

Efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de semillas de jitomate*

Imbibition effect in the physiological quality of tomato seeds

Claudia Pérez Mendoza¹, Guillermo Carrillo Castañeda^{1§}, Eloisa Vidal Lezama² y Elizabeth Ortiz García¹

¹Colegio de Posgraduados- Campus Montecillo. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad: Producción de Semillas. Carretera México-Texcoco Montecillo, Texcoco, km. 36.6, México. C. P. 56230. (cperez@colpos.mx; ortizgarciaeli@hotmail.com). ²Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco, km 38.5 Chapingo, Texcoco, México. C. P. 56230. (elovileza@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: carrillo@colpos.mx.

Resumen

Para contrarrestar los efectos negativos del proceso degenerativo en semillas, se han empleado diversos tratamientos pregerminativos con éxito parcial en diversas especies, como el químico acondicionamiento y el hidro acondicionamiento. Para evaluar efecto de la imbibición sobre la calidad fisiológica en semillas de jitomate se utilizaron muestras de 25 semillas envejecidas naturalmente las cuales fueron sometidas al pretratamiento (imbibición en agua destilada con aireación enérgica, 20 h y secado, 18 h) y, para germinar, colocadas en cajas Petri sobre papel sanita, humedecidas con 3.5 ml de agua destilada y colocadas inmediatamente en desecadores de vidrio ajustados a 200, 400 y 600 mm de Hg (vacío), donde fueron conservadas 12 días a 25 ± 1 °C. La germinación total en porcentaje (PG) viabilidad en porcentaje (VIA), peso de materia seca de la parte aérea (PSMA) y de la radícula (PSMR) fue determinada. Hubo diferencias significativas ($p \leq 0.001$) para semillas sometidas al pre-tratamiento en todos los parámetros de calidad fisiológica estudiados. Para la condición de vacío si hubo diferencias ($p \leq 0.001$) excepto, en el peso de materia seca de la radícula. En la interacción de semillas sometidas al pretratamiento y condiciones de vacío, no se encontraron significancias estadísticas en todas las variables de respuesta. Las semillas con pre-tratamiento

Abstract

To counteract the negative effects of the degenerative process in seeds, have employed various pre-germination treatments with partial success in various species, such as chemotherapy conditioning and hydro conditioning. To evaluate effect of imbibition on physiological quality seeds of tomato samples 25 aged seeds were used naturally which were subjected to pretreatment (imbibition in distilled water with vigorous aeration, 20 h and drying, 18 h) and, to germinate, placed in Petri dishes on paper, moistened with 3.5 ml distilled water and placed immediately in glass desiccators adjusted to 200, 400 and 600 mm Hg (vacuum), which were kept 12 days at 25 ± 1 °C. The total germination percentage (PG) viability percentage (VIA), weight of dry matter of the aerial part (PSMA) and the radicle (PSMR) was determined. There were significant differences ($p \leq 0.001$) for seeds subjected to pre-treatment in all physiological quality parameters studied. For vacuum condition if there were differences ($p \leq 0.001$) except in the dry matter weight of the radicle. In the interaction of seeds subjected to pretreatment and vacuum conditions, no statistical significances were found in all response variables. The seeds with pretreatment started faster germination, seeing reflected in greater VIA, PSMA and PSMR, compared seeds without pretreatment. For vacuum

* Recibido: abril de 2016
Aceptado: junio de 2016

iniciaron más rápido la germinación, viéndose reflejado en una mayor VIA, PSMA y PSMR en comparación, a las semillas sin pretratamiento. Para las condiciones de vacío se observó que los mayores valores de PG con 82.9%, VIA de 83.9%, PSMA y PSMR con 0.024 y 0.004 mg fueron para el tratamiento VAC 200 en comparación, con el tratamiento de VAC 600 que registró los menores resultados en este estudio. El pre tratamiento de imbibición y en combinación con la condición de VAC 200 acentúan las diferencias para establecer la condición de vigor de la semilla de jitomate.

Palabras clave: germinación, viabilidad, peso de materia seca, vigor.

Introducción

El deterioro es un proceso que ocurre en la semilla relativamente seca y se expresa durante la rehidratación de la misma. Al respecto, se sugieren tres hipótesis para describir los procesos que determinan el deterioro: 1) acumulación de productos deletéreos relacionados con el rompimiento de macromoléculas que inactivan tanto a enzimas como a los ácidos nucleicos o bien la aparición de membranas no funcionales y la acumulación de sustancias mutagénicas; 2) el deterioro causado por el desgaste natural, en el cual se considera que un incremento en el uso de organelos, células y órganos, causan reducción general de su capacidad de funcionamiento; y 3) mutaciones somáticas que aumentan en frecuencia con la edad de la semilla (Burris, 1983).

El deterioro en las semillas está relacionado con su edad, el contenido de humedad y las condiciones de almacenamiento. El deterioro disminuye el porcentaje de germinación, la velocidad de crecimiento de plántulas débiles o de bajo vigor, características que son evidentes durante el establecimiento de la plántula en campo (Veselova y Veselovsky, 2003) y la tolerancia a condiciones adversas. Los síntomas de la semilla deteriorada incluyen: crecimiento anormal, daños en las estructuras principales de las plántulas, pérdida de compuestos solubles (debido a excesiva permeabilidad de la membrana), reducción de la actividad enzimática, daño oxidativo al ADN y las proteínas, y producción de sustancias tóxicas (Basavarajappa *et al.* 1991).

Para contrarrestar los efectos negativos del proceso degenerativo en semillas, se han empleado diversos tratamientos con éxito parcial en diversas especies, como

conditions it was observed that the highest values of PG with 82.9%, VIA of 83.9%, PSMA and PSMR with 0.024 and 0.004 mg were for the treatment VAC 200 compared with treatment VAC 600 recorded lower results in this study. The pre imbibition treatment and in combination with the condition of VAC 200 accentuate differences to ascertain the condition vigor of seed tomato.

Keywords: germination, viability, vigor, weight of dry matter.

Introduction

The deterioration is a process that occurs in relatively dry seed and is expressed during rehydration of it. In this regard, three hypotheses are suggested to describe the processes determining deterioration: 1) accumulation of deleterious products related to breaking of macromolecules that inactivate both enzymes and nucleic acids or the occurrence of non-functional membranes and accumulation of mutagenic substances; 2) deterioration caused by wear and tear, which is considered to be an increase in the use of organelles, cells and organs, causing overall reduction in operating capacity; and 3) somatic mutations that increase in frequency with age seed (Burris, 1983).

The deterioration in seeds is related to their age, moisture content and storage conditions. The deterioration decreases the percentage of germination, growth rate of weak or low vigor seedlings, characteristics which are evident during the establishment of the seedling field (Veselova and Veselovsky, 2003) and tolerance to adverse conditions. The symptoms of impaired seed include: abnormal growth, damage to the main structures of seedlings, loss of soluble compounds (due to excessive membrane permeability), reduced enzyme activity, oxidative damage to DNA and proteins, and production of toxic substances (Basavarajappa *et al.*, 1991).

To counteract the negative effects of the degenerative process in seeds, have employed various treatments with partial success in various species, such as chemical treatment before planting (pre-sowing) (Grzesik and Janas, 2014) and pre hydration (pre-soaking) with water or growth regulators this to improve the germination capacity and vigor (Butola and Badola, 2004; Afzal *et al.*, 2005; Herrera *et al.*, 2011).

el tratamiento químico antes de la siembra (pre-sowing) (Grzesik y Janas, 2014) y la pre hidratación (pre-soaking) con agua o con reguladores de crecimiento esto para mejorar la capacidad germinativa y el vigor (Butola y Badola, 2004; Afzal *et al.*, 2005; Herrera *et al.*, 2011).

Al respecto, la imbibición es el proceso de toma de agua por parte de la semilla (Moreno *et al.*, 2006). Esta se da mediante la inmersión de las semillas en soluciones osmóticas o en cantidades determinadas de agua durante cierto periodo de tiempo. La imbibición permite que un mayor número de semillas alcance rápidamente el mismo nivel de humedad y active el aparato metabólico relacionado con el proceso pre-germinativo (Burgas y Powell, 1984). Es por ello, que mediante el proceso de imbibición de la semilla en agua o en soluciones diversas es factible mejorar su calidad fisiológica a través de la uniformidad en el porcentaje de germinación (Artola *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2007). McDonald (2000), menciona que en semillas pequeñas como las de cebolla, apio, zanahoria, tomate, pimienta y lechuga, es exitoso el acondicionamiento osmótico. Balaguera *et al.* (2009) realizaron un estudio con semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) imbibidas en agua con diferentes concentraciones de ácido giberélico y reportaron, diferencias estadísticas en el área foliar, masa fresca y seca de hojas, tallo y raíces y longitud de raíces. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de semillas de jitomate.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en marzo de 2015, en el laboratorio de Genética Molecular Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Se utilizó semilla de un cultivar comercial de jitomate de la casa Hortafloor: *Saladet* envejecida naturalmente con un porcentaje de germinación inicial de 60%.

A la semilla se aplicó un pretratamiento (SPT) que consistió en la inmersión de una muestra de cinco gramos de semilla, de la siguiente manera: la muestra de semilla fue colocada en una bolsita de franela que posteriormente, se introdujo a un recipiente de polietileno lleno de agua destilada (con capacidad de 2 L) que fue aireada energicamente con la ayuda de una bomba de aire para acuario ELITE® 802 (Rolf C. Hagen Inc.) y una piedra difusora del aire Biozon Fragar a temperatura ambiente durante 20 h. Después del

In this regard, the imbibition is the process of taking water from the seed (Moreno *et al.*, 2006). This occurs by immersing the seeds in osmotic solutions or certain amounts of water during a period of time. Imbibition allows a greater number of seeds quickly reach the same level of humidity and activate the metabolic apparatus related to the pre-germination process (Burgas and Powell, 1984). It is therefore, that through the process of seed imbibition in water or various solutions is feasible to improve their physiological quality through uniformity in germination percentage (Artola *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2007). McDonald (2000), mentions that small seeds like onion, celery, carrot, tomato, pepper and lettuce, osmotic conditioning is successful. Balaguera *et al.* (2009) conducted a study with seeds of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) inhibited in water with different concentrations of gibberellic acid and reporting, statistical differences in leaf area, fresh and dry mass of leaves, stem and roots and root length. Based on the above, the objective of this study was to evaluate the effect of soaking in the physiological quality of tomato seeds.

Materials and methods

The study was conducted in March 2015 in the laboratory of Molecular Genetics Montecillo Campus Postgraduate College, Montecillo, Texcoco, Mexico. The seed of a commercial was used of cultivar of tomato of the house Hortafloor: *Saladet* aged naturally with an initial germination percentage of 60%.

A seed was applies a pretreatment (SPT) consisting of immersing a sample of five grams of seed follows: the seed sample was placed in a bag flannel, subsequently introduced to a polyethylene vessel filled with distilled water (with capacity of 2 L) was aerated vigorously with the aid of an air pump for aquarium ELITE® 802 (Rolf C. Hagen Inc.) and an airstone Biozon Fragar air at room temperature for 20 h. After pregerminative treatment, the seeds were dried on paper towel at room temperature for 18 hours to remove excess water. The control treatment (ST) was one where the seed was not subject to pre-treatment (SPT).

The seeds subjected to pre-treatment (SPT) and the control seed (ST) were germinated in Petri dishes on sanita paper moistened with 3.5 ml of distilled water and they were, placed in each treatment four replications of 25 seeds. Subsequently, they covered with the lid of the box and

tratamiento pregerminativo, las semillas fueron desecadas sobre papel absorbente, a temperatura ambiente durante 18 horas para eliminar el agua excedente. El tratamiento testigo (ST) fue aquel en donde la semilla no fue sometida al pre tratamiento (SPT).

Las semillas sometidas al pre tratamiento (SPT) y la semilla testigo (ST) fueron germinadas en cajas Petri sobre papel sanita humedecido con 3.5 ml de agua destilada y sobre ellas, se colocaron por cada tratamiento cuatro repeticiones de 25 semillas. Posteriormente, se cubrieron con la tapa de la caja y se colocaron inmediatamente en los desecadores de vidrio para vacío ajustados a 200, 400 y 600 mm de Hg (vacío) donde fueron conservadas 12 días bajo condiciones ambientales de laboratorio con una temperatura de 25 ± 1 °C. Las variables evaluadas fueron: la germinación total en porcentaje (PG), porcentaje de viabilidad (VIA); pesos de la materia seca de la parte aérea (PMSA) y de la radícula (PMSR) expresado en microgramos (mg) después de secadas en una estufa a 70 °C durante 72 h (ISTA, 2012).

El diseño empleado fue completamente al azar con arreglo factorial donde el factor A son los tratamientos de semillas sometidas al pre-tratamiento y las semillas testigo y el factor B son las condiciones de vacío (VAC 200, VAC 400 y VAC 600) con cuatro repeticiones. Los resultados obtenidos de las variables respuesta se sometieron al análisis de varianza mediante el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2000) versión 9.0, y las diferencias entre tratamientos se estimaron con la prueba de comparación de medias Tukey con 5% de probabilidad. Previo al análisis de varianza, la proporción de plántulas germinadas por día expresadas en porcentaje, se transformaron mediante la función de $T = \arcseno = \sqrt{y/100}$, donde y es el valor a transformar y T el valor de la variable transformada. Adicionalmente, se estimaron las relaciones entre las diferentes variables registradas en este estudio y que fueron descritas por correlaciones simples de Pearson.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza para las variables de calidad fisiológica en donde, se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.001$ y $p \leq 0.05$) para las semillas sometidas al pre-tratamiento (SPT) y testigo (ST) en las variables de PG, VIA y PMSR mientras, que para las tres condiciones de vacío (VAC) si hubo diferencias

inmediatamente placed in glass desiccators vacuum adjusted at 200, 400 and 600 mm Hg (vacuum) where they were kept 12 days under ambient laboratory conditions with a temperature of 25 ± 1 °C. The variables evaluated were: total germination percentage (PG), percentage of viability (VIA); weights of the dry matter of the aerial part (PMSA) and the radicle (PMSR) expressed in micrograms (mg) after dried in an oven at 70 °C for 72 h (ISTA, 2012).

The design was completely randomized factorial arrangement where the factor A are seed treatments subjected to pre-treatment and the control factor and seeds B are vacuum conditions (VAC 200, VAC 400 and VAC 600) with four replications. The results of the response variables underwent analysis of variance using the Statistical Analysis System (SAS, 2000) statistical software version 9.0, and the differences between treatments were estimated with the mean comparison test with Tukey 5% probability. Prior to analysis of variance, the ratio of germinated seedlings per day expressed as percentages, were transformed by function $T = \arcsine = \sqrt{y/100}$, where y is the value transform and T is the transformed variable value. In addition, relations were estimated between the different variables recorded in this study and were described by simple Pearson correlations.

Results and discussion

In the table 1 shows the analysis of variance for the variables of physiological quality where present, significant differences ($p \leq 0.001$ and $p \leq 0.05$) for seeds subjected to pre-treatment (SPT) and control (ST) were recorded in the variables PG, VIA and PMSR while that for the three vacuum conditions (VAC) if there were significant differences ($p \leq 0.001$) except in PMSR. In the interaction of SPT seeds and ST by the vacuum conditions (VAC), no statistical significances were found in all response variables.

Moreover as the comparison Tukey for the seeds subjected to pre-treatment (SPT) and control seeds (ST) was observed in Figure 1, that when using SPT these started faster germination, seeing reflected in VIA greater compared to ST. That is, for PG was taken 74.4% in SPT cm and 69.5% in ST; VIA 74.8% in SPT and 69.7% in ST. Moreno and Jiménez (2013) found that in tomato seeds embedded in potassium nitrate germination percentages of 87.6 to 96.19%, respectively. Furthermore, these results demonstrate that the imbibition process occurs is a very important in the intensity

significativas ($p \leq 0.001$) excepto, en el PMSR. En la interacción de semillas SPT y ST por las condiciones de vacío (VAC), no se encontraron significancias estadísticas en todas las variables de respuesta.

of metabolic activity (Burgas and Powell, 1984), increase, being breathing the first activity to be detected in minutes and thus accelerates the process germination and seedling emergence (Bewley, 1997; Bewley and Black, 1994).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de calidad fisiológica evaluadas en semillas de jitomate.

Table 1. Mean squares analysis of variance for physiological quality variables evaluated in tomato seeds.

FV	GL	Variables [±]			
		‡PG (%)	‡VIA (%)	PMSA (mg)	PMSR (mg)
Pretratamiento (SPT y ST)	1	131.88 *	142.2 *	0.000023 ns	0.000015 *
Condiciones de vacío (VAC)	3	1099.23 **	1154.6 **	0.00039 **	0.000008 ns
SPT y ST x VAC	3	21.7 ns	19.2 ns	0.000011 ns	0.000003 ns
CV (%)		10.5	11	19	39.5

[±]PG= germinación total en porcentaje; VIA= porcentaje de viabilidad; PMSA= peso de la materia seca de la parte aérea; PMSR= peso de la materia seca de la radícula. **, *= significancia estadística al 0.001 y 0.05 de probabilidad; ns = no significativo. CV= coeficiente de variación. ‡Dato transformado con arco seno.

Por otra parte en cuanto a la comparación de medias de Tukey para las semillas sometidas al pre-tratamiento (SPT) y semillas testigo (ST) se observó en la Figura 1, que al emplear SPT estas iniciaron más rápidamente la germinación, viéndose reflejado en una mayor VIA en comparación a las ST. Esto es, para PG se tuvo 74.4% en SPT y 69.5% en ST; VIA 74.8% en SPT y 69.7% en ST. Moreno y Jiménez (2013) encontraron que en semillas de tomate imbibidas en nitrato de potasio porcentajes de germinación de 87.6 a 96.19%, respectivamente. Asimismo, estos resultados demuestran que al producirse el proceso de imbibición hay un incremento muy importante en la intensidad de la actividad metabólica (Burgas y Powell, 1984), siendo la respiración la primera actividad en ser detectada en minutos y por ende se acelera el proceso de germinación y emergencia de las plántulas (Bewley, 1997; Bewley y Black, 1994).

Bewley (1997); Sánchez *et al.* (2001) mencionan que en semillas embebidas en agua, presentan tres fases de la actividad respiratoria plenamente reconocidas. En la fase I que es la más corta en tiempo, la semilla absorbe rápidamente agua, inicia la respiración, se lleva a cabo la reparación del material genético y de las mitocondrias e inicia la síntesis de proteínas a partir de mensajeros preformados. Durante la fase II, la síntesis de proteínas a partir de mensajeros que se sintetizan en esa misma fase II y se generan nuevas mitocondrias. Al final de esta fase II la semilla completa el proceso de germinación y de emergencia, en la fase III inicia el desarrollo de la plántula (fase posgerminativa). Es importante mencionar, que si las fases de imbibición se

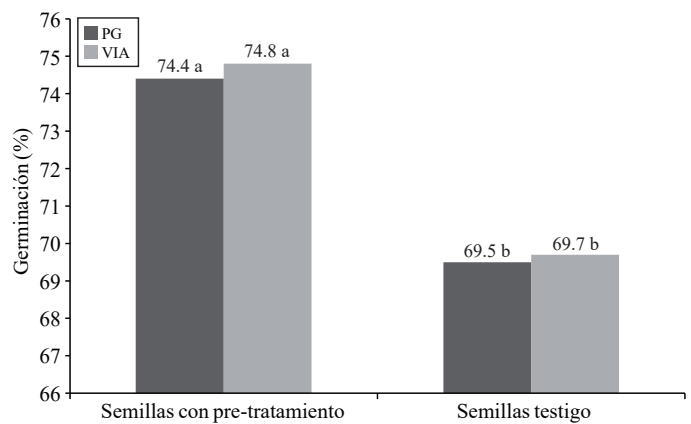


Figura 1. Comportamiento de la germinación total en porcentaje (PG) y del porcentaje de viabilidad (VIA) en semillas de jitomate sometidas al pre-tratamiento y testigo. Valores con la misma letra en la figura son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Figure 1. Behavior of the total germination percentage (PG) and the percentage of viability (VIA) in tomato seeds subjected to pre-treatment and control. Values with the same letter in the figure are statistically equal (Tukey $\alpha=0.05$).

Bewley (1997); Sánchez *et al.* (2001) mention that imbibed seeds in water, show three phases of the respiratory activity fully recognized. In phase i which is shorter in time, the seed absorbs water rapidly, starts breathing, is carried out repair genetic material and mitochondria and initiates protein synthesis from preformed messengers. During Phase II, the synthesis of proteins from messengers that are synthesized in the same phase II and new mitochondria are produced. At the end of this phase II seed completes the process of

llegasen a prolongar demasiado estas afectan el proceso de germinación, emergencia y el desarrollo de las plántulas (Bewley y Black, 1994).

Referente al efecto del tratamiento aplicado a las SPT y ST, se observó que al emplear semillas PT hubo mayor PMSA y PMSR con respecto a las semillas testigo (ST) lo cual indica que el pre-tratamiento de imbibición afectó de manera importante en la distribución de biomasa entre la parte aérea y la raíz. Este hecho es muy importante, ya que el vigor inicial depende de la producción de biomasa por la plántula (López *et al.*, 2004) y también de su distribución entre órganos que altera su calidad (Figura 2).

En la comparación de medias para las condiciones de vacío (VAC) se observó, que al someter la semilla en el VAC 200 se obtuvieron los mayores valores de PG y VIA con 82.9% en PG y 83.9% en VIA en comparación, con el tratamiento de VAC 600 que tuvo 51.2% de PG y VIA. Según Artola (2002) y Artola *et al.* (2003) a medida que se incrementa el vacío, se disminuye la capacidad de germinación de la semilla (Cuadro 2). Estos resultados demuestran que el oxígeno es uno de los factores principales que afectan el proceso de germinación, siendo el sustrato requerido por la respiración para producir la energía, la cual es necesaria para que ocurra la germinación (Taylor, 1997).

En cuanto a los valores de peso de materia seca de las diferentes estructuras de la planta osciló de 0.009 a 0.024 mg para PMSA y de 0.004 a 0.006 mg para PMSR siendo también la condición de vacío VAC 200 la que presentó los valores más altos en estos dos parámetros, por lo que puede considerarse que la prueba de VAC fue la adecuada para diferenciar a las semillas por su vigor (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias para los tratamientos de condiciones de vacío (VAC) en las variables de calidad fisiológica evaluadas en semillas de jitomate.

Table 2. Comparison of means for treatment under vacuum (VAC) in physiological quality variables evaluated in tomato seeds.

Tratamientos	Variables [‡]			
	PG (%)	VIA (%)	PMSA (mg)	PMSR (mg)
Testigo (sin vacío)	81.4 a	81.4 a	0.021 a	0.006 a
VAC 200	82.9 a	83.9 a	0.024 a	0.004 a
VAC 400	68.2 b	68.2 b	0.013 b	0.004 a
VAC 600	51.2 c	51.2 c	0.009 b	0.004 a
Media	72.03	72.33	0.02	0.004

[‡] PG= germinación total en porcentaje; VIA= porcentaje de viabilidad; PMSA= peso de la materia seca de la parte aérea; PMSR= peso de la materia seca de la radícula. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

germination and emergency, in the phase III starts seedling development (posgerminativa phase). It is important to note that if the phases of imbibition arrived too prolong these affect the process of germination, emergence and seedling development (Bewley and Black, 1994).

Concerning the effect of the treatment applied to the SPT and ST, it was observed that the use seed PT was greater PMSA and PMSR regarding the control seeds (ST) which indicates that the pre-treatment of imbibition significantly affected distribution biomass between shoot and root. This is very important because the initial force depends on the production of biomass per seedling (López *et al.*, 2004) and its distribution among organs that alters its quality (Figure 2).

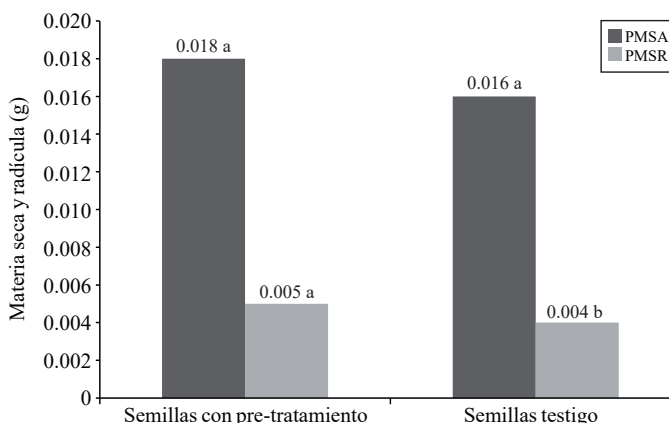


Figura 2. Pesos de la materia seca de la parte aérea (PMSA) y de la radícula (PMSR) evaluadas en semillas de jitomate sometidas al pre-tratamiento y testigo. Valores con la misma letra en la figura son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Figure 2. Weights of the dry matter of the aerial part (PMSA) and the radicle (PMSR) evaluated in tomato seeds subjected to pre-treatment and control. Values with the same letter in the figure are statistically equal (Tukey $\alpha=0.05$).

En cuanto a las combinaciones generadas entre semillas con pre-tratamiento y sin pretratamiento por condiciones de vacío (SPT x VAC) a través de las variables PG, VIA, PSMA y PMSR, se obtuvo mayor respuesta en las semillas pre tratadas y sin pretratamiento con VAC 200 siendo la condición óptima para establecer la condición de vigor de la semilla de jitomate. La variación observada en las combinaciones para PG fue de 49.9 a 83.3%, VIA de 49.9 a 84.6 %, PMSA de 0.007 a 0.024 mg y para PMSR de 0.003 a 0.007 mg (Cuadro 3).

In comparing means for vacuum conditions (VAC) was observed, that by subjecting the seed in the VAC 200 were obtained the highest values of PG and VIA with 82.9% in PG and 83.9% in VIA compared, with treatment VAC 600 which had 51.2% of PG and VIA. According Artola (2002) and Artola *et al.* (2003) as the vacuum increases, the capacity of seed germination is decreased (Table 2). These results demonstrate that oxygen is one of the main factors affecting the germination process, the substrate being required for respiration to produce energy, which is necessary for germination occurs (Taylor, 1997).

Cuadro 3. Comparación de medias para los tratamientos de condiciones de vacío (VAC) en las variables de calidad fisiológica evaluadas en semillas de jitomate.

Table 3. Comparison of means for treatment under vacuum (VAC) in physiological quality variables evaluated in tomato seeds.

Tratamientos	PG (%)	VIA (%)	Variables [±]	
			PMSA (mg)	PMSR (mg)
Semillas con pretratamiento				
Sin vacío	82.5 a	82.5 a	0.021 ab	0.007 a
VAC 200	83.3 a	84.6 a	0.024 a	0.006 a
VAC 400	72.8 ab	72.8 ab	0.014 bc	0.004 a
VAC 600	52.1 c	52.1 c	0.011 c	0.004 a
Semillas sin pretratamiento				
Sin vacío	78.2 a	78.2 a	0.022 a	0.005 a
VAC 200	82.5 a	83.2 a	0.023 a	0.003 a
VAC 400	63.2 ab	63.2 bc	0.011 c	0.004 a
VAC 600	49.9 c	49.9 c	0.007 c	0.004 a
Media	72.03	72.33	0.017	0.005

±PG= porcentaje de germinación total; VIA= porcentaje de viabilidad; PMSA= peso de la materia seca de la parte aérea; PMSR= peso de la materia seca de la radícula. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Con base en los resultados mostrados en el Cuadro 3, se infiere que entre semillas con pre-tratamiento y sin pretratamiento por condiciones de vacío altas (VAC 600) se disminuyó la actividad respiratoria esto debido a la falta de oxígeno siendo la principal causante de la reducción drástica de la germinación, viabilidad y acumulación de la materia seca de las plántulas de jitomate.

Por otra parte, al aplicar el coeficiente de correlación de Pearson a los datos obtenidos en esta investigación se encontró que, la germinación total en porcentaje (PG) está positivamente correlacionada con las variables peso de la materia seca de la parte aérea (PMSA) ($r=0.81$; $p\leq 0.0001$) y de radícula (PMSR) ($r=0.33$; $p\leq 0.06$). Estos resultados demuestran que por el tipo de análisis estadístico a que se sometieron las variables evaluadas en la calidad fisiológica,

As for the weight values of dry matter of different plant structures ranged from 0.009 to 0.024 mg for PMSA and 0.004 to 0.006 mg for PMSR being also the vacuum condition VAC 200 which had the highest values in these two parameters, so it can be considered that VAC test was appropriate to differentiate the seeds for its vigor (Table 2).

As for the generated combinations seed pre-treatment without pretreatment under vacuum (SPT x VAC) through variables PG, VIA, PSMA and PMSR, increased response was obtained in the pre-treated seeds without pretreatment VAC 200 being the optimum condition to establish the condition of seed vigor tomato. The variation observed in combinations for PG was 49.9 to 83.3%, VIA 49.9 to 84.6%, PMSA of 0.007 to 0.024 mg and PMSR of 0.003 to 0.007 mg (Table 3).

el grado de sensibilidad y precisión del pre-tratamiento de imbibición así como de la condición de vacío, los criterios importantes para diferenciar lotes de semilla con base en su valor potencial de la semilla para siembra fueron el PG y PSMA. Al respecto, Thomson (1979) indica que a mayor germinación de semillas darán como resultado plántulas más grandes que tendrán una mayor acumulación de materia seca cuando germinan en condiciones favorables (Pérez *et al.*, 2006). Esta respuesta se explica con base en una alta producción de energía en forma de ATP debido a un elevado contenido de proteína en las mitocondrias (McDaniel, 1973).

Conclusiones

La semilla sometida al pretratamiento de imbibición en agua germinó más rápido que en la semilla sin imbibición. Mediante la prueba de vacío VAC 200 se pudo diferenciar entre lotes de semilla de jitomate por la condición de vigor de sus semillas siendo este un criterio importante para determinar el valor potencial de la semilla para su siembra. El pretratamiento de imbibición y en combinación con la condición de VAC 200 acentúan las diferencias para establecer la condición de vigor de la semilla de jitomate.

Agradecimientos

Los autores(as) agradecen al Colegio de Postgraduados, por el apoyo económico recibido para realizar la investigación y también, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico a las coautoras para realizar estudios de postgrado en el Colegio de Postgraduados.

Literatura citada

- Afzal, I.; Basra S. M. A. and Iqbal, A. 2005. The effects of seed soaking with plant growth regulators on seedling vigor of wheat under salinity stress. *J. Stress Physiol. Biochem* 1:6-14.
- Artola, A. 2002. Desarrollo de técnicas para estimar y mejorar el vigor de semilla en *Lotus corniculatus* L. Tesis de doctor en ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. 122 p.
- Artola, A. G.; Carrillo, C. and García, de los S. G. 2003. Hydropriming: a strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Sci. Tech.* 31:455-463.

Based on the results shown in Table 3, it follows that between seed pre-treatment without pre-treatment under high vacuum (VAC 600) respiratory activity decreased this due to lack of oxygen being the main cause of the drastic reduction in germination, viability and accumulation of dry matter of the tomato seedlings.

Moreover, by applying the correlation coefficient Pearson to data obtained in this investigation it was found that, the total germination percentage (PG) is positively correlated with the variables weight of the dry matter of the aerial part (PMSA) ($r = 0.81$; $p \leq 0.0001$) and radicle (PSMR) ($r = 0.33$; $p \leq 0.06$). These results demonstrate that the type of statistical analysis to the variables evaluated in the physiological quality underwent, the sensitivity and accuracy of the pre-treatment of imbibition and the vacuum condition, the important criteria to differentiate seedlots based on their potential value for sowing seed were the PG and PSMA. In this regard, Thomson (1979) indicates that the higher seed germination will result in larger seedlings have a higher dry matter accumulation when germinating under favorable conditions (Pérez *et al.*, 2006). This response is explained based on a high energy output in the form of ATP due to a high content of protein in the mitochondria (McDaniel, 1973).

Conclusions

The seed imbibition subjected to pretreatment in water germinated faster than seeds without imbibition. By vacuum test VAC 200 could differentiate between tomato seed lots vigor by the condition of their seeds being this an important criterion to determine the potential value of the seed for planting. The pretreatment of imbibition and in combination with the condition of VAC 200 accentuate differences to ascertain the condition of seed vigor tomato.

End of the English version



- Artola, A.; Carrillo, C. G. and García, de los S. G. 2004. A seed vigor test for *Lotus corniculatus* L. based on vacuum stress. *Seed Sci. Tech.* 32:573-581.
- Balaguera, L. H. E.; Deaquíz, J. Y. A. G. y Álvarez, H. 2009. Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA_3). *Agron. Colomb.* 27(1):57-64.

- Basavarajappa, B. S.; Shetty, H. S. and Prakash, H. S. 1991. Membrane deterioration and other biochemical changes associated with accelerated ageing of maize seeds. *Seed Sci. Tech.* 19:279-286.
- Bewley, J. D. and Black, M. 1994. *Seeds physiology of development and germination*. 2nd (Ed.). Plenum Press, New York. 445 p.
- Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *Plant Cell*. 9:1055-1066.
- Burris, J. S. 1983. Physiological aspects of seed storability. *In: Burris, J. S. (Ed.). Proceedings of the Sixth Annual Seed Technology Conference*. Ames, Iowa, USA. 27-36 pp.
- Burgas, R. and Powell, A. 1984. Evidence for repair processes in the invigoration of seeds by hydration. *Ann. Bot.* 53:753-757.
- Butola, J. S. and Badola, H. K. 2004. Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in *Angelica glauca*, a threatened medicinal herb. *Curr. Sci.* 87:796-799.
- Grzesik, M. and Janas, R. 2014. Physiological method for improving seed germination and seedling emergence of root parsley in organic systems. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 59(3):80-86.
- Herrera, C. C.; Carrillo, C. G.; González, H. V. A.; Carrillo, S. J. A.; Peña, V. C. V. y García, N. J. R. 2011. Tratamientos químicos para recuperar la germinación en semillas de cebolla. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 17:63-72.
- ISTA. 2012. International rules for seed testing. *Seed Sci. Tech.* 24:243.
- López, S. J. A.; Castro, N. S.; Trejo, L. C.; Mendoza, C. M. C. and Ortiz, C. J. 2004. Biomasa acumulada e intercambio gaseoso en maíz proveniente de semilla de diferente tamaño bajo humedad favorable y restringida. *ΦYTON: Rev. Int. Bot. Exp.* 243-248.
- McDaniel, R. G. 1973. Genetic factors influencing seed vigor: biochemistry of heterosis. *Seed Sci. Tech.* 1(1):25-50.
- McDonald, M. B. 2000. Seed priming. *In: seed technology and its biological basis*. Black, M. and Bewley, L. (Eds.). Sheffield Academic Press Ltd. England. 287-325 pp.
- Moreno, M. B. L. y Jiménez, S. S. C. 2013. Efecto del acondicionamiento osmótico en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Santa Clara. *Conexión Agropecuaria JDC*. 3(2):11-17.
- Moreno, F. G.; Plaza, P. y Magnitskiy, S. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agron. Colomb.* 24(2):290-295.
- Pérez, C.; Hernández, A.; González, F. V.; García, G.; Carballo, A.; Vásquez, T. R. y Tovar, M. R. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agric. Téc. Méx.* 32(3):341-352.
- Sánchez, J.; Mejía, A. J. A.; Hernández, A.; Peña, A. y Carballo, C. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. *Agric. Téc. Méx.* 33:115-123.
- Sánchez, J. A.; Orta, B. R. y Muñoz, C. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agron. Costarric.* 25(1):67-91.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2000. *SAS user's guide*. SAS guide for personal computers. Versión 9.00 Edition. Cary, NC. USA. 1028 p.
- Taylor, A. G. 1997. Seed storage, germination and quality. *In: the physiology of vegetables crops*. Wien, H. C. (Ed.). CAB International. 1-36 pp.
- Thomson, J. R. 1979. *Introducción a la tecnología de semillas*. Acribia. España. 301 p.
- Veselova, T. V. and Veselovsky, D. V. A. 2003. Investigation of atypical germination changes during accelerated ageing of pea seeds. *Seed Sci. Tech.* 31:517-530.