

# ACONDICIONAMIENTO OSMÓTICO EN SEMILLA DE *Brassica oleracea* L.

R. Mora-Aguilar<sup>1</sup>; M. F. Ireta-Hernández;  
J. E. Rodríguez-Pérez; J. Martínez-Solís

<sup>1</sup>Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo.  
Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230, MÉXICO.  
Correo-e: mar@correo.chapingo.mx (<sup>1</sup>Autor responsable).

## RESUMEN

Las brassicáceas, como brócoli, coliflor y col, son cultivos importantes en México por su calidad nutricional, propiedades anticancerígenas y generación de divisas por la exportación de su producción. Para determinar el tratamiento óptimo de acondicionamiento osmótico y su efecto en la calidad fisiológica, se sometió semilla de brócoli, coliflor y col a soluciones de Polietilenglicol 6000 con potencial osmótico de 0, -5, -10, -15 y -20 atm durante 8, 16 y 24 h, además de un testigo absoluto (sin tratar), después de lo cual se realizó la prueba estándar de germinación. Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones; la unidad experimental fue una caja petri con cien semillas. El acondicionamiento con agua bidestilada mostró mejores resultados que con las soluciones osmóticas y el testigo absoluto, sin diferir estadísticamente de estos tratamientos: la germinación aumentó 4 % al acondicionar la semilla de brócoli durante 24 h; en los dos cultivares de col aumentó entre 15 y 30 %, mientras que en coliflor alcanzó 93 % al acondicionarla por 8 a 16 h, y las plántulas y la radícula mostraron mayor longitud.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** calidad fisiológica, viabilidad, germinación, emergencia, polietilenglicol.

## OSMOTIC CONDITIONING IN *Brassica oleracea* L. SEEDS

### SUMMARY

Brassicaceae, like broccoli, cauliflower and cabbage, are important crops in Mexico because of their nutritional quality, anticancer properties and because their production generates income from their export. Broccoli, cauliflower and cabbage seeds were treated in order to determine the optimum osmotic conditioning and its effect on physiological quality. Broccoli, cauliflower and cabbage seeds, as well as an untreated control, were placed in Polyethylene glycol 6000 solutions of an osmotic potential of 0, -5, -10, -15 and -20 was used for 8, 16 and 24 h, after which the standard germination test was made. The treatments were made under a random experimental design with four repetitions; the experimental unit was a Petri dish with one hundred seeds. The treatment with bidistilled water showed better results than with the osmotic solutions and the absolute control, without a statistical difference between these treatments: germination increased 4 % with the broccoli seeds conditioned for 24; in the two cabbage cultivars there was an increase of between 15 and 30 %, while the cabbage increased 93 % when conditioned for 8-16 h, and the plantlets and the radicles, were longer.

**ADDITIONAL KEY WORDS:** physiological quality, viability, germination, emergence, polyethylene glycol.

## INTRODUCCIÓN

El periodo que transcurre desde la siembra hasta el establecimiento del cultivo constituye una fase crítica en las especies olerícolas porque la falta de uniformidad e irregularidad de la emergencia puede afectar negativamente las fases posteriores de desarrollo del cultivo, así como la calidad y rendimiento.

La calidad fisiológica de la semilla, medida a través de la viabilidad, germinación y vigor, es un factor determinante en la producción (Thakur *et al.*, 1997). La

semilla con óptima calidad debe germinar rápida y uniformemente bajo diferentes condiciones ambientales; de no ser así, se deben utilizar técnicas que mejoren tales características, como es el acondicionamiento osmótico, que consiste en someter la semilla a un proceso de hidratación controlada en una solución osmótica para activar su metabolismo, sin que ocurra la protusión de la radícula (Parera y Cantliffe, 1994; Mora *et al.*, 2004).

El resultado del acondicionamiento osmótico es afectado por una compleja interacción de factores tales como: especie, agente osmoacondicionante, potencial

osmótico, periodo de acondicionamiento, temperatura de la solución osmótica, vigor de la semilla y condiciones de secado y almacenamiento después del tratamiento (Parera y Cantliffe, 1994), entre otros. Diversos productos químicos han sido utilizados para el acondicionamiento osmótico de semillas, como sales inorgánicas ( $K_3PO_4$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $NaCl$ ,  $KNO_3$ ,  $KCl$ ,  $Na_2SO_4$ ), componentes orgánicos de bajo peso molecular (manitol, sorbitol, glicerol, sacarosa) y polietilenglicol (Smith y Coob, 1991; Parera y Cantliffe, 1994; Mora *et al.*, 2004).

El polietilenglicol (PM 8000) es el agente osmoacondicionante más eficaz en Brassicaceas por ser inerte y no poder ser tomado por el embrión debido a su alto peso molecular (Bradford, 1986; Welbaum *et al.*, 1998). Mucho se ha utilizado este producto con resultados favorables en *Physalis ixocarpa* Brot. (Cavallero *et al.*, 1994; Özbogol, 1998), *Daucus carota* L. (Globerson y Feder, 1987; Yanmaz, 1994) y *Lactuca sativa* L. (Tarquis y Bradford, 1992), entre otros. También se han obtenido resultados negativos en *Daucus carota* L., *Apium graveolens* L., *Allium porrum* L. y *Allium cepa* L. (Brocklehurst *et al.*, 1987).

Dada la importancia que tienen las Brassicaceas en México, es necesario implementar la técnica de acondicionamiento osmótico de la semilla para generar información que permita solucionar los problemas existentes durante el establecimiento del cultivo, como es la reducción de la germinación, emergencia heterogénea de plántulas y, por tanto, desuniformidad en establecimiento del cultivo, como consecuencia del efecto de factores ambientales, biológicos y características del suelo. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar el tratamiento óptimo de acondicionamiento osmótico con Polietilenglicol 6000 y su efecto en la calidad fisiológica en semilla de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck); coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) y col (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Semillas del Departamento de Fitotecnia, con semilla comercial de brócoli cv. Waltham 29, coliflor cv. Snowball y col cvs. Copenhagen Market y Glory of Enkhuizen, en tres etapas: determinación del periodo de imbibición, acondicionamiento osmótico de la semilla y prueba estándar de germinación.

Para determinar el periodo de imbibición se utilizaron muestras de 25 semillas de cada cultivar con cuatro repeticiones, las que se colocaron sobre papel filtro en cajas petri de 10 cm de diámetro y 1 cm de altura, donde se imbibieron con agua bidestilada hasta punto de saturación, por 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 h. El porcentaje de imbibición se calculó mediante la fórmula:  $IMB = [(PH-PI/PH) 100] - [(PI-PS/PI) 100]$ , donde IMB es el porcentaje de imbibición,

PI es el peso inicial (g), PH es el peso húmedo (g) y PS es el peso seco (g) de la semilla.

El diseño de tratamientos de acondicionamiento osmótico fue un factorial completo que generó 15 tratamientos a partir de la combinación de tres niveles del periodo de osmoacondicionamiento (8, 16 y 24 h), con los cinco niveles del potencial osmótico de la solución (0, -5, -10, -15 y -20 atm); a tales tratamientos se les adicionó un testigo absoluto (sin tratar), y cada tratamiento se aplicó a los cuatro cultivares en evaluación.

Las soluciones osmóticas se prepararon con agua bidestilada (500 ml), de acuerdo con la relación p/v obtenida mediante la fórmula propuesta por Wiggans y Gardner (1959):  $g = PVm/RT$ , donde g es la cantidad de soluto (g), P es el potencial osmótico (atm), V es el volumen de la solución (Litros), m es el peso molecular del producto utilizado (6000), R es la constante de los gases (0.0825 atm·mol<sup>-1</sup>) y T es la temperatura absoluta (°K).

El acondicionamiento osmótico se realizó en 7000 semillas de cada cultivar, las cuales se colocaron en cajas petri que contenía la solución osmótica y se mantuvieron así por el periodo propuesto para cada tratamiento; después se lavaron con agua destilada para eliminar los residuos de la solución acondicionante y se pusieron a secar a temperatura ambiente (20±2 °C). Posteriormente se realizó la prueba estándar de germinación bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones de 100 semillas, en cajas petri con papel filtro húmedo hasta saturación. Esta prueba se realizó bajo condiciones controladas en una cámara germinadora a 20±2 °C y 80 % de humedad relativa durante cinco días para brócoli y coliflor, y 10 días para los dos cultivares de col; diariamente se registró el número de semillas germinadas para calcular el índice de velocidad de emergencia (IVE) propuesto por Maguire (1962).

Al finalizar la prueba estándar de germinación se determinó el número de plántulas normales (NPN), de plántulas anormales (NPA), de semillas muertas (NSM) y de semillas duras (NSD), de acuerdo con Moreno (1984), con cuyos datos se estimó el porcentaje de viabilidad ( $PV = NPN + NPA$ ) y de germinación ( $PG = NPN$ ), además se registró la longitud de plántula (LPT), de plúmula (LP) y de radícula (LR) y el peso seco de la plántula (PST).

Se realizaron análisis de varianza, pruebas de comparación de medias de Tukey y análisis de correlación para cada cultivar. Los datos obtenidos en porcentaje se transformaron mediante la fórmula  $y = \text{Arc sin } \sqrt{x}$ , donde y es la variable transformada y x es la variable respuesta; sin embargo, se optó por presentar los datos sin transformar ya que fueron prácticamente iguales a los datos transformados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En brócoli, el potencial osmótico (P) de la solución acondicionadora de la semilla no afectó la longitud de plántula o de sus estructuras (plúmula y radícula), ni la ocurrencia de semillas duras, pero su efecto fue significativo en las demás variables evaluadas (Cuadro 1).

En la semilla de coliflor hubo mayor efecto del potencial osmótico y únicamente el número de semillas duras y el peso seco total de la plántula no fueron afectados. En los dos cultivares de col, afectó significativamente el número de semillas muertas, la viabilidad y la velocidad de emergencia; en el cv. Glory, también afectó a la germinación.

El periodo de acondicionamiento osmótico de la semilla de coliflor no afectó al número de semillas duras y muertas, ni el porcentaje de viabilidad y longitud de plúmula; en brócoli sólo afectó la longitud de plántula y de radícula; por su parte, en col cv. Glory también afectó la velocidad de emergencia y en cv. Copenhagen Market no afectó a ninguna variable (Cuadro 1).

El efecto de la interacción P x T (Cuadro 1), en brócoli sólo fue significativo en el peso seco de plántula; en coliflor lo fue en el número de plántulas anormales y velocidad de emergencia, y en col cv. Glory en viabilidad y velocidad de emergencia, mientras que en col cv. Copenhagen Market afectó al porcentaje de germinación y de viabilidad, al número de semillas muertas y de plántulas anormales, así como a la velocidad de emergencia y al peso seco de plántula.

El contraste con lo anterior, entre el testigo absoluto y el factorial ( $F_{vs Te}$ ), no se detectaron diferencias en ningún carácter de los cuatro cultivares evaluados, lo cual indica que la respuesta del efecto conjunto P x T con respecto al testigo absoluto fue igual (Cuadro 1).

La prueba de comparación de medias para el efecto del potencial osmótico de la solución acondicionadora de la semilla (Cuadro 2), mostró que la solución con potencial de 0 atm (agua bidestilada) promovió mayor porcentaje de germinación en brócoli y en col cv. Glory, y mayor velocidad de emergencia en brócoli y en los dos cultivares de col; en brócoli y coliflor este tratamiento tendió a disminuir el número de plántulas anormales y de semillas muertas, y en col cv. Copenhagen Market sólo el número de semillas muertas. Resultados similares se obtuvieron en zanahoria, apio, cebolla y puerro (Brocklehurst *et al.*, 1987); sin embargo, estos son contradictorios con lo establecido por Parera y Cantliffe (1994), quienes mencionan que las semillas acondicionadas en soluciones con elevado potencial osmótico alcanzan una rápida germinación.

En brócoli al comparar el acondicionamiento en la solución de 0 atm, en el cual tuvo la mejor respuesta, con respecto al testigo absoluto, se observó superioridad del primer tratamiento en germinación (2 %); su velocidad de emergencia fue igual y la anormalidad de plántulas fue menor (2) que en el testigo. En coliflor la longitud de plántula y de radícula fue mayor con 0 atm (1.5 cm). Para col cv. Copenhagen Market, la viabilidad y velocidad de emergencia fueron superiores en 5 %, respectivamente, en el tratamiento a 0 atm, y el número de semillas muertas fue mayor (5) en el testigo absoluto; por su parte en col cv. Glory hubo mayor viabilidad (17 %) y velocidad de emergencia (27) a 0 atm con respecto al testigo absoluto, mientras que el número de semillas muertas fue mayor (18) en este último (Cuadro 2).

El acondicionamiento osmótico por periodos de 16 a 24 h incrementó la longitud de plántula y de radícula en brócoli y coliflor, mientras que en col cv. Glory tal aumento solo ocurrió con 24 h de acondicionamiento (Cuadro 3). En coliflor fue relativamente mayor la germinación y la velocidad de emergencia en el periodo de 8 h; mientras que en col Glory la velocidad de emergencia fue mayor en el periodo de 16 y 24 h. En brócoli y coliflor todas las variables evaluadas tuvieron igual comportamiento en el tratamiento de acondicionamiento y el testigo absoluto, mientras que col cv. Glory en este tratamiento tuvo igual longitud de plántula y de radícula que el acondicionamiento por 24 h, y menor velocidad de emergencia.

Al comparar el efecto conjunto P x T con el testigo absoluto (Cuadro 4) se apreció, como tendencia general, que en los cuatro cultivares, el acondicionamiento osmótico con agua bidestilada (0 atm) mejoró algunos aspectos importantes de la calidad fisiológica de la semilla: en brócoli el acondicionamiento por 24 h incrementó la germinación (4 %), mientras que en coliflor, en un periodo de acondicionamiento de 8 a 16 h, hubo un ligero incremento de longitud de plántula y de radícula.

En col cv. Copenhagen Market, al acondicionar de la semilla por 24 h, con respecto al testigo absoluto, hubo un incremento relativo de la germinación (15 %), un alto índice de velocidad de emergencia (83), así como disminución de número de semillas muertas (7) y de plántulas anormales (8). En ese mismo periodo de acondicionamiento en col cv. Glory se alcanzó 30 % de incremento en la germinación, 23 % de viabilidad y 40 en velocidad de emergencia, además disminuyó 75 % el número de semillas muertas.

La respuesta de la semilla de *Brassicaceas* al acondicionamiento osmótico mediante soluciones preparadas con PEG 6000 contrastó con lo que se obtuvo en *Physalis ixocarpa* (Cavallero *et al.*, 1987; Özbigol, 1998), *Daucus carota* (Globerson y Feder, 1987; Yanmaz, 1994) y *Lactuca sativa* (Tarquis y Bradford, 1992).

**CUADRO 1. Valor de los cuadrados medios y significancia de las variables evaluadas en el análisis de varianza para semilla comercial de brócoli, coliflor y dos cultivares de col, acondicionada osmóticamente.**

FV <sup>2</sup>	GL	NPA	NSD	NSM	PV (%)	PST (g)	IVE	PG (%)	GL	LP (cm)	LR (cm)	LPT (cm)
<b>BRÓCOLI CV. WALTHAM 29</b>												
P	4	27.1*	0.2	12.9**	11.0**	0.0005*	4.4**	63.2**	4	0.07	0.4	0.6
T	2	23.6	0.1	0.6	0.8	0.0005	0.05	6.1	2	0.03	2.0*	2.3*
P*T	8	9.9	0.1	2.5	2.7	0.0007**	1.5*	20.1	8	0.09	0.5	0.4
F <sub>vs</sub> Te	1	19.4	0.8	11.0	10.2	0.0030	2.9	41.1	1	0.9	2.1	5.5
Error	64	8.3	0.2	2.7	2.5	0.0001	0.7	11.0	32	0.8	0.5	0.7
Total	79								47			
CV (%)		60.2	229	91.2	1.6	6.3	1.6	3.5		7.1	11.5	8.3
Media		4.7	0.2	1.8	98.8	0.2	48.4	93.2		3.9	5.9	9.8
<b>COLIFLOR CV. SNOWBALL</b>												
P	4	64.7*	0.6	8.7*	11.9*	0.0001	5.6**	113.9**	4	0.09*	1.8*	2.7**
T	2	74.3*	0.05	6.6	5.9	0.0010**	3.5*	122.1*	2	0.01	4.6**	4.9**
P*T	8	54.1*	0.2	3.7	4.6	0.0001	1.5	48.8	8	0.05	0.6	0.6
F <sub>vs</sub> Te	1	36.6	1.2	8.6	4.6	0.0001	2.9	69.9	1	0.14	4.6	3.2
Error	64	21.0	0.3	3.6	3.8	0.0001	1.0	27.6	32	0.03	0.3	0.5
Total	79								47			
CV (%)		51.2	179	93.9	1.9	3.5	2.0	5.9		6.6	13.2	8.9
Media		8.9	6.3	1.9	97.8	0.3	48.4	88.8		2.7	5.4	8.2
<b>COL CV. COPENHAGEN MARKET</b>												
P	4	29.2	0.01	113.6**	115.2**	0.0010	2,223.9**	123.5	4	0.08	1.7	2.2
T	2	480.4	0.01	16.8	16.3	0.0040	21.3	339.9	2	0.03	2.3	1.7
P*T	8	468.6*	0.01	120.5**	120.5**	0.0050*	1,151.7**	522.4*	8	0.11	1.3	1.3
F <sub>vs</sub> Te	1	593.2	0.00	201.4	201.3	0.0070	113.6	674.2	1	0.31	4.3	4.7
Error	64	182.3	0.01	27.2	27.6	0.0020	12.8	203.4	33	0.08	1.2	1.3
Total	79								48			
CV (%)		35.6	849	54.9	5.8	28.3	6.7	27.1		9.8	21.3	14.1
Media		37.8	0.01	9.5	90.4	0.1	53.1	52.6		2.9	5.1	8.0
<b>COL CV. GLORY</b>												
P	4	66.5	2.1	862.2**	912.7**	0.0100	1,988.2**	891.1**	4	0.2	1.3	1.6
T	2	104.9	1.1	46.4	34.0	0.0001	130.5**	248.2	2	0.3	8.2*	11.3*
P*T	8	87.3	2.7	120.8	142.2*	0.0100	231.1**	185.3	8	0.1	0.2	0.3
F <sub>vs</sub> Te	1	178.8	6.2	148.2	136.7	0.0001	203.6	197.0	1	0.5	11.5	14.3
Error	64	119.2	1.5	60.3	60.7	0.0100	9.9	118.6	31	0.1	1.8	2.4
Total	79								46			
CV (%)		36	150	28	11	85	11	26		11	25	18
Media		10.9	0.8	27.7	71.4	0.1	28.5	41.3		3.0	5.4	8.4

<sup>2</sup>FV, Fuente de variación; GL: grados de libertad; NPA: número de plántulas anormales; NSD: número de semillas duras; NSM: número de semillas muertas; PV: porcentaje de viabilidad; PST: peso seco de plántula (g); IVE: índice de velocidad de emergencia; PG: porcentaje de germinación; LP: longitud de plúmula (cm); LR: longitud de radícula (cm); LPT: longitud de plántula (cm); P: potencial osmótico; T: tiempo de osmoacondicionamiento; CV: coeficiente de variación.

\*significativo con una  $P < 0.05$ ; \*\*significativo con una  $P < 0.01$ .

**CUADRO 2. Efecto de la presión osmótica impuesta con solución de PEG 6000 sobre la calidad fisiológica de semilla comercial de brócoli, coliflor y col.**

P (atm)	NPA <sup>1</sup>	NSD	NSM	PV (%)	LP (cm)	LR (cm)	LPT (cm)	PST (g)	IVE (%)	PG (%)
<b>BRÓCOLI CV. WALTHAM 29</b>										
0	2.4 b <sup>2</sup>	0.3 a	0.6 b	99.1 a	4.0 a	5.7 a	9.8 a	0.21 b	49.3 a	96.7 a
-5	5.3 ab	0.2 a	1.9 ab	97.9 ab	3.9 a	5.8 a	9.7 a	0.22 ab	48.2 b	92.6 b
-10	5.5 a	0.3 a	2.3 ab	97.5 ab	4.0 a	6.2 a	10.2 a	0.22 a	48.3 b	92.0 b
-15	5.3 ab	3.1 a	3.1 a	96.8 b	3.8 a	5.8 a	9.6 a	0.21 ab	47.8 b	91.5 b
-20	5.4 ab	1.6 a	1.6 ab	98.4 ab	4.0 a	6.1 a	10.0 a	0.21 ab	48.4 b	93.0 b
DMS	3.0	1.7	1.7	1.7	0.3	0.9	1.0	0.01	0.9	3.4
T. A	4.6	0.2	0.6	99.2	3.9	5.7	9.6	0.24	49.1	94.6
<b>COLIFLOR CV. SNOWBALL</b>										
0	6.1 b	0.2 a	0.9 b	98.9 a	2.9 a	6.1 a	9.0 a	0.36 a	49.2 a	92.9 a
-5	7.9 ab	0.3 a	2.1 ab	97.7 ab	2.7 b	5.4 ab	8.1 ab	0.37 a	48.3 abc	89.8 ab
-10	10.6 ab	0.0 a	1.7 ab	98.3 ab	2.7 ab	5.2 ab	7.9 b	0.37 a	48.8 ab	87.7 ab
-15	10.9 a	0.5 a	2.5 ab	96.9 ab	2.8 ab	5.7 ab	8.5 ab	0.36 a	47.7 c	86.0 b
-20	10.1 ab	0.4 a	2.8 a	96.9 b	2.7 ab	5.0 b	7.6 b	0.37 a	47.9 bc	82.8 b
DMS	4.9	0.5	1.9	2.1	0.2	0.9	1.0	0.01	1.0	5.6
T. A	6.6	0.4	1.0	98.6	2.8	4.6	7.4	0.37	49.1	92.0
<b>COL CV. COPENHAGEN MARKET</b>										
0	39.4 a	0.0 a	5.3 b	94.7 a	3.1 a	5.8 a	8.8 a	0.17 a	72.6 a	55.3 a
-5	36.1 a	0.0 a	10.7 a	89.3 b	2.9 a	5.0 a	7.8 a	0.17 a	45.7 c	53.1 a
-10	39.7 a	0.1 a	12.7 a	87.3 b	2.9 a	4.7 a	7.5 a	0.15 a	45.0 c	47.6 a
-15	38.2 a	0.0 a	10.1 ab	89.9 ab	3.0 a	5.1 a	8.1 a	0.15 a	44.9 c	51.7 a
-20	38.2 a	0.0 a	8.5 ab	91.5 ab	3.0 a	4.8 a	7.8 a	0.17 a	58.1 b	53.3 a
DMS	14.1	0.1	5.2	5.2	0.4	1.5	1.6	0.04	3.6	14.9
T. A	31.0	0.0	10.2	89.8	3.1	6.1	9.2	0.10	51.1	58.8
<b>COL CV. GLORY</b>										
0	31.1 a	0.4 a	14.0 b	85.6 a	3.0 a	5.9 a	8.9 a	0.13 a	49.5 a	54.5 a
-5	29.1 a	1.2 a	29.9 a	68.9 b	3.0 a	5.2 a	8.2 a	0.10 a	24.8 b	39.8 b
-10	33.1 a	0.6 a	32.5 a	66.9 b	3.1 a	4.9 a	8.1 a	0.09 a	23.5 b	33.8 b
-15	30.3 a	0.6 a	29.7 a	69.7 b	3.0 a	5.0 a	8.0 a	0.09 a	24.1 b	39.4 b
-20	27.5 a	1.2 a	30.9 a	67.9 b	3.3 a	5.5 a	8.9 a	0.16 a	23.0 b	40.4 b
DMS	11.4	1.3	8.2	8.2	0.5	1.8	2.0	0.10	3.3	11.5
T. A	29.6	1.0	32.2	68.8	2.9	6.5	9.4	0.10	22.5	37.2

<sup>1</sup>NPA: número de plántulas anormales; NSD: número de semillas duras; NSM: número de semillas muertas; PV: porcentaje de viabilidad; LP: longitud de plúmula (cm); LR: longitud de radícula (cm); LPT: longitud de plántula (cm); PST: peso seco de plántula (g); IVE: índice de velocidad de emergencia (adim.); PG: porcentaje de germinación; P: potencial osmótico; DMS: diferencia mínima significativa; T. A.: testigo absoluto.

<sup>2</sup>Valor con la misma letra dentro de cada columna, no son diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P < 0.05$ .

La respuesta de la semilla acondicionada con agua bidestilada (0 atm) superó a la del testigo absoluto, lo cual indica que para incrementar el porcentaje de viabilidad y de germinación, y la velocidad de emergencia, principalmente, se debe realizar la práctica de remojo de la semilla, la cual ha sido útil al ser aplicada en la mayoría de los cereales.

Aunque Bradford (1986) y Welbaum *et al.* (1994), mencionan que para *Brassicaceas* el PEG es el agente osmoacondicionador más eficaz, en este estudio se

observó una respuesta negativa a este producto por los cultivares evaluados, lo cual afectó significativamente la calidad fisiológica de la semilla debido posiblemente a que el polietilenglicol utilizado por estos autores fue de mayor peso molecular (PEG 8000) al que se utilizó en esta investigación.

Con respecto a la correlación entre las variables evaluadas (Cuadro 5 y 6), se observó que conforme aumenta la viabilidad de la semilla ocurre una disminución



**CUADRO 3. Efecto del tiempo (h) de acondicionamiento osmótico con solución de PEG 6000 sobre la calidad fisiológica de semilla comercial de brócoli, coliflor y col.**

T (h)	NPA <sup>y</sup>	NSD	NSM	PV (%)	LP (cm)	LR (cm)	LPT (cm)	PST (g)	IVE	PG (%)
<b>BRÓCOLI CV. WALTHAM 29</b>										
8	5.2 a <sup>z</sup>	0.3 a	2.0 a	97.8 a	3.9 a	5.5 b	9.5 b	0.22 a	48.4 a	92.6 a
16	4.4 a	0.2 a	2.0 a	98.0 a	4.0 a	6.2 a	10.2 a	0.21 a	48.5 a	93.6 a
24	4.8 a	0.2 a	1.7 a	98.1 a	3.9 a	6.0 ab	9.9 ab	0.22 a	48.4 a	93.3 a
DMS	2.0	0.3	1.2	1.1	0.2	0.6	0.7	0.018	0.6	2.3
T. A	4.6	0.2	0.6	99.2	3.9	5.7	9.6	0.24	49.1	94.6
<b>COLIFLOR CV. SNOWBALL</b>										
8	7.2 b	0.3 a	1.4 a	98.3 a	2.8 a	4.9 b	7.7 b	0.37 a	48.8 a	91.1 a
16	10.4 a	0.3 a	2.4 a	7.3 a	2.8 a	5.5 ab	8.3 ab	0.36 b	48.0 b	86.9 b
24	9.7 ab	0.2 a	2.2 a	97.6 a	2.8 a	6.0 a	8.8 a	0.37 a	48.3 ab	87.9 ab
DMS	3.2	0.46	1.3	1.4	0.2	0.6	0.7	0.018	0.7	3.7
T. A	6.6	0.4	1.0	98.6	2.8	4.6	7.4	0.37	49.1	92.0
<b>COL CV. COPENHAGEN MARKET</b>										
8	33.8 a	0.0 a	10.4 a	89.6 a	2.9 a	5.5 a	8.4 a	0.18 a	52.2 a	55.8 a
16	42.6 a	0.0 a	9.0 a	91.0 a	3.0 a	5.0 a	8.0 a	0.15 a	53.5 a	48.4 a
24	38.5 a	0.0 a	9.0 a	91.0 a	3.0 a	4.7 a	7.7 a	0.16 a	54.0 a	52.5 a
DMS	9.3	0.1	3.4	3.5	0.3	1.0	1.0	0.03	2.4	9.8
T. A	31.0	0.0	10.2	89.8	3.1	6.1	9.2	0.1	51.1	58.8
<b>COL CV. GLORY</b>										
8	32.12 a	0.7 a	28.2 a	71.1 a	3.0 a	4.9 b	7.9 b	0.13 a	26.5 b	39.0 a
16	30.40 a	0.6 a	28.2 a	71.1 a	3.0 a	4.9 b	8.0 b	0.10 a	29.5 a	40.7 a
24	28.0 a	1.0 a	25.8 a	73.1 a	3.3 a	6.3 a	9.5 a	0.11 a	31.0 a	45.1 a
DMS	7.6	0.8	5.4	5.5	0.3	1.2	1.3	0.07	2.2	7.59
T. A	29.6	1.0	32.2	68.8	2.9	6.5	9.4	0.1	22.5	37.2

<sup>y</sup>NPA: número de plántulas anormales; NSD: número de semillas duras; NSM: número de semillas muertas; PV: porcentaje de viabilidad; LPT: longitud de plúmula (cm); LR: longitud de radícula (cm); LPT: longitud de plántula (cm); PST: peso seco de plántula (g); IVE: índice de velocidad de emergencia; PG: porcentaje de germinación; T: tiempo de osmoacondicionamiento; DMS: diferencia mínima significativa; T. A.: testigo absoluto.

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna, no son diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P < 0.05$ .

**CUADRO 4. Efecto de tratamientos relevantes de acondicionamiento osmótico sobre la calidad fisiológica de semilla comercial de brócoli, coliflor y dos cultivares de col.**

PO <sup>y</sup> (atm)	TPO (h)	NPA	NSD	NSM	PV (%)	LP (cm)	LR (cm)	LPT (cm)	LPT (g)	IVE	PG (%)
<b>BROCOLI CV. WALTHAM 29</b>											
0	24	1.0 a <sup>z</sup>	0.2 a	0.0 b	99.8 a	4.0 a	5.6 a	9.6 a	0.21 abc	49.9 a	98.8 a
-5	16	3.4 a	0.2 a	1.6 ab	98.2 ab	3.7 a	6.2 a	9.9 a	0.22 abc	48.4 abc	94.8 abc
T. A.		4.6 a	0.2 a	0.6 b	99.2 ab	3.9 a	5.7 a	9.6 a	0.24 a	49.1 ab	94.6 abc
<b>COLIFLOR CV. SNOWBALL</b>											
0	8	5.8 ab	0.2 a	0.6 a	99.2 a	2.7 a	5.7 ab	8.4 ab	0.37 a	49.2 ab	93.4 a
0	16	5.8 ab	0.2 a	1.0 a	98.8 a	3.1 a	6.5 a	9.6 a	0.35 a	49.1 abc	93.0 a
-20	8	4.8 b	0.6 a	2.0 a	97.4 a	2.6 a	4.6 ab	7.2 b	0.37 a	48.3 abc	92.6 ab
T. A.		6.6 ab	0.4 a	1.0 a	98.6 a	2.8 a	4.6 ab	7.4 ab	0.37 a	49.1 abc	92.0 ab
<b>COL CV. COPENHAGEN MARKET</b>											
0	24	23.0 b	0.0 a	3.4 bc	96.6 ab	3.2 a	5.6 a	8.8 a	0.22 a	82.9 a	73.6 a
-20	8	36.4 ab	0.0 a	1.0 c	99.0 a	2.8 a	5.1 a	7.9 a	0.20 a	83.4 a	62.6 ab
T. A.		31.0 ab	0.0 a	10.2 abc	89.8 abc	3.1 a	6.1 a	9.2 a	0.17 a	51.1 b	58.8 ab
<b>COL CV. GLORY</b>											
0	24	24.6 a	0.2 a	8.0 d	91.8 a	3.3 a	7.1 a	10.4 a	0.17 a	62.2 a	67.2 a <sup>4</sup>
-5	24	25.6 a	1.2 a	27.4 abc	71.4 bcd	3.0 a	6.1 a	9.1 a	0.11 a	25.0 d	5.8 ab
T. A.		29.6 a	1.0 a	32.2 ab	68.8 cd	2.9 a	6.5 a	9.4 a	0.11 a	22.5 d	37.2 b

<sup>y</sup>PO: Potencial osmótico; TPO: tiempo (h); NPA: número de plántulas anormales; NSD: número de semillas duras; NSM: número de semillas muertas; PV: porcentaje de viabilidad; LP: longitud de plúmula (cm); LR: longitud de radícula (cm); LPT: longitud de plántula (cm); PST: peso seco de plántula (g); IVE: índice de velocidad de emergencia; PG: porcentaje de germinación; T. A.: testigo absoluto.

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna, no son diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P < 0.05$ .

del número de semillas muertas ( $-0.94^{**} < r < -0.99^{**}$ ) en brócoli, coliflor y col cv. Glory, pero no en col cv. Copenhagen Market; sin embargo, en los cuatro cultivares al aumentar la viabilidad, tanto la germinación ( $0.33^{**} < r < 0.79^{**}$ ) como la velocidad de emergencia ( $0.65^{**} < r < 0.94^{**}$ ) también son mayores.

La viabilidad de la semilla de los cultivares de brócoli y coliflor no correlacionó con la longitud de plántula o de las estructuras de ésta, y la correlación con la longitud de plántula y de radícula en col cv. Glory aunque significativa tendió a ser baja ( $0.33^{**} < r < 0.34^{**}$ ), igual que con el peso seco de plántula ( $0.29^{**} < r < 0.36^{**}$ ) en brócoli, coliflor y col cv. Copenhagen Market.

En la mayoría de los casos, la germinación de la semilla correlacionó significativamente ( $0.59^{**} < r < 0.69^{**}$ ) con la velocidad de emergencia, excepto en col cv. Copenhagen Market. Por su parte, el vigor de la plántula, evaluado por medio del peso seco de ésta, mostró una correlación intermedia pero altamente significativa con la longitud de plántula, de plúmula y de radícula ( $0.30^{**} < r < 0.58^{**}$ ), en col cv. Glory, pero solo con la longitud de plúmula y de radícula ( $0.40^{**} < r < 0.45^{**}$ ) en col cv. Copenhagen Market.

En general, la longitud de plántula correlacionó con la longitud de plúmula ( $0.35^{**} < r < 0.65^{**}$ ), y de radícula ( $0.94^{**} < r < 0.98^{**}$ ), excepto con longitud de plúmula en col cv. Copenhagen Market.

**CUADRO 5. Matriz de correlación entre caracteres de calidad fisiológica de semilla comercial de brócoli, arriba de la diagonal, y coliflor, abajo de la diagonal.**

VAR	NPA <sup>2</sup>	NSD	NSM	PV (%)	LP (cm)	LR (cm)	LPT (cm)	PST (g)	IVE (%)	PG
<b>BROCOLI CV. WALTHAM 29</b>										
NPA		-0.15	0.25*	-0.21	-0.06	0.32*	0.26	0.07	-0.35**	-0.89**
NSD	-0.14		-0.13	-0.13	-0.01	-0.06	-0.05	-0.03	0.13	0.06
NSM	0.26*	0.194		-0.94**	-0.24	-0.20	-0.25	-0.31**	-0.84**	-0.63**
PV	-0.20	-0.42**	-0.97**		0.26	0.20	0.26	0.29**	0.89**	0.62**
LP	-0.20	-0.03	0.02	-0.01		0.17	0.49**	0.28	0.29*	0.18
LR	0.03	-0.18	-0.05	0.11	0.15		0.94**	-0.12	0.16	-0.15
LPT	-0.01	-0.17	-0.04	0.10	0.35*	0.98**		-0.01	0.24	-0.07
PST	-0.13	-0.20	-0.47**	0.49**	-0.25	-0.16	-0.15		0.25*	0.07
IVE	-0.30**	-0.33**	-0.93**	0.94**	-0.20	0.01	0.01	0.46**		0.69**
PG	-0.94**	-0.017	-0.56**	0.52**	0.17	0.01	0.04	0.28*	0.59**	
<b>COLIFLOR CV. SNOWBALL</b>										

<sup>2</sup>VAR: variable; NPA: número de plántulas anormales; NSD: número de semillas duras; NSM: número de semillas muertas; PV: porcentaje de viabilidad; LP: longitud de plúmula (cm); LR: longitud de radícula (cm); LPT: longitud de plántula (cm); PST: peso seco de plántula (g); IVE: índice de velocidad de emergencia; PG: porcentaje de germinación.

\*, \*\*: significativo con una  $P < 0.05$  y  $P < 0.01$ , respectivamente.

**CUADRO 6. Matriz de correlación entre caracteres de calidad fisiológica de semilla comercial de col, cultivares Copenhagen, arriba de la diagonal, y Glory, abajo de la diagonal.**

VAR	NPA <sup>2</sup>	NSD	NSM	PV (%)	LP (cm)	LR (cm)	LPT (cm)	PST (g)	IVE (%)	PG (%)
<b>COL CV. COPENHAGEN MARKET</b>										
NPA		-0.09	-0.09	-0.09	-0.20	-0.53**	-0.56**	-0.80**	0.08	-0.91**
NSD	0.00		0.24*	-0.26*	0.02	-0.13	-0.12	0.02	-0.09	-0.02
NSM	-0.25*	0.12		-0.10**	0.07	-0.15	-0.13	-0.37**	-0.65**	-0.33**
PV	0.25*	-0.23*	-0.99*		-0.07	0.15	0.13	0.36**	0.65**	0.33**
LP	-0.09	0.37**	-0.18	0.13		0.03	0.27	0.26	0.01	0.17
LR	-0.34**	-0.04	-0.34*	0.34*	0.48**		0.97**	0.40**	0.05	0.58**
LPT	-0.32*	0.04	-0.33*	0.33*	0.65**	0.98**		0.45**	0.05	0.06**
PST	-0.28*	-0.07	-0.10	0.11	0.30*	0.58**	0.58**		0.18	0.91**
IVE	0.02	-0.22*	-0.78**	0.79**	0.01	0.28	0.24	0.12		0.19
PG	-0.61**	-0.19	-0.60**	0.61**	0.16	0.51**	0.48**	0.31**	0.63**	
<b>COL CV. GLORY</b>										

<sup>2</sup>VAR: variable; NPA: número de plántulas anormales; NSD: número de semillas duras; NSM: número de semillas muertas; PV: porcentaje de viabilidad; LP: longitud de plúmula (cm); LR: longitud de radícula (cm); LPT: longitud total de la plántula (cm); PST: peso seco de plántula (g); IVE: índice de velocidad de emergencia (adim.); PG: porcentaje de germinación.

\*, \*\*: significativo con una  $P < 0.05$  y  $P < 0.01$ , respectivamente.

## CONCLUSIONES

El acondicionamiento osmótico con solución de Polietilenglicol 6000 no afectó significativamente la calidad fisiológica de la semilla de *Brassica oleracea*.

De acuerdo con las tendencias observadas, el acondicionamiento con agua bidestilada fue la mejor opción para mejorar la expresión de la calidad fisiológica de la semilla en los cuatro cultivares.

El acondicionamiento con agua bidestilada (0 atm) durante 24 h incrementó relativamente el porcentaje de germinación en brócoli, y en coliflor en un periodo de 8 a 16 h.

En semilla de col, el acondicionamiento durante 24 h con agua bidestilada, aumentó la germinación y la velocidad de emergencia, y generó menor número de semillas muertas.

## LITERATURA CITADA

- BRADFORD, K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience* 21(5): 1105-1112.
- BROCKLEHURST, A. P.; DEARMAN, J.; DREW, K. L. R. 1987. Recent development in osmotic treatments of vegetables seeds. *Acta Horticulturae* 215: 193-200.
- CAVALLERO, V.; MAUROMICALE, G.; DI VINCENZO, G. 1994. Effects of seed osmoconditioning on emergence characteristics of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Horticulturae* 362: 213-219.
- GLOBERSON, D.; FEDER, Z. 1987. The effects of seed priming and fluid drilling on germination emergence and growth of vegetables at unfavorable temperatures. *Acta Horticulturae* 198: 15-21.
- MAGUIRE, J. D. 1962. Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.
- MORA A., R.; RODRÍGUEZ, J. E.; PEÑA, A.; CAMPOS, D. A. 2004. Acondicionamiento osmótico de semillas de papa (*Solanum tuberosum* L.) con soluciones salinas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(1): 15-21.
- MORENO M., E. 1984. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. UNAM. México. pp: 103-128.
- ÖZBIGOL, N.; CORBINEAU, F.; COME, D. 1998. Responses of tomato seeds to osmoconditioning as relate to temperature and oxygen. *Seed Science Research* 8: 377-384.
- PARERA, A. C.; CANTLIFFE, D. J. 1994. Presowing seed priming. *Horticultural Review* 16: 109-141.
- SMITH, P. T.; COOB, B. G. 1991. Accelerated germination of pepper seed by priming with salt solutions and water. *HortScience* 26: 417-419.
- TARQUIS, A. M.; BRADFORD, K. J. 1992. Prehydration and priming treatments that advance germination also increase the rate of deterioration of lettuce seeds. *Journal of Experimental Botany* 43(248): 307-317.
- THAKUR, A.; THAKUR, P. S.; BHARWAY, J. 1997. Influence of seed osmoconditioning on germination potential and seedling performance of bell pepper. *Seed Research* 25: 25-30.
- WELBAUM, G. E.; ZHENGXING SHEN; OLUOCH, M. O.; JETT, L. W. 1998b. The evolution and effects of priming vegetables seeds. *Seed Technology* 20(2): 209-235.
- YANMAZ, R. 1994. Effects of pre-sowing PEG (Polyethylene glycol) treatments on the germination and emergence rate and time of carrot seeds. *Acta Horticulturae* 362: 229-234.
- WIGGANS, S. C.; GARDNER, F. P. 1959. Effectiveness of various solutios for simulating drought conditions as measured by germination and seedling growth. *Agronomy Journal* 51: 315-318.