

ACONDICIONAMIENTO OSMÓTICO DE SEMILLAS DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.)^{*}

OSMOTIC CONDITIONING OF ONION SEEDS (*Allium cepa* L.)

José Marín Sánchez^{1§}, José Apolinar Mejía Contreras¹, Adrián Hernández Livera¹, Aquiles Carballo Carballo¹ y Aureliano Peña Lomeli²

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

RESUMEN

El acondicionamiento osmótico de semillas, también conocido como osmoacondicionamiento, es considerada una técnica promisorio para mejorar la germinación porque promueve un rápido y sincronizado establecimiento de plántulas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del acondicionamiento osmótico sobre la calidad fisiológica de semilla de cebolla después de cuatro periodos de almacenamiento. Se utilizaron semillas de cebolla cv. Early Supreme y se osmoacondicionaron con KNO_3 , KCl y polietilén glicol (PEG-8000) con cuatro potenciales osmóticos (-5, -10, -15 y -20 atm) durante 48, 72 y 96 h; las semillas fueron almacenadas a 10 °C durante 0, 7, 90 y 180 días posteriores al acondicionamiento osmótico. Posteriormente se realizó la prueba de germinación estándar, evaluándose para cada periodo: el porcentaje de germinación, peso seco de plántula, plántulas anormales, semillas muertas y tiempo para alcanzar el 50% de germinación. Los resultados mostraron mayor vigor en las plántulas del testigo no tratado. De los agentes de osmoacondicionamiento utilizados, el PEG-8000 a -5 atm durante 48 y 72 h mostró mayor calidad fisiológica de la semilla que la sometida a los demás tratamientos, la cual se conservó durante los periodos de almacenamiento.

Palabras clave: Germinación, osmoacondicionamiento, vigorización.

ABSTRACT

The osmotic conditioning of seeds, also known as osmopriming or priming is considered a promising technique to improve seed germination, resulting in a rapid and synchronous seedling emergence (invigoration). The objective of the present work was to evaluate the effect of osmopriming on the physiological quality of onion seeds after four storage periods. Seeds of onion cv. "Early Supreme" were osmoprimed with KNO_3 , KCl and polyethylene glycol (PEG-8000) at -5, -10, -15 and -20 atm for 48, 72 and 96 h. Primed seeds were stored at 10 °C during 0, 7, 90 and 180 days. After each storage period a standard germination test was performed. The parameters evaluated were: percentage of germination, abnormal seedlings, dead seeds, 50% germination and seedling dry weight. Results showed higher invigoration in plantlets from untreated control treatment. In comparison with other tested treatments priming with PEG-8000 at -5 atm for 48 and 72 h improved seed physiological quality, quality that persisted all storage periods.

Key words: Germination, invigoration, priming.

* Recibido: Noviembre de 2005
Aceptado: Enero de 2007

INTRODUCCIÓN

La cebolla es una hortaliza que se cultiva ampliamente en México, siendo los estados con mayor producción: Chihuahua, Guanajuato, Tamaulipas, Michoacán, Morelos y Zacatecas. Durante la última década se reportó una superficie nacional cultivada de 49 733 ha por año en promedio (SAGARPA, 1980-2005). Brewster (2001) menciona que uno de los principales problemas de la semilla de cebolla es su corta viabilidad. El acondicionamiento osmótico, u osmoacondicionamiento, es un tratamiento efectivo para retardar el deterioro fisiológico de las semillas, propiciado por la producción de radicales libres (Black y Bewley, 2000). McDonald (1999) refiere a que el deterioro de las semillas está asociado con la pérdida de la integridad de las membranas celulares, cambios en las actividades enzimáticas, disminución en proteínas, síntesis de ácidos nucleicos y lesiones en ADN. Pill (1995) señala que con este tratamiento se logra un buen control sobre la hidratación de la semilla en la segunda fase de la imbibición, en la que varios procesos metabólicos son activados pero sin llegar a la emergencia de la radícula. Con esta técnica se logra, entre otras cosas, rapidez, sincronización e incremento en la tasa de germinación.

Haigh y Barlow (1987) observaron la germinación en semillas de tomate, zanahoria, sorgo y cebolla tratadas con una gama de osmoacondicionadores; utilizaron soluciones salinas y polietilen glicol (PEG); y concluyeron que las especies difieren en su respuesta y que responden a favor de alguno de los tipos de soluciones, algunas de éstas son letales en cierta forma para las semillas. Caseiro *et al.* (2004) compararon tres formas de preacondicionamiento en semillas de cebolla, y se emplearon las siguientes técnicas: 1) con una solución aireada de PEG-8000 a - 0.5 y - 1.0 MPa de concentración durante periodos de 24 y 48 h; 2) comprendió el hidroacondicionamiento, es decir con agua durante 48 y 96 h, 3) consistió en sumergir la semilla en cuatro ocasiones en agua a intervalos de 60 min; encontró que el más alto porcentaje y velocidad de germinación se logró con el hidroacondicionamiento (inmersión de las semillas en agua durante 96 h), mientras que con el polietilen glicol (PEG-8000) se redujo el porcentaje de germinación.

Como complemento de los resultados reportados es conveniente determinar si los beneficios del acondicionamiento osmótico permanecen después de almacenar la semilla de cebolla a mediano plazo, para que al momento de sembrarla muestre una alta tasa de

germinación y vigor. En este contexto, el presente estudio estableció los siguientes objetivos: determinar el efecto del acondicionamiento osmótico con tres productos químicos a diferentes concentraciones sobre la calidad fisiológica de la semilla de cebolla, así como su vigor después de cuatro periodos de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico. Consistió en semillas de cebolla (cv. Early Supreme) almacenadas durante un año a 10 °C con 85% de germinación. Estas semillas se utilizaron en todos los tratamientos y fueron proporcionadas por un productor de plántulas del estado de Puebla quién las adquirió en la central de abastos de la Ciudad de México en 2003.

Material de laboratorio. Frascos de cristal para el osmoacondicionamiento, dos pequeñas bombas de aire, termómetro, papel denominado “sanitas”, cajas petri, cámara de germinación, refrigerador, estufa y báscula digital.

Reactivos. Nitrato de potasio (KNO_3), cloruro de potasio (KCl) y polietilen glicol (PEG-8000) para la preparación de las soluciones utilizadas en los tratamientos. Para las pruebas de germinación se usó agua destilada y el fungicida “Captan 500” (i.a. captan).

El experimento se realizó en dos etapas:

Primera etapa. Se establecieron cuatro factores de estudio con cuatro repeticiones que fueron: tres reactivos de osmoacondicionamiento (KNO_3 , PEG 8000 y KCl), cuatro potenciales osmóticos (-5, -10, -15 y -20 atm), tres periodos de osmoacondicionamiento (48, 72 y 96 h) y cuatro periodos de almacenamiento (0, 7, 90 y 180 días). El total de unidades experimentales conformadas fueron 576, además del testigo absoluto que consistió en 100 semillas no tratadas para cada periodo de almacenamiento. Después de acondicionar osmóticamente las semillas se lavaron para eliminar residuos de las sustancias utilizadas; se les asperjó el fungicida “captan” con un atomizador a razón de 5 gL⁻¹ de agua como preventivo de enfermedades. Una vez secas las semillas se almacenaron en un refrigerador a 10 °C por los cuatro periodos señalados (0, 7, 90 y 180 días). El experimento se realizó empleándose un arreglo factorial en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones (Martínez, 1994).

Cálculo de potenciales osmóticos y preparación de las soluciones. Los potenciales osmóticos para el polietilén glicol 8000 se calcularon utilizando 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.

Para el nitrato de potasio y cloruro de potasio, los potenciales osmóticos fueron calculados utilizando la ecuación propuesta por Wiggans y Gardner (1959):

$$G = (P V m) / (RT)$$

donde:

G= Gramos de soluto a utilizar

P= Presión osmótica deseada

V= Volumen en litros

m= Peso molecular del químico usado

R= 0.0825 atm

T= °K

Las soluciones para el acondicionamiento osmótico (-5, -10, -15 y -20 atm) se prepararon con agua destilada; la temperatura se tomó al momento de preparar las soluciones para obtener los potenciales osmóticos requeridos. Una vez preparadas las soluciones, se vaciaron en frascos de vidrio donde fueron sumergidas las semillas durante los períodos de tratamiento respectivos. Para oxigenar las semillas se utilizó un sistema de aireación con dos bombas tipo “pecera”, manguera de 8 mm de diámetro y microtubos conectados uno a cada frasco (Welbaum *et al.*, 1998). En esta primera etapa se evaluó el porcentaje de semillas germinadas durante el osmoacondicionamiento mediante el conteo de las que mostraban la aparición de la radícula.

Segunda etapa. Las pruebas de germinación estándar para cada período de almacenamiento (ISTA, 2004), se efectuaron en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados. Para cada prueba se tomaron 100 semillas por tratamiento, se dividieron en cuatro submuestras de 25 semillas, mismas que se colocaron sobre el papel sanitas dentro de cajas petri. La temperatura ambiente fue de 22 ± 1 °C. Durante estas pruebas se realizaron dos conteos, los días 6 y 12, con la finalidad de evaluar la calidad fisiológica (ISTA, 2004). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación (plántulas normales), porcentaje de semillas muertas, peso seco de plántulas, porcentaje de plántulas anormales y tiempo para alcanzar el 50% de germinación (G50). Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza general, contrastes ortogonales entre los tratamientos más representativos y el testigo y se realizó la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) con el uso del paquete estadístico SAS (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agentes de osmoacondicionamiento

En todas las variables evaluadas hubo diferencias significativas entre los agentes de osmoacondicionamiento utilizados (Cuadro 1). El mayor porcentaje de germinación y peso seco se obtuvieron con polietilén glicol (PEG-8000), superando al nitrato y cloruro de potasio (Cuadro 2). Sin embargo, estadísticamente el testigo (sin tratar) fue superior a todos los agentes químicos utilizados en esta prueba. El menor porcentaje de plántulas anormales se obtuvo al acondicionar osmóticamente la semilla con polietilén glicol, cloruro de potasio y el testigo. En cuanto al tiempo para alcanzar el 50% de germinación, el polietilén glicol fue el mejor, ya que lo ideal es que ésta se logre en el menor tiempo posible, indicador de uniformidad y sincronización.

La variable semillas germinadas dentro de la solución osmótica durante el tratamiento no generó información, ya que ninguna germinó mientras se llevó a cabo dicha práctica, esto debido a que el rango de presión osmótica a que se sometieron, así como la duración de los tratamientos, no permitieron que se emitiera la radícula, evitándose con esto daños en el embrión y la posible muerte de las semillas. De acuerdo con Akers y Kevin (1986) esto se debe a que los potenciales hídricos de la semilla y de la solución se equilibran; por lo que, al dejar de penetrar el agua en el interior de la semilla, se detienen los procesos metabólicos que completan la germinación, y ésta no ocurre.

Cuadro 1. Cuadrados medios de las variables de germinación en cuatro factores de estudio (agentes de osmoacondicionamiento, potenciales osmóticos, períodos de osmoacondicionamiento y períodos de almacenamiento) y sus interacciones en semilla de cebolla cv. Early Supreme.

Fuente de variación	G.L.	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas muertas (%)	G50 (horas)	Peso seco (mg)
Testigo	4	160.30	27.61	61.59	604.25	0.0017
A	2	2909.69**	1921.17**	2616.92**	59638.89**	0.0130**
B	3	1240.33**	632.50**	100.85**	9707.68**	0.0080**
C	2	3862.69**	2501.86**	187.38**	28024.69**	0.1038**
D	3	178.40**	112.35**	464.08**	2129.10**	0.0010**
A x B x C x D	36	3.26	11.40*	16.14*	73.70	0.0002**
A x B	6	1566.02**	512.25**	506.38**	17373.59**	0.0245**
A x D	6	7.10	17.77*	17.49	132.85	0.0002**
A x C	4	1384.19**	737.96**	155.40**	6544.96**	0.0317**
B x D	9	1.34	8.53	8.99	71.00	0.0001
B x C	6	574.58**	159.58**	174.45**	4610.18**	0.0249**
D x C	6	0.43	1.76	1.34	44.34	0.0005**
A x B x D	18	1.85	6.87	4.31	144.90	0.0001*
A x B x C	12	486.36**	233.71**	121.33**	2813.23**	0.0469**
A x C x D	12	3.04	24.23**	23.78*	72.51	0.0003**
B x C x D	18	2.89	2.57	7.77	50.25	0.0001*
Error	444	5.91	6.94	10.61	101.76	0.00007
Total	591					
C.V		3.17	19.21	33.21	6.01	2.97
R ²		0.94	0.87	0.76	0.90	0.97

*Significativo al 0.05%; **Altamente significativo al 0.01%; A= Agente de osmoacondicionamiento; B= Potencial osmótico; C= Período de osmoacondicionamiento; D= Período de almacenamiento de la semilla después del tratamiento; G.L.= Grados de libertad.

Cuadro 2. Efecto de tres agentes de osmoacondicionamiento en las variables evaluadas en la prueba de germinación en cebolla cv. Early Supreme.

Agente de acondicionamiento	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas muertas (%)	G50 (horas)	Peso seco (mg)
KNO ₃	73.66 c	17.38 b	8.98 b	172.68 b	0.2820 c
PEG	80.81 b	12.46 a	6.77 a	147.77 a	0.2972 b
KCl	74.56 c	11.47 a	13.97 c	181.83 c	0.2840 c
Testigo	82.75 a	11.25 a	6.00 a	179.25 c	0.3066 a
Media	76.52	13.70	9.80	167.75	0.2883
DSH 0.05	1.24	1.34	1.66	5.14	0.0044

Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

Si bien el testigo superó a los agentes de osmoacondicionamiento en la mayoría de las variables evaluadas, el PEG-8000 mostró una germinación más rápida y uniforme (tiempo para alcanzar el 50% de germinación), que beneficia a los productores de plántulas en costos de producción, mayor desarrollo y uniformidad en campo.

Potenciales osmóticos

Al analizar de manera general los potenciales osmóticos utilizados se encontraron diferencias significativas para todas las variables evaluadas (Cuadro 1). Para porcentaje de germinación y peso seco por plántula, el testigo absoluto obtuvo los mejores resultados al superar a los potenciales osmóticos utilizados de acuerdo a la prueba de Tukey (Cuadro 3). Conforme se hizo más negativo el potencial osmótico de la solución, como resultado de agregar mayor cantidad de agente osmoacondicionante (mayor concentración), el vigor disminuyó debido a que posiblemente las sustancias utilizadas penetraron en el embrión, que resultó dañado y su vigor afectado. De ahí que el testigo haya presentado mayor vigor, aunque en la variable G50 (tiempo en alcanzar el 50% de germinación) fue superado cuando se realizó el osmoacondicionamiento a -5 atmósferas.

Tiempo de osmoacondicionamiento

Con relación a los períodos de acondicionamiento osmótico utilizados, existieron diferencias significativas para todas las variables evaluadas (Cuadro 1). El testigo fue superior a todos los períodos del osmoacondicionamiento (Cuadro 4).

Al considerar únicamente los períodos del proceso, resultó mejor tratar la semilla por 48 h, lo que coincide con Haigh y Barlow (1986), quienes mencionan que al aumentar el período de tratamiento en semillas de cebolla se redujo el porcentaje de emergencia. En cuanto al tiempo para alcanzar el 50% de germinación, también resultó mejor acondicionar la semilla durante 48 h. Por el contrario, cuando la semilla estuvo 96 h en tratamiento, así como el testigo, el tiempo de germinación fue mayor. Esto se debe a que cuando la semilla permanece durante más tiempo en contacto con los agentes de osmoacondicionamiento estos pueden penetrar el embrión, dañarlo y causar letargo temporal, y en consecuencia incrementar el tiempo de germinación.

Períodos de almacenamiento

Se observaron diferencias significativas para todas las variables evaluadas para este factor (Cuadro 1). El acondicionamiento osmótico presentó efectos favorables cuando las semillas se sembraron inmediatamente después del tratamiento, los períodos de almacenamiento de 7, 90 y 180 días disminuyen los parámetros de calidad, porcentaje de germinación, peso seco de plántula y se incrementó el porcentaje de semillas muertas. Además, el tiempo para alcanzar el 50% de germinación también aumentó conforme se incrementó el período de almacenamiento, lo cual es indeseable ya que indica una pérdida de vigor o mayor velocidad de deterioro no obstante que las semillas se almacenaron a 10 °C (Cuadro 5).

Cuadro 3. Efecto de cuatro potenciales osmóticos en las variables evaluadas en la prueba de germinación en cebolla cv. Early Supreme.

Potencial osmótico atm	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas muertas (%)	G50 (horas)	Peso seco (mg)
-5	79.91 b	11.23 a	8.91 b	155.63 a	0.2829 c
-10	77.58 c	12.88 b	9.52 b c	169.49 b	0.2987 b
-15	74.05 d	15.34 c	10.65 c	174.70 b c	0.2829 c
-20	73.83 d	15.63 c	10.55 b c	169.89 b	0.2865 c
Testigo	82.75 a	11.25 a	6.00 a	179.25 c	0.3066 a
Media	76.52	13.70	9.80	167.75	0.2883
DSH 0.05	1.26	1.37	1.69	5.25	0.0045

Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

Cuadro 4. Efecto de tres períodos de osmoacondicionamiento en las variables evaluadas en la prueba de germinación en cebolla cv. Early Supreme.

Acondicionamiento osmótico horas	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas muertas (%)	G50 (horas)	Peso seco (mg)
48	80.31 b	10.85 a	8.84 b	155.42 a	0.3071 a
72	77.25 c	12.66 b	10.10 b c	167.29 b	0.2942 b
96	71.47 d	17.81 c	10.79 c	179.58 c	0.2619 c
Testigo	82.75 a	11.25 a	6.00 a	179.25 c	0.3066 a
Media	76.52	13.70	9.80	167.75	0.2883
DSH 0.05	1.24	1.34	1.66	5.14	0.0044

Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

Cuadro 5. Efecto de tres períodos de almacenamiento en las variables evaluadas en la prueba de germinación en cebolla cv. Early Supreme.

Almacenamiento días	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas muertas (%)	G50 (horas)	Peso seco (mg)
0	77.64 a	14.25 bc	8.18 a	165.24 a	0.2894 ab
7	77.13 a	14.51 c	8.40 a	163.67 a	0.2908 a
90	76.02 b	12.56 a	11.40 b	170.77 b	0.2875 bc
180	75.27 c	13.50 b	11.22 b	171.31 b	0.2853 c
Media	76.52	13.70	9.80	167.75	0.2883
DSH 0.05	0.72	0.78	0.97	3.02	0.0026

Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

Interacciones

En este apartado se consideran las interacciones más sobresalientes de acuerdo con el análisis de varianza y la comparación de medias realizada.

Agente de osmoacondicionamiento x potencial osmótico.

Existió significancia en todas las variables evaluadas para esta interacción (Cuadro 1) el mayor porcentaje de germinación se obtuvo con polietilén glicol a -5 atm. Lo anterior coincide con un reducido porcentaje de plántulas anormales y semillas muertas, así como la mejor sincronización y uniformidad en la germinación, puesto que se requirió el menor tiempo para alcanzar el 50% de germinación (Cuadro 6). Esto sugiere que el nivel de imbibición alcanzado podría haber tenido un efecto inocuo o haber contribuido en reparar las membranas celulares de las semillas, siendo este uno de los efectos benéficos del tratamiento.

Las mejores combinaciones para la variable peso seco por plántula resultaron ser el polietilén glicol (PEG-8000) con todos los potenciales osmóticos utilizados (-5, -10, -15 y -20 atm), aunque también se obtuvieron resultados satisfactorios con el cloruro de potasio (-5, -10, -20 atm) y con el nitrato de potasio a -10 y -15 atm (datos no presentados).

Agente de osmoacondicionamiento x período de almacenamiento.

Sólo se observó significancia para las variables plántulas anormales y peso seco (Cuadro 1). Sin embargo, los resultados sugieren que utilizar polietilén glicol en el tratamiento de las semillas es benéfico para mantener las ventajas de éste durante el almacenamiento en las siguientes variables: porcentaje de germinación, peso seco por plántula, semillas muertas y G50% (Cuadro 6), beneficiando a los productores de plántulas, ya que generalmente no utilizan toda la semilla que adquieren, por lo cual la almacenan para

Cuadro 6. Efecto de las interacciones: agente de osmoacondicionamiento x potencial osmótico; agente de osmoacondicionamiento x período de almacenamiento y agente de osmoacondicionamiento x duración del osmoacondicionamiento, sobre las variables evaluadas en la prueba de germinación en cebolla cv. Early Supreme.

Interacción	G (%)	PA (%)	SM (%)	G50 (horas)	PS (mg)
Agente de osmoacondicionamiento x potencial osmótico					
1. PEG-8000 (-5 atm)	85.33 a	8.45 a	6.25 a	124.66 a	0.3110 a
2. KCl (-5 atm)	80.16 b	8.58 a	11.25 a	165.66 a	0.2900 a
Media	76.34	13.77	9.91	167.43	0.2877
DSH 0.05	4.54	3.58	2.93	12.62	0.0297
Agente de osmoacondicionamiento x período de almacenamiento					
1. PEG-8000 (0 días)	82.16 a	12.87 a	5.00 a	146.00 a	0.2975 a
2. PEG-8000 (7 días)	81.50 a	13.16 a	5.50 a	143.66 a	0.2994 a
3. PEG-8000 (90 días)	80.33 a	11.75 a	7.91 a	150.54 a	0.2952 a
4. PEG-8000 (180 días)	82.16 a	12.87 a	5.00 a	146.00 a	0.2975 a
Media					
DSH 0.05					
Agente de osmoacondicionamiento x período de osmoacondicionamiento					
1. PEG-8000 (48 h)	88.00 a	7.46 a	4.56 a	135.37 a	0.3387 a
2. KCl (72 h)	72.75 b	12.18 a	15.12 b	189.06 b	0.2816 b
Media	76.34	13.77	9.91	167.43	0.2877
DSH 0.05	3.71	2.65	2.64	11.58	0.0225

Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05). G= Germinación; PA= Plantas anormales; SM= Semillas muertas; G50= Tiempo al 50% germinación; PS= Peso seco.

las siguientes plantaciones, de ahí la ventaja de conservar el vigor.

Agente de osmoacondicionamiento x período de osmoacondicionamiento. Se detectó significancia en todas las variables evaluadas de esta interacción (Cuadro 1). La combinación entre agente utilizado, polietilen glicol, y duración del acondicionamiento osmótico, 48 h, generó los mejores resultados en las variables porcentaje de germinación y peso seco; menos plántulas anormales y semillas muertas, además de mayor sincronización y uniformidad en la germinación (G 50%) (Cuadro 6).

Potencial osmótico x período de osmoacondicionamiento. Hubo interacción significativa en todas las variables evaluadas (Cuadro 1). Se observó que sumergir la semilla en una concentración de -5 atm durante 48 h mejora

notablemente la calidad fisiológica en lo que respecta a porcentaje de germinación, uniformidad y sincronización en la germinación (G 50%), acumulación de materia seca, así como el menor porcentaje de plántulas anormales, además de tener uno de los promedios más bajos de semillas muertas. Esta última variable se incrementó cuando se osmoacondicionó a -15 atm durante 96 h; con el más alto porcentaje de semillas muertas, plántulas anormales, uno de los menores pesos secos y el mayor tiempo en lograr el 50% de germinación (datos no presentados).

Agente de osmoacondicionamiento x potencial osmótico x duración de osmoacondicionamiento x período de almacenamiento. Esta interacción presenta todas las combinaciones posibles de agentes químicos, potenciales osmóticos, períodos de acondicionamiento y almacenamiento. Se encontró significancia sólo en

Cuadro 7. Efecto de la interacción: Agente de osmoacondicionamiento x potencial osmótico x duración del osmoacondicionamiento x período de almacenamiento, sobre las variables evaluadas en la prueba de germinación en cebolla cv. Early Supreme.

Agente de osmoacondicionamiento	Potencial osmótico (atm)	Duración del osmoacondicionamiento (horas)	Período de almacenamiento (días)	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas muertas (%)	G50 (horas)	Peso seco (mg)
PEG	-5	48	0	94.00 a	3.50 a	3.00 a	114.00 a	0.3637 a
PEG	-5	48	180	91.00 a	5.00 a	4.00 a	117.00 a	0.3592 a
PEG	-5	72	0	85.00 a	8.00 a	7.00 a	123.00 a	0.3437 b
PEG	-5	72	180	81.00 a	9.00 a	10.00 a	126.00 a	0.3500 a
Testigo	0	0	0	82.00 a	12.00 b	6.00 a	177.00 a	0.2952 c
Media				76.34	13.77	9.91	167.00 a	0.2877
DSH 0.05					8.45	10.40		0.3627

Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

las variables: plántulas anormales, semillas muertas y peso seco por plántula (Cuadro 1). El hecho de no encontrar significancia en la variable porcentaje de germinación es indicativo de que se mantienen las ventajas adquiridas inmediatamente después del tratamiento, lo que coincide en cierta forma con Dearman *et al.* (1986) quienes mencionan que el porcentaje de germinación de cebolla no fue modificado después de 18 meses de almacenamiento.

Los tratamientos que mantuvieron alto porcentaje de germinación y menor tiempo en alcanzar la variable G50 después del almacenamiento y con peso seco superior al testigo fueron: PEG (-5 atm), con 48 h de acondicionamiento a 0, 7, 90 y 180 días de almacenamiento, y el PEG (-5 atm) con 72 h de acondicionamiento a 0, 7, 90, 180 y días de almacenamiento (Cuadro 7), resultados que coinciden con los de Parera y Cantliffe (1994), ya que con polietilen glicol como agente osmoacondicionador en semilla de cebolla, reportaron un alto porcentaje de germinación. Esto beneficia a los productores de cebolla y de plántulas bajo invernadero, puesto que pueden evitar colocar dos o más semillas por cavidad en las charolas de germinación como regularmente lo realizan para asegurar un buen nivel de germinación.

CONCLUSIONES

Cada factor estudiado resuelto de manera independiente con un efecto negativo en comparación con el testigo.

Los resultados muestran que el grado de vigor de las semillas de cebolla varía en función del agente de osmoacondicionamiento, potencial osmótico y período de tratamiento.

Polietilen glicol 8000 a -5 atm como agente osmoacondicionador durante 48 y 72 h mantiene las ventajas adquiridas de calidad fisiológica durante el almacenamiento por un período de seis meses con valores superiores al testigo en cuanto al vigor de las plántulas.

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.
- Black M. and Bewley J., D. 2000. Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press. England. 419 p.
- Brewster J., L. 2001. Las cebollas y otros alliums. Acribia, S. A. Zaragoza, España. 253 p.

- Caseiro R.; Bennet M., A. and Marcos-Filho J. 2004. Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial quality. *Seed Sci. and Tech.* 32:365-375.
- Dearman J.; Brocklehurst P., A. and Drew L., K. 1986. Effects of osmotic priming and ageing on onion seed germination. *Ann. Appl. Biol.* 108:639-648.
- Haigh M., A. and Barlow E., W R. 1986. Field emergence of tomato, carrot and onion seeds primed in an aerated salt solution. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:660-665.
- Haigh A., M. and Barlow., W.R E. 1987. Germination and priming of tomato, carrot, onion and sorghum seeds in a range of osmótica. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(2):202-208.
- International Seed Testing Asociation (ISTA). 2004. International rules for seed testing. The International Seed Testing Association. Bassersdorf, CH-Switzerland. 700 p.
- Martínez G., A. 1994. Experimentación agrícola. Métodos estadísticos. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. 357 p.
- McDonald M., B. 1999. Seed deterioration; physiology, repair and assessment. *Seed Sci. and Tech.* 27:177-237.
- 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.
- Parera A., C. and Cantliffe J., D. 1994. Presowing priming. *Horticultural Reviews* 16:109-141.
- Pill W. A. 1995. Low water potential and presowing germination treatments to improve seed quality. *In: Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications.* The Haworth Press, Binghamton, NY. p. 319-359.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 1980-2005. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. (SIACON). Centro de Estadística Agropecuaria.
- Statistical Analysis Systems Institute (SAS Institute). 1999. The SAS system for windows version eight. Cary, N.C., USA.
- Welbaum G. E.; Shen E., Z.; Oluoch M., and Jett L., W. 1998. The evolution and effects of priming vegetable seeds. *Seed and Tech.* 20(2):209-235.
- Wiggans S., C. and Gardner F., P. 1959. Effectiveness of various solutions for simulating drought conditions as measured by germination and seedling growth. *Agron. J.* 51:315-318.