

ACONDICIONAMIENTO OSMÓTICO DE SEMILLAS DE TOMATE DE CÁSCARA*

OSMOTIC CONDITIONING OF HUSK TOMATO SEEDS

José Marín Sánchez^{1§}, José Apolinar Mejía Contreras¹, Adrian Hernández Livera¹, Aureliano Peña Lomelí² y Aquiles Carballo Carballo¹

¹Producción de Semillas, Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 35.5, carretera México-Texcoco. 56230 Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. [§]Autor para correspondencia: josem@colpos.mx

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto del acondicionamiento osmótico sobre la calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara, se realizó un experimento en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, México, en el período septiembre de 2004 a mayo de 2005. La semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora fue osmoacondicionada con KNO₃, KCl y polietilén glicol-8000 a -5, -10, -15 y -20 atm durante 48, 72 y 96 h y posteriormente se almacenó durante 0, 7, 90 y 180 días. Los parámetros evaluados fueron: porcentaje de germinación, plántulas anormales, semillas latentes y semillas muertas, tiempo para alcanzar 50% de germinación y peso seco de plántula. El efecto del acondicionamiento osmótico sobre las variables de germinación varió en función del agente osmótico y su potencial, y la duración del tratamiento. El almacenamiento favoreció el porcentaje de germinación y redujo el de semillas latentes. El acondicionamiento osmótico con KCl a -15 atm durante 48 h o con KNO₃ a -20 atm durante 48 h, mejoraron la calidad fisiológica de la semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora, efecto que persistió hasta por 180 días después del tratamiento.

Palabras clave: *Physalis ixocarpa* Brot., germinación, osmoacondicionamiento, vigorización.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of osmopriming on the physiological quality of husk tomato seeds. The experiment was carried out at the Seed Analysis Laboratory of the Colegio de Postgraduados at Montecillo, State of Mexico, Mexico, during September 2004 to May 2005. Husk tomato seeds of cv. Rendidora were osmoprimed with KNO₃, polyethylene glycol 8000 and KCl as osmotic agents, at -5, -10, -15 and -20 atm during 48, 72 and 96 h. After primed, the seeds were stored during 0, 7, 90 and 180 days in order to evaluate the persistence of the osmopriming treatments. Seed physiological quality was evaluated by determining the percentage of germination, abnormal seedlings, latent seeds, death seeds, time to reach 50% germination and seedling dry weight. The osmopriming effects depended on the osmotic agent, the osmotic pressure and the duration of the treatment. Seed storage after osmopriming increased germination and reduced the percentage of latent seeds. Osmopriming with KCl at -15 atm during 48 h or with KNO₃ at -20 atm during 48 h improved the physiological quality of husk tomato seeds cv. Rendidora, improvement that persisted up to 180 days after treatment.

Key words: *Physalis ixocarpa* Brot., germination, invigoration, osmopriming.

* Recibido: Agosto de 2005
Aceptado: Abril de 2007

INTRODUCCIÓN

La prolongada latencia de la semilla de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) se debe a la presencia de un embrión inmaduro que requiere de un período corto de almacenamiento para completar su desarrollo y germinar adecuadamente (Orduña 1989). La calidad de la semilla se compone de varios elementos uno de ellos es la calidad fisiológica que se evalúa mediante pruebas de germinación y viabilidad.

El acondicionamiento osmótico se ha reportado como un método eficaz para mejorar la calidad fisiológica de la semilla a través de la uniformidad y porcentaje de germinación. El método consiste en la inmersión de la semilla en una solución de concentración determinada por un período dado; hidratada la semilla, se activa su metabolismo en forma controlada, de tal manera que la germinación no ocurre (Bradford *et al.*, 1990). El grado de hidratación de la semilla se controla por medio del equilibrio osmótico que se presenta entre el potencial hídrico de la solución y el interior de la semilla (Akers y Kevin, 1986), en esta condición, las semillas se mantiene en un estado germinativo avanzado durante el período de osmoacondicionamiento. Como resultado, las semillas con germinación “lenta” tienden a alcanzar a las “rápidas”, por lo que cuando las semillas osmoacondicionadas se siembran en campo germinan con mayor rapidez y uniformidad que las no tratadas. Este efecto es más evidente cuando se presentan condiciones adversas como pueden ser las ambientales o las de contenido de humedad en el suelo (Bradford, 1986).

En un estudio similar al presente, Tetepa (1997) acondicionó semillas de tomate de cáscara con polietilén glicol 200 a cinco potenciales osmóticos: 0, -5, -10, -15 y -20 atm durante cinco períodos de tratamiento: 0, 8, 16, 24 y 32 h. En los de 0 y -5 atm y 24 y 32 h observó 81% de germinación, lo que superó significativamente al testigo. No obstante estos resultados, se desconoce si los efectos benéficos del acondicionamiento osmótico persisten después de almacenar la semilla de tomate de cáscara a mediano plazo. En este contexto, el presente estudio se estableció con el siguiente objetivo: conocer el efecto y la persistencia del acondicionamiento osmótico con tres agentes osmóticos en tres concentraciones durante cuatro períodos de tratamiento y cinco de almacenamiento posterior, sobre la calidad fisiológica de semillas de tomate de cáscara.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se condujo en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Se inició en septiembre de 2004 y se concluyó en Mayo de 2005. Se utilizaron semillas de tomate de cáscara cv. Rendidora previamente almacenadas durante un año a 10 °C, envases de cristal de 100 ml para el acondicionamiento osmótico, dos bombas de aire pequeñas, termómetro, papel filtro y cajas de petri, cámara de germinación iluminada, refrigerador, estufa de secado y balanza digital; nitrato de potasio KNO₃, cloruro de potasio KCl y polietilén glicol 8000, (PEG-8000); agua destilada para la preparación de las soluciones y las pruebas de germinación, tetrazolio para pruebas de viabilidad y fungicida “Captan 500” (i.a. captan) a dosis de 5 gL⁻¹ de agua.

El experimento se realizó con un arreglo factorial en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, los factores de variación fueron: tres agentes osmóticos KNO₃, PEG-8000 y KCl, cuatro potenciales osmóticos -5, -10, -15 y -20 atm y tres períodos de acondicionamiento osmótico 48, 72 y 96 h. Como testigos se incluyeron, agua destilada como agente osmótico, 0 atm y 0 h de período de acondicionamiento.

Las soluciones con PEG-8000 se prepararon de acuerdo con la ecuación propuesta por Michel (1983):

$$[\text{PEG}] = [4 - (5.16 \Psi T - 560 \Psi + 16) / (2)] / [2.58 T - 280]$$

donde:

T= Temperatura de preparación de la solución en °C

Ψ= Potencial osmótico requerido en bares

[PEG]= Kilogramos de PEG por litro de agua destilada.

Las soluciones de KNO₃ y KCl se prepararon de acuerdo con la ecuación propuesta por Wiggans y Gardner (1959):

$$G = (P V_m) / (RT)$$

donde:

G= Gramos de soluto a utilizar

P= Presión osmótica deseada (atm)

V= Volumen en litros

m= Peso molecular del soluto

R= Constante igual a $0.0825 \text{ atm l mol}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$

T= Temperatura a la que se prepara la solución ($^\circ\text{K}$).

Las soluciones se vaciaron en los envases de vidrio donde fueron sumergidas las semillas durante la duración de los tratamientos. Se utilizó un sistema de oxigenación con dos bombas de aire, manguera de 8 mm de diámetro y micro tubos como lo sugieren Welbaum *et al.* (1998).

Después del acondicionamiento osmótico se evaluó el porcentaje de semillas germinadas, mismas que se lavaron con agua corriente para eliminar los residuos de los agentes utilizados durante el tratamiento; enseguida, se les asperjó el fungicida como preventivo de enfermedades, secándolas a $18 \text{ } ^\circ\text{C}$ y se almacenaron a $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ por cuatro períodos, 0, 7, 90 y 180 días.

Después del período de almacenamiento se realizaron pruebas de germinación. Se tomaron 100 semillas de cada tratamiento, formando cuatro submuestras de 25 semillas cada una, se colocaron en cajas petri con papel filtro húmedo. Se introdujeron en la cámara de germinación a $22 \text{ } ^\circ\text{C}$. Durante la prueba se realizaron dos conteos para evaluar el porcentaje de germinación, el primero al día 7 y el segundo al día 28 (ISTA, 2004). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, plántulas anormales, semillas latentes, semillas muertas, tiempo (en h) para alcanzar 50% de germinación (G50) y peso seco de plántulas. Se realizó la prueba de viabilidad con tetrazolio al 0.1% (ISTA, 2004) a las semillas que permanecieron sin emitir la radícula para verificar que estaban vivas y considerarlas como latentes.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza, contrastes ortogonales entre los tratamientos y el testigo y en aquellas que mostraron diferencia significativa se realizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) con el uso del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999). En lo que se refiere a las interacciones, sólo se consideraron las relevantes de acuerdo con los objetivos planteados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se observaron semillas germinadas durante los períodos de acondicionamiento osmótico en los tratamientos

evaluados. Según Akers y Kevin (1986), esto se debe a que la presión osmótica de la solución y semilla llegan a un equilibrio, con lo que se interrumpe el flujo de agua hacia el interior de la semilla y la germinación no llega a ocurrir.

Efecto de los agentes osmóticos

Para este factor se observaron diferencias significativas en las variables: porcentaje de germinación, porcentaje de plántulas anormales, porcentaje de semillas muertas, tiempo para alcanzar 50% de germinación y peso seco de plántula (Cuadro 1).

En general, los tres agentes osmóticos utilizados superaron al testigo en el porcentaje de germinación: mostraron un menor número de plántulas anormales y semillas latentes y mayor peso seco de plántulas. Las semillas osmoacondicionadas con KNO_3 mejoraron en 22% la tasa de germinación, redujeron en 10% el número de plántulas anormales, en 12% las semillas latentes y en 52 h el tiempo para alcanzar 50% de germinación con respecto al testigo; sin embargo, con este agente se observó el valor más bajo de peso seco de plántula respecto a KCl y PEG-8000, aunque superó al testigo (Cuadro 2).

Potenciales osmóticos

Se observaron diferencias significativas en todas las variables evaluadas correspondientes a este factor (Cuadro 1). En general, todos los potenciales osmóticos utilizados mostraron mayor porcentaje de germinación, menor porcentaje de plántulas anormales y semillas latentes, mayor rapidez en la germinación y mayor peso seco de plántula que el testigo (Cuadro 3). De los potenciales osmóticos utilizados, el de -15 atm , obtuvo el mayor porcentaje de germinación, los menores porcentajes de semillas muertas, latentes y plántulas anormales, además de lograr 50% de germinación en el período más corto. Este resultado difiere de los de Tetepa (1997) quien obtuvo resultados positivos con potenciales más altos (0 y -5 atm); sin embargo, coincide con los de Parera y Cantliffe (1994), quienes determinaron que acondicionar osmóticamente a potenciales bajos permite obtener una germinación más rápida.

Período de acondicionamiento osmótico

En las siguientes variables: porcentaje de plántulas anormales, G50 y peso seco de plántula se observaron diferencias significativas (Cuadro 1). Todos los períodos de

Cuadro 1. Cuadrados medios de las variables de germinación en cuatro factores de estudio: agente osmótico, potencial osmótico, período de osmoacondicionamiento y período de almacenamiento y sus interacciones en semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora.

Fuente de variación	G.L.	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas latentes (%)	Semillas muertas (%)	G50 (h)	Peso seco de plántulas (mg)
Testigo	4	1305.8	313.27	2067.89	12.67	3322.97	0.0333
A	2	2660.8**	751.00**	15.25	682.77**	267361.0**	0.6723**
B	3	554.74**	333.11**	24.77*	117.35**	11826.40**	0.3052**
C	2	75.02	27.08*	3.58	60.39	60871.58**	0.1349**
D	3	719.11**	20.88	25.81**	151.65**	1039976.1**	1.4472**
AxB	6	343.13**	147.00**	29.91**	105.95**	18735.71**	0.1615**
AxD	6	78.84**	9.11	12.06	154.80**	28218.49**	0.1330**
AxC	4	370.16**	24.33*	42.45**	157.60**	75947.16**	0.3509**
BxD	9	41.15	9.20	1.49	45.02*	4039.42**	0.1355**
BxC	6	146.81	82.75**	8.07	138.13**	27497.76**	0.0750**
CxD	6	67.68*	1.08	2.28	98.76**	4700.10**	0.0401**
AxBxD	18	49.59	3.13	15.52**	38.28*	8275.09**	0.1235**
AxBxC	12	97.01**	116.38**	20.29**	41.73*	10312.90**	0.1386**
AxCxD	12	27.63	2.05	4.82	15.58	16051.07**	0.0327**
BxCxD	18	29.78	3.81	3.22	18.43	10685.15**	0.0364**
AxBxCxD	36	25.00	1.54	2.71	27.08	3377.60**	0.0585**
Error	444	30.12	8.39	6.40	21.35	138.62	0.0002
C.V.		6.51	65.97	111.81	50.57	5.19	1.76
R ²		0.64	0.65	0.58	0.48	0.98	0.99

*Significativo al 0.05%; **Altamente significativo al 0.01%; G.L.= Grados de libertad; G50= Tiempo para alcanzar el 50% de germinación; A= Agente osmótico; B= Potencial osmótico; C= Período de osmoacondicionamiento; D= Período de almacenamiento.

Cuadro 2. Efecto de agentes de osmóticos en variables de germinación en semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora.

Agente osmótico	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas latentes (%)	Semillas muertas (%)	G50 (h)	Peso seco de plántula (mg)
KNO ₃	88.56 a	2.45 a	1.97	7.00 a	196.43 a	0.8742 c
PEG-8000	84.39 b	3.70 a	1.66	10.22 b	267.95 d	0.9902 a
KCl	81.13 c	6.33 b	2.22	10.30 b	213.72 b	0.9120 b
Testigo	66.50 d	12.50 c	13.25	7.75 a	252.75 c	0.8333 d
Media	84.20	4.39	2.26	9.13	226.76	0.9230

G50= Tiempo para alcanzar 50% de germinación. Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales (Tukey, 0.05).

acondicionamiento osmótico superaron al testigo en todas las variables de germinación evaluadas (Cuadro 4).

En el período de 48 h de tratamiento se observaron los mejores resultados en coincidencia con los de Möller y Smith (1998), quienes reportaron que el período de acondicionamiento osmótico debe ser corto; con períodos prolongados existe el riesgo de que los iones de los agentes

osmóticos penetren la semilla y dañen el embrión. Estos resultados concuerdan con los de Tetepa (1997), quien al acondicionar osmóticamente semillas de tomate de cáscara obtuvo la mejor calidad fisiológica con 32 h de tratamiento. Por su parte Haigh y Barlow (1986) observaron que al prolongar el período de acondicionamiento osmótico se redujo el porcentaje de germinación con relación al testigo.

Cuadro 3. Efecto de potenciales osmóticos en variables de germinación en semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora.

Potencial Osmótico (atm)	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas latentes (%)	Semillas muertas (%)	G50 (h)	Peso seco de plántula (mg)
-5	83.19 b	5.75 b	2.55 a	8.50 ab	219.02 a	0.9898 a
-10	83.50 b	5.05 b	1.91 a	9.52 ab	230.47 b	0.8921 c
-15	87.50 a	2.38 a	1.72 a	8.38 ab	218.00 a	0.9278 b
-20	84.59 b	3.47 a	1.63 a	10.29 b	236.66 c	0.8922 c
Testigo	66.50 c	12.50 c	13.25 b	7.75 a	252.75 d	0.8333 d
Media	84.20	4.39	2.26	9.13	226.76	0.9230
DSH 0.05	2.85	1.50	1.31	2.40	6.12	0.0085

G50= Tiempo para alcanzar 50% de germinación. Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 4. Efecto del período de acondicionamiento en variables de germinación en semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora.

Tiempo de acondicionamiento osmótico	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas latentes (%)	Semillas muertas (%)	G50	Peso seco de plántula (mg)
48 h	85.27 a	3.85 a	1.97 a	8.89 a	220.58 b	0.9546 a
72 h	84.79 a	4.58 a	1.81 a	8.81 a	245.93 c	0.9028 c
96 h	84.03 a	4.06 a	2.08 a	9.82 a	211.60 a	0.9190 b
Testigo	66.50 b	12.50 b	13.25 b	7.75 a	252.75 d	0.8333 d
Media	84.20	4.39	2.26	9.13	226.76	0.9230
DSH 0.05		1.47			6.00	0.0083

G50= Tiempo para alcanzar 50% de germinación. Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales (Tukey, 0.05).

Períodos de almacenamiento

El acondicionamiento osmótico de las semillas es una práctica comercial exitosa que mejora el proceso de germinación (Bruggink *et al.*, 1999); sin embargo, reduce el período de almacenamiento, lo que representa una limitante de esta tecnología. Lo anterior es el resultado de interacciones complejas entre factores físicos y bioquímicos que desestabilizan las proteínas (Wolkers *et al.*, 1999). Además, con el osmoacondicionamiento se incrementa la susceptibilidad del ADN a sufrir daños durante el almacenamiento debido a que se modifica la cantidad de proteínas que codifica (Boubriak *et al.*, 2000 y Chiatante y Onelli, 1993). Gurusinghe y Bradford (2001) coincidieron con lo señalado anteriormente e indicaron que la semilla de varias especies osmoacondicionadas durante períodos cortos reducen el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, en esta investigación ocurrió lo contrario,

ya que la calidad fisiológica de la semilla de tomate de cáscara mejoró a medida que se prolongó el período de almacenamiento.

Los períodos de almacenamiento de 90 y 180 días mostraron el más alto porcentaje de germinación y el menor porcentaje de semillas latentes en comparación con el testigo (Cuadro 5). Estos resultados difieren con los de Atherton y Faroque (1983), quienes observaron que los efectos benéficos del acondicionamiento osmótico pueden perderse durante el almacenamiento.

Interacciones

Agente osmótico x potencial osmótico. En esta interacción se observó que tanto el agente como el potencial osmótico interactuaron sobre las variables de germinación evaluadas, lo cual coincide con lo señalado por Cantliffe (1981).

Cuadro 5. Efecto del período de almacenamiento en variables de germinación en semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora.

Almacenamiento	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas latentes (%)	Semillas muertas (%)	G50	Peso seco de plántula (mg)
0 d	82.16 b	4.78 a	3.45 b	9.59 b	297.86 c	0.8531 c
7 d	82.45 b	4.02 a	3.29 b	10.21 b	298.89 c	0.8514 c
90 d	85.87 a	4.08 a	1.13 a	8.90 a b	163.94 b	0.9283 b
180 d	86.32 a	4.67 a	1.16 a	7.83 a	146.35 a	1.0591 a
Media	84.20	4.39	2.26	9.13	226.76	0.9230
DSH 0.05	1.64		0.7580	1.38	3.52	0.0049

G50= Tiempo para alcanzar 50% de germinación. Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales (Tukey, 0.05).

Los mayores porcentajes de germinación 87.4 y 90.5 y los menores porcentajes de semillas muertas 7.6 y 7.4, se obtuvieron con KNO_3 a -15 y -20 atm, respectivamente, en comparación con PEG-8000 que obtuvo el menor y mayor valor para esas variables, respectivamente (Cuadro 6). Estos resultados difieren con los de Parera y Cantliffe (1994) quienes mencionaron que el polietileno glicol tiene ventajas sobre las sales inorgánicas por ser una sustancia inerte sin efectos tóxicos en el embrión, debido a que el tamaño de la molécula del PEG-8000 no le permite entrar en la semilla. Respecto al peso seco de plántula, el valor mayor de 1.14 mg y estadísticamente superior a los demás se obtuvo con PEG-8000 a -5 atm, lo cual coincide con los resultados de Tetepa (1997), quien observó incrementos en el peso seco de plántulas de tomate de cáscara después de tratar las semillas en una solución de PEG-200 a -5 atm.

Agente osmótico x período de almacenamiento. Se observó significancia para los porcentajes de germinación y semillas muertas, G50 y peso seco de plántula (Cuadro 1). El osmoacondicionamiento de semilla con KNO_3 y su posterior almacenamiento durante 90 y 180 días, mostraron el mayor porcentaje de germinación, el menor porcentaje de plántulas anormales, semillas latentes y muertas en comparación con el resto de las combinaciones (Cuadro 6).

Agente osmótico x período de acondicionamiento. En esta interacción se observó significancia para todas las variables evaluadas (Cuadro 1). El mayor porcentaje de germinación se observó en el tratamiento con KNO_3 durante 96 y 72 h (Cuadro 6).

Período de almacenamiento x período de acondicionamiento. Se observó significancia para las variables porcentaje de germinación, semillas muertas, tiempo en alcanzar 50% de germinación y peso seco de plántula (Cuadro 1). El mayor porcentaje de germinación se obtuvo con los períodos de almacenamiento de 90 y 180 días para los tres de acondicionamiento evaluados. En general, en la semilla osmoacondicionada durante 48 h y almacenada durante 180 días se observaron los mejores resultados en las variables evaluadas (Cuadro 6).

Agente osmótico x potencial osmótico x período de acondicionamiento x período de almacenamiento. Esta interacción permitió detectar con precisión el efecto conjunto de los tratamientos sobre las variables estudiadas. De manera general, la semilla osmoacondicionada con KCl a -15 atm durante 48 h y con 90 y 180 días de almacenamiento; así como, con KNO_3 a -20 atm durante 72 y 180 días de almacenamiento, superaron al testigo en todas las variables estudiadas (Cuadro 7) y en 17% a los resultados obtenidos por Tetepa (1997), quien después de acondicionar osmóticamente semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora con PEG-200 obtuvo como máximo 81% de germinación.

En general, se observó mayor calidad fisiológica en semillas acondicionadas que en el testigo. De acuerdo con Szafirowska *et al.* (1981), el osmoacondicionamiento mejora la movilidad de las reservas de la semilla hacia el embrión, lo cual influye en la uniformidad y velocidad de germinación. McDonald (2000), mencionó que el acondicionamiento osmótico ha sido exitoso en especies de semilla pequeña como zanahoria, pimienta, apio,

Cuadro 6. Efecto de las interacciones: Agente osmótico x potencial osmótico, agente osmótico x período de almacenamiento, agente osmótico x período de acondicionamiento, potencial osmótico x período de almacenamiento y período de almacenamiento x período de acondicionamiento, sobre las variables de germinación en semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora.

Interacción	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas latentes (%)	Semillas muertas (%)	G50	Peso seco de plántula (mg)
Agente de acondicionamiento x potencial osmótico						
1. KNO ₃ (-20 atm)	90.58 a	0.00 a	2.00 a	7.41 a	223.25 a	0.8899b
2. KNO ₃ (-15 atm)	87.41 a	2.66 a	2.25 a	7.66 a	216.65 a	0.8797b
3. PEG (-5 atm)	83.66 b	4.91 a	1.83 a	9.58 b	278.67 a	1.1419a
Media	84.69	4.01	1.95	9.17	226.04	0.9255
DSH 0.05	4.28	2.20	1.89	3.57	61.17	0.1124
Agente de acondicionamiento x período de almacenamiento						
1. KNO ₃ (90 d)	91.91 a	2.41 a	1.25 a	4.41 a	142.25 a	0.8078a
2. KNO ₃ (180 d)	91.50 a	2.83 a	1.08 a	4.58 a	143.00 a	1.0177a
Media	84.69	4.01	1.95	9.17	226.04	0.9255
DSH 0.05	4.38			3.53	36.15	0.1002
Agente de acondicionamiento x tiempo de acondicionamiento						
1. KNO ₃ (96 h)	90.50 a	2.31 a	1.50 b	5.68 a	155.63 a	0.9440a
2. KNO ₃ (72 h)	88.37 a	2.93 a	1.56 b	7.12 b	202.50 a	0.8550a
3. KCl (96 h)	80.40 b	5.68 b	2.25 b	11.65 b	198.94 a	0.8832b
Media	84.69	4.01	1.95	9.17	226.04	0.9255
DSH 0.05	3.66	2.04	1.56	2.95	49.07	0.0927
Período de almacenamiento x tiempo de acondicionamiento						
1. 7 d (48 h)	82.33 b	3.33 a	2.91 a	11.41 b	298.50 b	0.8726b
2. 90 d (48 h)	88.41 a	3.58 a	1.16 a	6.83 a	149.50 a	0.9782b
3. 90 d (72 h)	86.00 a	4.41 a	0.58 a	9.00 b	187.50 a	0.8659b
4. 90 d (96 h)	84.54 a	3.75 a	0.83 a	10.87 b	147.50 a	0.9490b
5. 180 d (48 h)	87.91 a	4.16 a	1.00 a	6.91 a	137.50 a	1.0957a
6. 180 d (72 h)	86.00 a	4.50 a	0.75 a	8.75 b	151.00 a	1.0737a
7. 180 d (96 h)	86.83 a	4.25 a	0.91 a	8.00 b	143.25 a	1.0265a
Media	84.69	4.01	1.95	9.17	226.04	0.9255
DSH 0.05	4.83			3.70	41.80	0.1065

G50= Tiempo para alcanzar 50% de germinación. Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales (Tukey, 0.05).

tomate, cebolla y lechuga; sin embargo, en especies de semilla grande como soya y maíz no ha sido significativo. También señala que existe evidencia suficiente para afirmar que el osmoacondicionamiento facilita la reparación de daños asociados a perturbaciones en las membranas, oxidación, disfunción mitocondrial, e inactivación enzimática; lo cual ocurrió en esta investigación ya que se observó un menor número de plántulas anormales con el

osmoacondicionamiento que en el testigo. Por su parte, Khan *et al.*, (1978) refieren que en semillas osmoacondicionadas se reduce el tiempo de imbibición requerido para iniciar la diferenciación celular y crecimiento, lo que favorece la velocidad de germinación. En esta investigación al osmoacondicionar con KCl se obtuvo mayor uniformidad y rapidez en la germinación (G50), en comparación con el testigo.

Cuadro 7. Efecto promedio de la interacción A x B x C x D, sobre las variables evaluadas en la prueba de germinación en tomate de cáscara cv. Rendidora.

A	B	C	D	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas latentes (%)	Semillas muertas (%)	G50	Peso seco de plántula (mg)
KNO ₃	-20	72	90	97.00 a	0.00a	0.00a	3.00a	213.00 a	0.7247b
PEG	-5	72	90	88.00 a	3.00a	1.00a	8.00a	288.00 b	1.5653 a
KCl	-15	48	90	98.00 a	0.00a	0.00a	2.00a	144.00 a	1.1842b
KNO ₃	-20	72	180	97.00 a	0.00a	0.00a	3.00a	141.00 a	1.1330b
KCl	-15	48	180	97.00 a	0.00a	0.00a	3.00a	129.00 a	0.9260b
KCl	-20	48	180	82.00 a	8.00a	0.00a	10.00a	129.00 a	1.0663b
Testigo	0	0	0	66.00 b	10.00b	16.00b	8.00a	261.00 b	0.8447b
Media				84.69	4.01	1.95	9.17	226.04	0.9255
DSH 0.05								37.62	0.0503

A= Agente osmótico; B= Potencial osmótico; C= Período de acondicionamiento; D= Período de almacenamiento; G50= Tiempo en alcanzar el 50% de germinación. Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

El efecto del acondicionamiento osmótico sobre las variables de germinación estudiadas varió en función del agente osmótico, potencial osmótico y duración del tratamiento.

La semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora no germinó durante los períodos de acondicionamiento con los agentes osmóticos y potenciales utilizados.

El almacenamiento de la semilla de 90 a 180 días después del acondicionamiento osmótico favoreció el porcentaje de germinación y redujo el porcentaje de semillas latentes de tomate de cáscara cv. Rendidora.

El acondicionamiento osmótico con KCl a -15 atm durante 48 h o con KNO₃ a -20 atm durante 48 h mejoró la calidad fisiológica de la semilla de tomate de cáscara cv. Rendidora, efecto que persistió hasta por 180 días.

LITERATURA CITADA

- Akers S., W. and Kevin H., E. 1986. SPS: A system for priming seed using aerated polyethylen glycol or salt solutions. *Hort Sci.* 21:529-531.
- Atherton J., G. and Faroque M., A. 1983. High temperature and termination in spinach. Effects of osmotic priming. *Scientia Hort.* 19:221-228.
- Boubriak L.; Vaunemko L. L. and Osborne D. J. 2000. Loss of viability in rye embryos at different levels

of hydration: senescence with apoptotic nucleosome cleavage or death with random DNA fragmentation, pp. 205-214. *In:* M. Black, K.J. Bradford, and J. Vázquez-Ramos (eds.) *Seed biology: Advances and applications.* CABI Int., Wallingford, U.K.

- Bradford K., J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hort Sci.* 21(5):1105-1110.
- Bradford K., J. Steiner J., J. and Trawatha E., S. 1990. Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots. *Crop Sci.* 30:718-721.
- Bruggink G. T.; Ooms J. J. and Van der Toorn. 1999. Induction of longevity in primed seeds. *Seed Sci. Res.* 9:49-53.
- Cantliffe D. J. 1981. Seed priming of lettuce for early and uniform emergence under conditions of environmental stress. *Acta Hort.* 122:29-38.
- Chiatante D. and Onelli E. 1993. Nuclear proteins and the onset of cell proliferation in root meristems of *Pisum sativum*: QP47 a novel acidic protein. *Seed Sci. Res.* 3:35-42.
- Gurusinghe S. H. and Bradford K. J. 2001. Galactosylsucrose oligosaccharides and potential longevity of primed seeds. *Seed Sci. Res.* 11:121-133.
- Haigh M., A. and Barlow R., E. W. 1986. Field emergence of tomato, carrot and onion seeds primed in an aerated salt solution. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:660-665.
- Hernández L., A.; Estrada G.; Juárez C. y Ayala G. 1999. Influencia de la fertilización y del ambiente de almacenamiento en la calidad de semilla de cebolla. *Rev. Fitot. Méx.* 22:87-97.

- International Seed Testing Association (ISTA). 2004. International rules for seed testing. Bassersdorf, CH-Switzerland. 700 p.
- Khan A., A.; Tao, K.; Knypl, S. and Borkowska, B. 1978. Osmotic conditioning of seeds: Physiological and biochemical changes. *Acta Hort.* 83:267-278.
- McDonald M., B. 2000. Seed priming. *In: Seed technology and its biological basis.* M. Black and Bewley (eds). Sheffield Academic Press Ltd. England. pp. 287-325.
- Michel B., E. 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiol.* 72:66-70.
- Möller, M. and Smith L., M. 1998. The applicability of seaweed suspensions as priming treatments of lettuce (*Lactuca sativa* L.) seeds. *Seed Sci. and Technol.* 26:425-438.
- Orduña M., O. 1989. Germinación en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, Estado de México, México. p.1-24.
- Parera A., C. and Cantliffe D., J. 1994. Presowing priming. *Horticultural Reviews* 16:109-141.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 1999. The SAS system for windows version eight. Cary, NC, USA.
- Szafirowska, A.; Khan A., A. and Peck H., N. 1981. Osmoconditioning of carrot seed to improve seedling establishment and yield in cold soil. *Agron. J.* 73:845-848.
- Tetepa A., C. 1997. Acondicionamiento osmótico de semilla de tres especies hortícolas solanáceas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 76 p.
- Welbaum G., E.; Shen, Z.; Oluoch O., M. and Jett W., L. 1998. The evolution and effects of priming vegetable seeds. *Seed and Technol.* 20(2):209-235.
- Wiggans S., C. and Gardner P., F. 1959. Effectiveness of various solutions for simulating drought conditions as measured by germination and seedling growth. *Agron. J.* 51:315-318.
- Wolkers W., F.; Tetteroo, F. A.; Alberda, M. and Hoekstra, F. A. 1999. Changed properties of cytoplasmic matrix associated with desiccation tolerance of dried carrot somatic embryos. An *in situ* Fourier transforms infrared spectroscopic study. *Plant Physiol.* 120:153-163.