5 h en los niveles de temperatura ambiente hasta los 50 °C, y cada 1.5 h para 55 y 60 °C. Con los datos de peso de las muestras al inicio y al final del proceso de secado se calculó el porcentaje de peso eliminado de las semillas en forma de agua (PPES).

Al concluir la aplicación de los tratamientos de temperaturas, las semillas se clasificaron por medio de una separadora neumática (Seedburo®, EUA), con una velocidad de aire de 9 m·s⁻¹. Las semillas se almacenaron en sobres de papel satén, en condiciones de laboratorio y sin incidencia de luz solar directa. Estas semillas se utilizaron en las pruebas de vigor y germinación posteriores. Las condiciones ambientales de almacenamiento de las semillas se registraron con el mismo tipo de sensor mencionado previamente, y fueron las siguientes: temperatura de 23.43 ± 0.64 °C, humedad relativa de 23.55 ± 0.06 %, temperatura de punto de rocío de 1.46 ± 0.56 °C y humedad absoluta de 4.95 ± 0.18 g·m⁻³.

Para determinar los parámetros de calidad fisiológica de las semillas, se estableció un diseño de tratamientos factorial completo, producto de las combinaciones de las cuatro variedades con las ocho temperaturas y los tres periodos de almacenamiento. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones. Se evaluó la calidad fisiológica de las semillas de los 96 tratamientos mediante pruebas de germinación estándar y pruebas de vigor (International Seed Testing Association [ISTA], 2004).

En las pruebas de germinación, la unidad experimental consistió en una caja Petri de 95 mm de diámetro por 10 mm de profundidad, con 100 semillas uniformemente distribuidas sobre papel filtro humedecido con 5 mL de agua destilada. En esta prueba, las unidades experimentales se colocaron en una cámara germinadora (Seedburo D-7140, Seedburo®, EUA) a 30 ± 1 °C, 90 % de humedad relativa (Martínez-Solís, Mendoza, Rodríguez-Pérez, Peña-Lomelí, & Peña, 2006) y oscuridad por 21 días según las normas de la

Solís et al., 2006), under 24 h illumination during the 14 days of the test. Irrigations were applied daily with distilled water. Germinated seeds were counted every 48 h, considered as such when there was radicle emergence. The variables evaluated in the test were the germination speed index (GSI; calculated according to Maguire's proposal [1962]), average seedling length (SL; at the end of the vigor test, a random sample of 10 seedlings per experimental unit was taken, their length was measured from the tip of the primary root to the tip of the cotyledonary leaves and the average in centimeters was obtained) and average seedling dry weight (SDW; seedlings evaluated in the previous parameter were dried to constant weight for 72 h at 72 °C in an oven [Wisconsin, Memmert, USA]; subsequently, they were weighed on an analytical balance [Ohaus Pioneer, Ohaus Corp, USA] and average seedling weight in milligrams was obtained).

Percentage data were transformed using the arcsine formula (Sokal & Rohlf, 1995). Analysis of variance and Tukey's comparisons of means test ($P \leq 0.05$) were performed for the factors studied and their interactions. In addition, Pearson's linear correlations between pairs of variables were obtained. Statistical analyses were performed with SAS version 9.0 software (SAS Institute Inc., 2004).

Results and discussion

Analyses of variance indicate that the variety factor affected ($P \leq 0.01$) ISM and PWRD, and had statistical significance in FSM ($P \leq 0.05$). Temperature treatments affected ($P \leq 0.01$) ISM, FSM and PWRD. The Variety x Temperature interaction was only significant in ISM and PWRD ($P \leq 0.05$).

The results of the comparison of means among varieties (Table 1) showed that the four had different ISM ($P \leq 0.05$), where the Manzano Tepetlixpa variety had the highest value (49.4 %) and Tecozautla 04 the lowest (43.1 %). These results can be attributed to the genetic condition of the varieties, since they come from different races, so they probably have different degrees of maturity and chemical composition (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del Castillo, & Magaña-Lira, 2014). The Manzano Tepetlixpa, Tecozautla 04 and Gema varieties had the highest FSM values, with 6.7, 6.6 and 6.4 %, respectively. In contrast, Diamante had the lowest FSM value (5.8 %), statistically less than Manzano Tepetlixpa ($P \leq 0.05$).

PWRD had the same behavior as ISM; that is, the four varieties were different ($P \leq 0.05$). Manzano Tepetlixpa seeds had the greatest weight loss (47.0 %), while Tecozautla 04 seeds had the least weight removed during the process (40.3 %). Diamante and Gema had intermediate values of 43.8 and 42.5 %, respectively.

ISTA (2004). Se realizaron los riegos necesarios con agua destilada. La variable evaluada durante esta prueba fue el porcentaje de germinación, que se cuantificó con base en el número de semillas germinadas en relación con el total. Se realizaron conteos en la primera (G1), segunda (G2) y tercera semana (G3), así como del total de la prueba (GT), que fue la suma de las tres semanas.

Las pruebas de vigor se realizaron de acuerdo con las normas de la ISTA (2004). La unidad experimental consistió en una caja Petri de 135 mm de diámetro por 22 mm de profundidad, con 50 semillas distribuidas uniformemente sobre papel filtro humedecido con 10 mL de agua destilada. Las cajas se colocaron en una cámara germinadora (Precision 818, Thermo Scientific®, EUA) a 30 ± 1 °C (Martínez-Solís et al., 2006), bajo iluminación las 24 h durante los 14 días que duró la prueba. Los riegos se aplicaron diariamente con agua destilada. Se realizaron conteos de semillas germinadas cada 48 h, consideradas como tal cuando había emergencia de la radícula. Las variables evaluadas en la prueba fueron el índice de velocidad de germinación (IVG; calculado de acuerdo con la propuesta de Maguire [1962]), la longitud promedio de plántula (LP; al término de la prueba de vigor, se tomó 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) y el peso promedio de plántulas secas (PS; las plántulas evaluadas en el parámetro anterior se secaron hasta peso constante durante 72 h a 72 °C en una estufa [Wisconsin, Memmert, EUA]; posteriormente, se pesaron en una balanza analítica [Ohaus Pioneer, Ohaus Corp, EUA] y se obtuvo el promedio del peso de las plántulas en miligramos).

Los datos en porcentaje se transformaron mediante la fórmula arcoseno (Sokal & Rohlf, 1995). Se realizaron análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), para los factores estudiados y sus interacciones. Además, se obtuvieron las correlaciones lineales de Pearson entre pares de variables. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2004).

Resultados y discusión

Los análisis de varianza indican que el factor variedad afectó ($P \leq 0.01$) la HIS y el PPES, y tuvo significancia estadística en HFS ($P \leq 0.05$). Los tratamientos de temperatura afectaron ($P \leq 0.01$) la HIS, la HFS y el PPES. La interacción Variedad x Temperatura sólo fue significativa en HIS y PPES ($P \leq 0.05$).

Los resultados de la comparación de medias entre variedades (Cuadro 1) mostraron que las cuatro presentaron diferentes HIS ($P \leq 0.05$), donde la variedad Manzano Tepetlixpa tuvo el mayor valor (49.4 %), y

Table 1. Comparison of means of three physical quality variables of seeds of four tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) varieties during drying under eight temperatures.

Cuadro 1. 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.

Variety / Variedad	ISM (%) / HIS (%)	FSM (%) / HFS (%)	PWRD (%) / PPES (%)
Diamante	46.25 b ²	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
HSD / DMSH	1.19	0.78	1.21

ISM = initial seed moisture; FSM = final seed moisture; PWRD = percentage weight removed during drying; HSD = honestly significant difference. ²Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$)

HIS = humedad inicial de las semillas; HFS = humedad final de las semillas; PPES = porcentaje de peso eliminado durante el secado; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$)

The amount of water removed from the seeds is related to temperature, relative humidity, air flow and drying method. However, these conditions were the same for all four varieties. What best explains the observed phenomenon among varieties is the characteristics of each one, such as the genotype, stage OF M, water content, membrane permeability, physical composition of the seed lot, and chemical composition (Camacho-García, Albuquerque-Barros, Teichert-Peske, & Lemos-de Menezes, 2004). This has been demonstrated in *Physalis* by Pérez-Camacho et al. (2008), Pérez-Camacho et al. (2012) and Pichardo-González et al. (2010).

Comparison of means among drying temperatures (Table 2) showed that seeds dried at ambient temperature and at 30 °C had the highest moisture content at the end of the process (FSM), with 9.3 and 8.2 %, respectively ($P \leq 0.05$). The driest seeds and those that lost the most weight at the end of the test were those exposed to 45 °C or higher (43.4 - 45.3 %), while seeds dried at 35 and 40 °C lost the least weight. Seeds dried at 60 °C reached constant weight at 255 min after the start of the test, 5.83 times faster than those dried at ambient temperature. It was observed that with increasing temperature, the drying time decreased, due to the higher rate of water removal. This coincides with what was reported by Christ, Corrêa, and Mantovani-Alvarenga (1997), who state that the higher the temperature, the faster the drying speed, which leads to greater damage.

The PWRD results in the four varieties (Figure 1a) showed that Manzano Tepetlixpa was superior in terms of seed weight loss, while Tecozautla 04 was the one that lost the least, similar to what occurred in the comparison of means by variety. It was also observed that when drying the seeds at 35 °C the Diamante, Gema and Tecozautla 04 varieties lost about 40 % of

Tecozautla 04, el menor (43.1 %). Estos resultados se pueden atribuir a la condición genética de las variedades, debido a que provienen de razas distintas, por lo que probablemente tienen diferente grado de madurez y composición química (Peña-Lomelí, Ponce-Valerio, Sánchez-del Castillo, & Magaña-Lira, 2014). Las variedades Manzano Tepetlixpa, Tecozautla 04 y Gema presentaron los valores más altos de HFS, con 6.7, 6.6 y 6.4 %, respectivamente. En contraste, Diamante fue la menos húmeda (5.8 %), estadísticamente menor que Manzano Tepetlixpa ($P \leq 0.05$).

El PPES tuvo el mismo comportamiento que la HIS; es decir, las cuatro variedades fueron diferentes ($P \leq 0.05$). Las semillas de Manzano Tepetlixpa tuvieron mayor pérdida de peso (47.0 %), mientras que las semillas de Tecozautla 04 eliminaron menos peso durante el proceso (40.3 %). Diamante y Gema quedaron con valores intermedios de 43.8 y 42.5 %, respectivamente. La cantidad de agua eliminada de las semillas está relacionada con la temperatura, la humedad relativa, el flujo de aire y el método de secado. No obstante, estas condiciones fueron las mismas para las cuatro variedades. Lo que mejor explica el fenómeno observado entre las variedades son las características propias de cada una, como el genotipo, el estado de maduración, el contenido de agua, la permeabilidad de las membranas, la composición física del lote de semillas y la composición química (Camacho-García, Albuquerque-Barros, Teichert-Peske, & Lemos-de Menezes, 2004). Esto ha sido demostrado en *Physalis* por Pérez-Camacho et al. (2008), Pérez-Camacho et al. (2012) y Pichardo-González et al. (2010).

La comparación de medias entre temperaturas de secado (Cuadro 2) mostró que las semillas secadas al ambiente y a 30 °C fueron las más húmedas al final del proceso (HFS), con 9.3 y 8.2 %, respectivamente ($P \leq 0.05$). Las

Table 2. Comparison of means of four drying variables of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) seeds under eight temperatures.**Cuadro 2. Comparación de medias de cuatro variables de secado de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) bajo ocho temperaturas.**

Temperature (°C)/ Temperatura (°C)	ISM (%) / HIS (%)	FSM (%) / HFS (%)	PWRD (%) / PPES (%)	TRCM (min) / TAMC (min)
Ambient (24.8 ± 2.7 °C) / Ambiente (24.8 ± 2.7 °C)	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
HSD / DMSH	2.00	1.30	2.03	

ISM = initial seed moisture; FSM = final seed moisture; PWRD = percentage weight removed from seeds during drying; TRCM = seed drying time to reach constant mass recorded for each lot, without replications; HSD = honestly significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

HIS = humedad inicial de las semillas; HFS = humedad final de las semillas; PPES = porcentaje de peso eliminado de las semillas durante el secado; TAMC = tiempo de secado de semillas en alcanzar masa constante registrado para cada lote, sin repeticiones; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

their weight, while Manzano Tepetlixpa was superior to them, losing 4 % more. At 35 °C, the four cultivars lost less weight, and from this temperature onwards the water loss is greater, which corresponds to a shorter drying time, but also with lower germination (Tables 2 and 4). This indicates that a standard seed drying process of the four cultivars should be carried out at 35 °C, as drying temperatures ≥ 45 °C drastically reduced the physiological quality parameters of the seeds.

Regarding physiological quality, the results of the analysis of variance showed a significant effect ($P \leq 0.01$) of the factors variety, drying temperature and storage period on six of the seven variables studied. The interaction of variety with temperatures was significant ($P \leq 0.05$) in four of the seven variables, and with storage time only in seedling length.

The results of the comparison of means among varieties (Table 3) showed that Tecozautla 04 and Gema had the best G1 (78.9 and 76.4 %, respectively), while Diamante had the lowest value (51.4 %). In the second week, Diamante, Gema and Manzano Tepetlixpa had the highest G2 values (5.6, 5.0 and 4.5 %, respectively), and Tecozautla 04 the lowest (4.2 %), although it was only statistically lower than Diamante. For G3, there were no significant differences among varieties (data not shown). Gema and Tecozautla 04 had the highest

semillas más secas y las que perdieron más peso al final de la prueba fueron las expuestas a 45 °C o superiores (43.4 - 45.3 %), mientras que las semillas secadas a 35 y 40 °C eliminaron menos peso. Las semillas secadas a 60 °C alcanzaron peso constante a los 255 min de iniciada la prueba, 5.83 veces más rápido que las secadas a temperatura ambiente. Se observó que con el aumento de la temperatura disminuyó el tiempo de secado, esto debido a la mayor velocidad de eliminación de agua. Lo anterior coincide con lo reportado por Christ, Corrêa, y Mantovani-Alvarenga (1997), quienes aseveran que a mayor temperatura mayor velocidad de secado, lo cual conlleva a mayores daños.

Los resultados de PPES en las cuatro variedades (Figura 1a) mostraron que Manzano Tepetlixpa fue superior en cuanto a pérdida de peso de sus semillas, mientras que Tecozautla 04 fue la que menos peso eliminó, semejante a lo ocurrido en la comparación de medias por variedad. También se observó que al secar las semillas a 35 °C las variedades Diamante, Gema y Tecozautla 04 perdieron cerca del 40 % de su peso, mientras que Manzano Tepetlixpa fue superior a ellas, al perder 4 % más. A 35 °C, los cuatro cultivares eliminaron menos peso, y a partir de esta temperatura la pérdida de agua es mayor, lo cual corresponde con un menor tiempo de secado, pero también con menor germinación (Cuadros 2 y 4). Esto indica que un proceso estándar

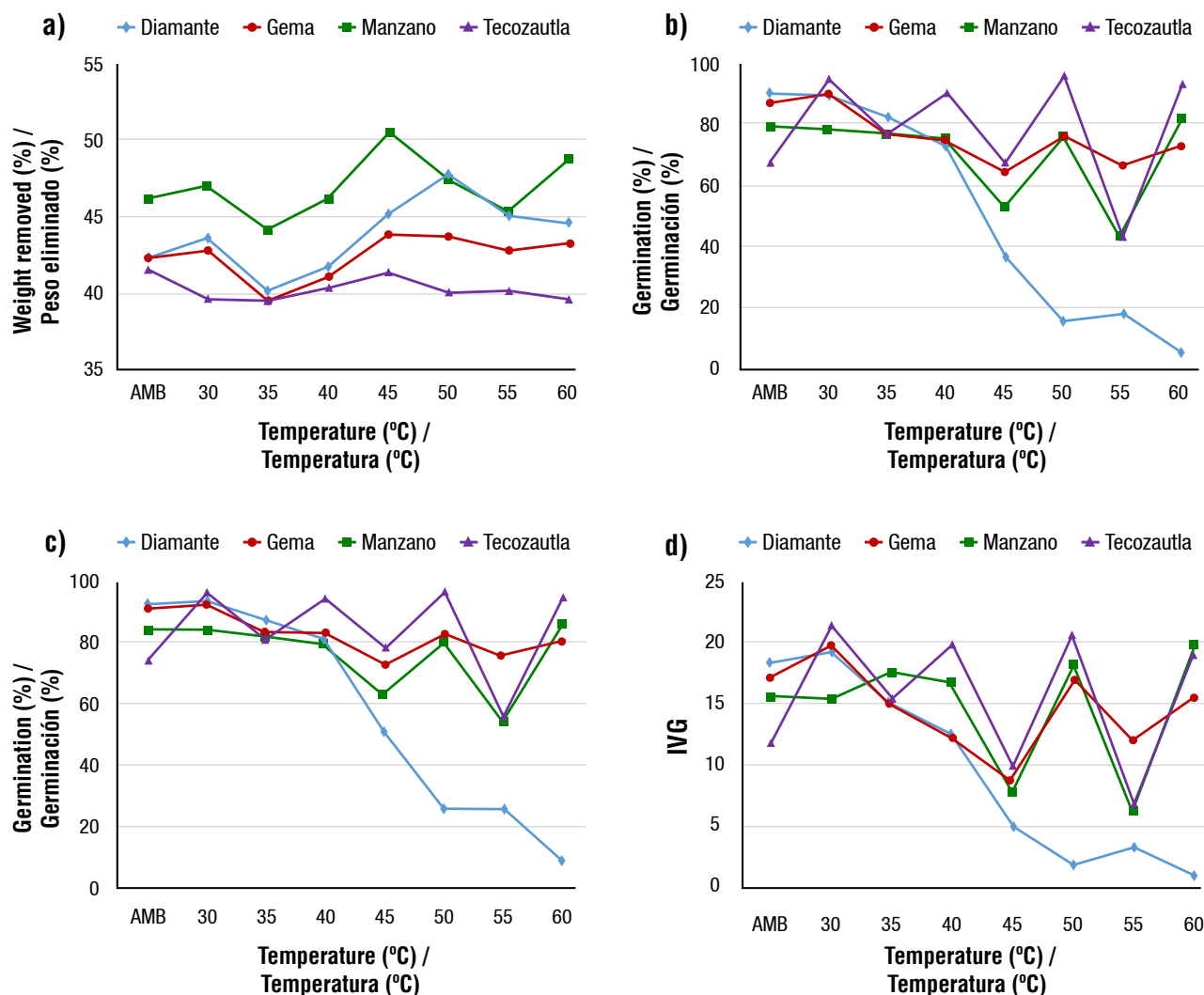


Figure 1. Behavior of the seeds of four tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) varieties during the drying process with eight temperatures. a) Percentage of weight removed in the form of water (PWRD), b) germination percentage after the first week (G1), c) total germination percentage (TG) and d) germination speed index (GSI).

Figura 1. Comportamiento de las semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) durante el proceso de secado con ocho temperaturas. a) Porcentaje de peso eliminado en forma de agua (PPES), b) porcentaje de germinación en la primera semana (G1), c) porcentaje de germinación total (GT) y d) índice de velocidad de germinación (IVG).

TG (82.2 and 83.7 %, respectively), and these varieties, together with Manzano Tepetlixpa, also had the highest SDW (0.960, 0.945 and 0.942 mg, respectively). Tecozautla 04 also had the highest values in the variables GSI (15.7) and SL (5.2 cm), while the Diamante variety had the lowest performance ($P \leq 0.05$) in TG (57.9 %), GSI (9.5) and SDW (0.8 mg), and numerically in SL (4.4 cm).

Since the seeds were produced under the same conditions, the difference in vigor behavior among the varieties can be attributed to, among other factors, their genetic condition, since the cultivars

de secado de semillas de las cuatro variedades se debe hacer a 35 °C, pues temperaturas de secado ≥ 45 °C redujeron drásticamente los parámetros de calidad fisiológica de las semillas.

En cuanto a la calidad fisiológica, los resultados del análisis de varianza mostraron efecto significativo ($P \leq 0.01$) de los factores variedad, temperatura de secado y periodo de almacenamiento sobre seis de las siete variables estudiadas. La interacción de variedad con temperaturas fue significativa ($P \leq 0.05$) en cuatro de las siete variables, y con tiempo de almacenamiento sólo en longitud de plántula.

Table 3. Comparison of means of six physiological quality variables of seeds of four tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) varieties.**Cuadro 3. Comparación de medias de seis variables de calidad fisiológica de semillas de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.).**

Variety / Variedad	G1 (%)	G2 (%)	TG (%) / GT (%)	GSI / IVG	SL (cm) / LP (cm)	SDW (mg) / PS (mg)
Diamante	51.41 c ^z	5.63 a	57.87 c	9.544 c	4.377 c	0.847 b
Gema	76.37 a	5.04 ab	82.16 a	14.716 b	4.793 b	0.960 a
Manzano Tepetlixpa	70.88 b	4.51 ab	75.98 b	14.695 b	4.683 bc	0.942 a
Tecozautla 04	78.90 a	4.24 b	83.68 a	15.687 a	5.193 a	0.945 a
HSD / DMSH	4.19	1.27	3.71	0.890	0.366	0.038

G1 = germination percentage after week one; G2 = germination percentage after week two; TG = total germination percentage; GSI = germination speed index; SL = average seedling length; SDW = average seedling dry weight; HSD = honestly significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

G1 = porcentaje de germinación en la semana uno; G2 = porcentaje de germinación en la 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. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

studied come from different races and, therefore, are genetically different. Manzano Tepetlixpa is from the Manzano race, Diamante is a product of the Puebla x Rendidora races, and Tecozautla 04 and Gema are from the Puebla race (Peña-Lomelí et al., 2014). The origin of the varieties could influence germination due to the different degree of breeding, and even differences in earliness (Coronado-González et al., 2019), which generates seeds with different stages of maturity, which can be reflected in the germination values. In this regard, chemical composition can influence vigor, drying speed and growth potential (Camacho-García et al., 2004). In this context, Pivotto-Bortolotto, Lemos de Menezes, Camacho-García, and Matheus-Mattioni (2008) state that differences in vigor associated with seed characteristics are generally attributed to chemical composition, mainly in relation to the amount of reserves or metabolic efficiency.

Comparison of means for the effect of temperatures (Table 4) showed that seed drying at 30 °C favored germination ($P \leq 0.05$) during the first week of the test, as values 7.09 and 9.94 % higher than those reached with seeds dried at ambient temperature and 35 °C, respectively, were obtained. Seed drying at 30 °C also favored TG and the GSI, this because they presented the highest values, which were above those obtained with ambient temperature by 5.69 % and 3.19, respectively (although statistically equal in TG). Seeds dried at ambient temperature and at 30 °C maintained a germination percentage higher than 85 %, which is the minimum established by SNICS for the certification of seeds for sowing (SNICS, 2014).

The G1 mean was 69.39 %, and drying the seeds at 45 °C or higher resulted in lower values. The same phenomenon occurred with the variables TG, GSI

Los resultados de la comparación de medias entre variedades (Cuadro 3) mostraron que Tecozautla 04 y Gema tuvieron el mejor G1 (78.9 y 76.4 % respectivamente), mientras que Diamante tuvo el menor valor (51.4 %). En la segunda semana, Diamante, Gema y Manzano Tepetlixpa presentaron los mayores valores de G2 (5.6, 5.0 y 4.5 %, respectivamente), y Tecozautla 04, el menor (4.2 %), aunque solo fue estadísticamente inferior a Diamante. Para el G3, no hubo diferencias significativas entre variedades (datos no mostrados). Gema y Tecozautla 04 presentaron el mayor GT (82.2 y 83.7 %, respectivamente), y estas variedades, junto con Manzano Tepetlixpa, también tuvieron los mayores PS (0.960, 0.945 y 0.942 mg, respectivamente). Tecozautla 04 también tuvo los valores más altos en las variables IVG (15.7) y LP (5.2 cm), mientras que en la variedad Diamante se observó el menor desempeño ($P \leq 0.05$) en GT (57.9 %), IVG (9.5) y PS (0.8 mg), y numéricamente en LP (4.4 cm).

Debido a que las semillas se produjeron bajo las mismas condiciones, la diferencia de comportamiento de vigor entre las variedades se puede atribuir, entre otros factores, a su condición genética, ya que los cultivares estudiados provienen de razas diferentes y, por lo tanto, son genéticamente distintas. Manzano Tepetlixpa es de la raza Manzano, Diamante es producto de las razas Puebla x Rendidora, y Tecozautla 04 y Gema son de la raza Puebla (Peña-Lomelí et al., 2014). El origen de las variedades pudo influir en la germinación por el diferente grado de mejoramiento, e inclusive diferencias en la precocidad (Coronado-González et al., 2019), lo cual genera semillas con diversos estados de madurez, que se puede reflejar en los valores de germinación. Al respecto, la composición química puede influir en el vigor, la velocidad de secado y el potencial de crecimiento (Camacho-García et al.,

Table 4. Comparison of means of six physiological quality variables of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) seeds under eight drying temperatures.

Cuadro 4. 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.

Temperature (°C) / Temperatura (°C)	G1 (%)	G2 (%)	G3 (%)	TG (%) / GT (%)	GSI / IVG	SDW (mg) / PS (mg)
Ambient (24.8 ± 2.7 °C) / Ambiente (24.8 ± 2.7 °C)	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
HSD / DMSH	6.99	2.13	0.64	6.19	1.487	0.063

G1 = germination percentage after week one; G2 = germination percentage after week two; G3 = germination percentage at week three; TG = total germination percentage; GSI = germination speed index; SDW = average seedling dry weight; HSD = honestly significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

G1 = porcentaje de germinación en la semana uno; G2 = porcentaje de germinación en la semana dos; G3 = porcentaje de germinación en la semana tres; GT = porcentaje de germinación total; IVG = índice de velocidad de germinación; PS = peso seco promedio de plántula; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

and SDW. This indicates that the higher the drying temperature, the lower the seed quality, regardless of the cultivar. This coincides with what was reported by Lemos-de Menezes, Lourenço-Pasqualli, Piccinin-Barbieri, Duarte-Vidal, and Massuquini-Conceição (2012), who evaluated drying in rice seeds. Gowda, Talukdar, and Ramaiah (1992) established that to obtain germination greater than 70 % in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seeds, the maximum permissible drying temperature is 45 °C. Rosa, Pinho, Vieira, and Veiga (2000), when studying the damage caused by drying in maize seed, point out that at 45 °C, the highest drying temperature in their study, damage could occur in the cell membrane systems, which reduced their ability for restoration during imbibition and, consequently, affected the release of solutes into the medium.

Excessive heating of seeds during drying, for prolonged periods of time or at high temperatures, can cause damage, such as a reduction in the percentage and speed of germination, formation of abnormal seedlings, ruptures inside the seed and testa, and alteration of the coloration. The extent of damage depends on the interaction between temperature, exposure time and seed water content (Nellist & Hughes, 1973).

The Variety x Temperature interaction had an effect on the variables G1, TG, GSI and SDW, and indicated

2004). En este contexto, Pivotto-Bortolotto, Lemos de Menezes, Camacho-Garcia, y Matheus-Mattioni (2008) afirman que diferencias en el vigor asociadas con 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.

La comparación de medias para el efecto de las temperaturas (Cuadro 4) mostró que al secar las semillas a 30 °C se favoreció la germinación ($P \leq 0.05$) durante la primera semana de la prueba, pues se obtuvieron valores 7.09 y 9.94 % superiores a los valores alcanzados con las semillas secadas a temperatura ambiente y 35 °C, respectivamente. El secado de semillas a 30 °C también favoreció la GT y el IVG, esto debido a que presentaron los valores más altos, que fueron superiores a los obtenidos con la temperatura ambiental en 5.69 y 3.19 %, respectivamente (aunque estadísticamente iguales en el GT). Las semillas secadas a temperatura ambiente y a 30 °C mantuvieron 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 G1 fue de 69.39 %, y al secar las semillas a 45 °C o más se obtuvieron valores menores. El mismo fenómeno ocurrió con las variables de GT, IVG y PS. Lo

that the behavior of the cultivars varied with the drying temperatures. Figure 1b shows that when seeds were dried at 30 °C, the Gema, Tecozautla 04 and Diamante varieties had the highest G1 (90 %), while the Manzano Tepetlixpa cultivar lagged behind with 78 %. Manzano Tepetlixpa reached its maximum germination (80 %) when dried at ambient temperature. On the other hand, when seeds were dried at 35 °C, G1 was similar in the four varieties (80 %).

Regarding TG (Figure 1c), it was observed that when the seeds were dried at 35 °C the germination of the four varieties was similar (from 82 to 86 %), as in the variable G1, but when they were dried at 30 °C, the Diamante, Gema and Tecozautla 04 varieties reached maximum germination (> 90 %), while the Manzano Tepetlixpa cultivar was below that level with 84 %. Likewise, it was observed that Diamante was the most sensitive to the high drying temperature, since above 40 °C its germination percentage decreased drastically, which coincided with the maximum drying temperature of 45 °C established by Gowda et al. (1992) for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seeds.

Figure 1d shows that drying at 30 °C favored the GSI, as the Tecozautla 04, Gema and Diamante cultivars reached the highest values (22, 20 and 19, respectively), while Manzano Tepetlixpa recorded 15.5. However, Manzano Tepetlixpa reached a GSI of 17.5 at 35 °C, while the others decreased considerably. As the drying temperature increased, the GSI of the four cultivars decreased. These results coincide with those reported by Höfs, Braga-Schuch, Teichert-Peske, and Albuquerque-Barros (2004), who state that high temperatures negatively influence the expression of seed vigor, which affects the initial growth of seedlings and their ability to accumulate biomass. In the GSI, the behavior of Diamante was similar to its performance in TG, since after 40 °C its values decreased until they reached 1 (when dried at 60 °C). This coincides with what was observed by Lemos-de Menezes et al. (2012), who point out that the higher the drying temperature, the greater the decrease in the physiological quality of the seeds.

The comparison of means of the storage period (Table 5) shows that storing the seeds for two months favored G1, with values 5 and 8 % higher ($P \leq 0.05$) than those obtained with seeds kept at zero and four months, respectively; GSI and TG also improved significantly ($P \leq 0.05$), although in this latter variable the value was statistically equal to that of the zero month of storage. Considering the second month of storage, at the fourth month there was a drop in the values of the variables G1, TG and GSI, and an increase in G2, which represents a decrease in physiological quality. The above behavior indicates the presence of a possible

anterior indica que a mayor temperatura de secado se reduce la calidad de las semillas, independientemente del cultivar. Esto coincide con lo reportado por Lemos-de Menezes, Lourenço-Pasqualli, Piccinin-Barbieri, Duarte-Vidal, y Massuquini-Conceição (2012), quienes evaluaron el secado en semillas de arroz. Gowda, Talukdar, y Ramaiah (1992) establecieron que para obtener una germinación superior al 70 % en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la temperatura máxima de secado permisible es de 45 °C. Rosa, Pinho, Vieira, y Veiga (2000), al estudiar los daños por secado en semilla de maíz, señalan que a los 45 °C, la temperatura de secado más alta de su estudio, pudieron ocurrir daños en los sistemas de membranas celulares, los cuales disminuyeron su capacidad de restablecimiento durante la imbibición y, en consecuencia, afectaron la liberación de solutos hacia el medio.

El calentamiento excesivo de las semillas durante el secado, por tiempo prolongado o temperatura elevada, puede provocar daños, como reducción en el porcentaje y velocidad de germinación, formación de plántulas anormales, rupturas al interior de las semillas y de los tegumentos, y alteración de la coloración. La extensión de los daños depende de la interacción entre temperatura, tiempo de exposición y contenido de agua de las semillas (Nellist & Hughes, 1973).

La interacción Variedad x Temperatura tuvo un efecto en las variables G1, GT, IVG y PS, e indicó que el comportamiento de los cultivares varió con las temperaturas de secado. En la Figura 1b se puede observar que al secar las semillas a 30 °C las variedades Gema, Tecozautla 04 y Diamante presentaron el máximo G1 (90 %), mientras que el cultivar Manzano Tepetlixpa quedó rezagado con el 78 %. Ésta última alcanzó su máxima germinación (80 %) cuando se secó a temperatura ambiente. Por otro lado, al secar las semillas a 35 °C, el G1 fue similar en las cuatro variedades (80 %).

En cuanto al GT (Figura 1c), se observó que cuando las semillas se secaron a 35 °C la germinación de las cuatro variedades fue similar (de 82 a 86 %), al igual que en la variable G1, pero cuando se secaron a 30 °C, las variedades Diamante, Gema y Tecozautla 04 alcanzaron la máxima germinación (> 90 %), mientras que el cultivar Manzano Tepetlixpa quedó abajo con 84 %. Asimismo, se observó que Diamante fue la más sensible a la temperatura elevada de secado, ya que por arriba de los 40 °C disminuyó drásticamente su porcentaje de germinación, lo cual coincidió con la temperatura de secado límite de 45 °C establecida por Gowda et al. (1992) para semillas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.).

En la Figura 1d se observa que el secado a 30 °C favoreció el IVG, pues los cultivares Tecozautla 04,

Table 5. Comparison of means of six physiological quality variables of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Bort. ex Horm.) seeds in three storage periods (SP).

Cuadro 5. Comparación de medias de seis variables de calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Bort. ex Horm.) en tres periodos de almacenamiento (PA).

SP (months)/ PA (meses)	G1 (%)	G2 (%)	TG (%)	GSI/IVG	SL (cm)/LP (cm)	SDW (mg)/PS (mg)
Zero/Cero	68.60 b ²	5.20 b	74.63 ab	13.165 b	5.605 a	0.888 b
Two/Dos	73.61 a	2.90 c	77.05 a	14.899 a	4.178 c	0.947 a
Four/Cuatro	65.95 b	6.46 a	73.09 b	12.918 b	4.501 b	0.935 a
HSD/DMSH	3.30	1.01	2.93	0.703	0.289	0.030

G1 = germination percentage at week one; G2 = germination percentage at week two; TG = total germination percentage; GSI = germination speed index; SL = average seedling length; SDW = average seedling dry weight; HSD = honestly significant difference. ²Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

G1 = porcentaje de germinación en la semana uno; G2 = porcentaje de germinación en la 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. ²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

dormancy period in the seeds, which in this research disappeared after two months (60 days) of storage. This behavior is also reported by Marín-Sánchez, Mejía-Contreras, Hernández-Livera, Peña-Lomelí, and Carballo-Carballo (2007) in tomatillo, and Randle and Homna (1981) in pepper (*Capsicum annum* L.).

Storing tomatillo seeds for two months also improved their SDW, compared to unstored seeds. Martínez-Solís et al. (2006) explain this result by relating it to a higher germination percentage, which in turn allows a higher germination speed. That is, the seedlings were more quickly exposed to light and, consequently, had more time to photosynthesize, which was reflected in the increase in SDW. For the SL trait, the highest values were obtained without storage, which is explained by the greater amount of reserves at zero months of storage (Lemos-de Menezes et al., 2012).

G1 had a high correlation ($P \leq 0.05$) with the variables TG, GSI, SDW and SL. This indicates that seeds with the best G1 achieved a higher germination speed and, therefore, had more time to carry out photosynthesis, which is reflected in the increase in SDW and SL (Martínez-Solís et al., 2006). This also explains the correlations of TG and SDW with GSI, and of SL with SDW.

Conclusions

Seed drying at 30 °C favored the expression of the physiological quality characteristics of the Gema, Tecozautla 04 and Diamante varieties, while Manzano Tepetlixpa performed better at 35 °C. Drying temperatures equal to or above 45 °C drastically reduced the physiological quality parameters of tomatillo seeds. A standard process for drying the

Gema y Diamante alcanzaron los valores más altos (22, 20 y 19, respectivamente), mientras que Manzano Tepetlixpa registró 15.5. No obstante, éste último alcanzó un IVG de 17.5 a 35 °C, en tanto que los otros disminuyeron considerablemente. A medida que subió la temperatura de secado, el IVG de los cuatro cultivares disminuyó. Estos resultados coinciden con los reportados por Höfs, Braga-Schuch, Teichert-Peske, y Albuquerque-Barros (2004), quienes afirman que las temperaturas elevadas influyen negativamente en la expresión del vigor de las semillas, lo cual afecta el crecimiento inicial de las plántulas y su capacidad de acumular biomasa. En el IVG, el comportamiento de Diamante fue similar a su desempeño en el GT, ya que después de los 40 °C disminuyeron sus valores hasta llegar a 1 (cuando se secaron a 60 °C). Esto coincide con lo observado por Lemos-de Menezes et al. (2012), quienes señalan que cuanto más elevada sea la temperatura de secado, mayor será la disminución de la calidad fisiológica de las semillas.

La comparación de medias del periodo de almacenamiento (Cuadro 5) muestra que el almacenamiento de las semillas por dos meses favoreció la G1, con valores 5 y 8 % superiores ($P \leq 0.05$) a los obtenidos con las semillas conservadas a cero y cuatro meses, respectivamente; también mejoraron significativamente ($P \leq 0.05$) el IVG y el GT, aunque en esta última variable el valor fue estadísticamente igual al del mes cero de almacenamiento. Considerando el segundo mes de almacenamiento, al cuarto mes hubo una caída en los valores de las variables G1, GT y IVG, y un aumento en G2, lo cual representa una disminución en la calidad fisiológica. El comportamiento anterior indica la presencia de un posible periodo de dormancia en las semillas, que en esta investigación desapareció

seeds of the four varieties tested should be done at 30 °C. After two months of storage, the seeds expressed the maximum values in terms of physiological quality characteristics.

End of English version

References / Referencias

- Baudet, L. M., Vilella, F. A., & Cavariani, C. (1999). Principios de secagem. *Seed News*, 10, 20-27. Retrieved from <https://seednews.com.br/artigos/2337-principios-de-secagem-edicao-marco-1999>
- Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds, physiology of development and germination*. New York, USA: Plenum Press.
- Camacho-García, D., Albuquerque-Barros, A. C., Teichert-Peske, S., & Lemos-de Menezes, N. (2004). A secagem de sementes. *Ciência Rural*, 34(2), 603-608. doi: 10.1590/S0103-84782004000200045
- Christ, D., Corrêa, P. C., & Mantovani-Alvarenga, E. (1997). Efeito da temperatura e da umidade relative do ar de secagem sobre a qualidade fisiológica de sementes de canola (*Brassica napus* L. var. oleifera Metzger.). *Revista Brasileira de Sementes* 19(2), 150-154. doi: 10.17801/0101-3122/rbs.v19n2p150-154
- Coronado-González, J., Peña-Lomelí, A., Magaña-Lira, N., Sahagún-Castellanos, J., & Ybarra-Moncada, C. (2019). Extracción y beneficio de semilla de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 42(2), 147-154. doi: 10.35196/rfm.2019.2.147
- 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.
- Höfs, A., Braga-Schuch, L. O., Teichert-Peske, S., & Albuquerque-Barros, A. C. (2004). Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. *Revista Brasileira de Sementes* 26(1), 92-97. doi 10.1590/S0101-31222004000100014
- International Seed Testing Association (ISTA). (2004). *International rules for seed testing. Rules 2004*. Zurich, Switzerland: ISTA Editions.
- Lemos-de Menezes, N., Lourenço-Pasqualli, L., Piccinin-Barbieri, A. P., Duarte-Vidal, M., & Massuquini-Conceição, G. (2012). Drying temperatures on physical integrity, physiological quality and chemical composition of rice seeds. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(4), 430-436. doi: 10.1590/S1983-40632012000400011
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(1), 176-177. doi: 10.2135/cropsci1962.0011183X0002000200033x
- Marín-Sánchez, J., Mejía-Contreras, J. A., Hernández-Livera, A., Peña-Lomelí, A., & Carballo-Carballo, A. (2007). Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. *Agricultura Técnica en México*, 33(2), 115-123.
- a los dos meses (60 días) de almacenamiento. Dicho comportamiento también lo reportan Marín-Sánchez, Mejía-Contreras, Hernández-Livera, Peña-Lomelí, y Carballo-Carballo (2007) en tomate de cáscara, y Randle y Homna (1981) en chile (*Capsicum annum* L.).
- El almacenamiento de las semillas por dos meses también mejoró su PS, en comparación con las semilla sin almacenar. Martínez-Solís et al. (2006) explican este suceso al relacionarlo con un mayor porcentaje de germinación, el cual permite, a su vez, una mayor velocidad de germinación. Es decir, las plántulas se expusieron con mayor celeridad a la luz y, en consecuencia, tuvieron más tiempo para fotosintetizar, lo que se reflejó en el incremento del PS. Para el carácter de LP, los valores más altos se obtuvieron sin almacenamiento, lo que se explica por la mayor cantidad de reservas a los cero meses de almacenamiento (Lemos-de Menezes et al., 2012).
- El G1 tuvo una correlación alta ($P \leq 0.05$) con las variables GT, IVG, PS y LP. Esto indica que las semillas con el mejor G1 lograron una mayor velocidad de germinación y, por lo tanto, tuvieron más tiempo para realizar la fotosíntesis, lo cual se refleja en el incremento de PS y LP (Martínez-Solís et al., 2006). Lo anterior también explica las correlaciones de GT y PS con IVG, y de LP con PS.

Conclusiones

El secado de semillas a 30 °C favorece la expresión de las características de calidad fisiológica de las variedades Gema, Tecozautla 04 y Diamante, mientras que Manzano Tepetlixpa se comportó mejor a 35 °C. Las temperaturas de secado iguales y superiores a 45 °C reducen drásticamente los parámetros de calidad fisiológica de las semillas de tomate de cáscara. Un proceso estándar de secado de semillas de las cuatro variedades analizadas se debe hacer a 30 °C. A los dos meses de almacenamiento, las semillas expresan los valores máximos en cuanto a las características de calidad fisiológica.

Fin de la versión en español

Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v33n2/v33n2a1.pdf>

Martínez-Solís, J., Peña-Lomelí, A., & Montalvo-Hernández, D. (2004). *Producción y tecnología de semilla de tomate de cáscara*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.

Martínez-Solís, J., Mendoza, N. M., Rodríguez-Pérez, J. E., Peña-Lomelí, A., & Peña, 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. Retrieved from <https://www.pubhort.org/iasth/50/0002.htm>
- Nellist, M. E., & Hughes, M. (1973). Physical and biological processes in the drying of seed. *Seed Science and Technology*, 1(1), 613-643.
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del Castillo, F., & Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 381-391. Retrieved from <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-4/9a.pdf>
- Pérez-Camacho, I., González-Hernández, V. A., Molina-Moreno, J. C., Ayala-Garay, O. J., & Peña-Lomelí, A. (2008). Efecto de desarrollo y secado de semillas de *Physalis ixocarpa* Brot. en germinación, vigor y contenido de azúcares. *Interciencia*, 33(10), 726-766. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008001000011&lng=es&nr_m=iso
- Pérez-Camacho, I., González-Hernández, V. A., Ayala-Garay, O. J., Carrillo-Salazar, J. A., García-de los Santos, G., Peña-Lomelí, A., & Cruz-Crespo, 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. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123192005>
- Pichardo-González, J. M., Ayala-Garay, O. J., González-Hernández, V. A., Flores-Ortiz, C. M., Carrillo-Salazar, J. A., Peña-Lomelí, A., Robledo-Paz, A., & García-de los Santos, G. (2010). Calidad fisiológica, ácidos grasos y respiración en semillas de tomate de cáscara deterioradas artificialmente. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3), 231-238. doi: 10.35196/rfm.2010.3.231
- Pivotto-Bortolotto, R., Lemos de Menezes, N., Camacho-García, D., & Matheus-Mattioni, N. (2008). Teor de proteína e qualidade fisiológica de sementes de arroz. *Bragantia*, 67(2), 513-520. doi: 10.1590/S0006-87052008000200028
- Randle, W. M., & Honma, S. (1981). Dormancy in peppers. *Scientia Horticulturae*, 14(1), 19-25. doi: 10.1016/0304-4238(81)90074-1
- Rosa, S., Pinho, E., Vieira, M., & 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. doi: 10.17801/0101-3122/rbs.v22n1p54-63
- SAS Institute Inc. (2004). *Statistical Analysis System: User's guide*, ver. 9.0. Cary, N. Y., USA: Author. Retrieved from https://www.sas.com/en_us/home.html
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2014). *Regla para la calificación de semilla de tomate (Physalis spp.)*. México, D.F.: Author. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/172417/Tomate_de_cascara.pdf
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2021). *Catálogo nacional de variedades vegetales*. Retrieved May, 2021 from <https://www.gob.mx/snics/articulos/catalogo-nacional-de-variedades-vegetales-en-linea>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). *Cierre de la producción agrícola*. Retrieved May, 2021 from <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York, USA: Freeman and Company.
- Villela, F. A., & Peske, S. T. (2003) Secagem de sementes. In: Peske, S., Rosenthal, M., & Rota, G. (Eds.), *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos* (pp. 283-321). Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade Federal de Pelotas.