

## RESPUESTA DE 20 VARIEDADES DE CARAOTA (*Phaseolus vulgaris* L.) ANTE EL ESTRÉS POR NaCl DURANTE LA GERMINACIÓN Y EN FASE PLANTULAR

Gino Campos<sup>1</sup>, Marina García<sup>1</sup>, Delis Pérez<sup>2</sup> y Catalina Ramis<sup>3</sup>

### RESUMEN

Se probó la respuesta de veinte variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) ante el estrés por NaCl, a fin de evaluar posibles diferencias en su sensibilidad ante la salinidad durante la germinación y en fase plantular. Se condujo una prueba de germinación en cámara de crecimiento; las semillas se humedecieron con solución salina (40 mM u 80 mM de NaCl) ó con agua destilada (control) y se determinó su porcentaje final de germinación luego de siete días. Para la evaluación en fase plantular las semillas se sembraron en sustrato inerte y se regaron a diario con solución nutritiva a la que se adicionó NaCl a las concentraciones ya indicadas, dejando paralelamente un tratamiento control. A los 10 días después de la siembra (dds), se determinó el porcentaje de emergencia y a los 14 dds se midió altura, área foliar de las hojas primarias, biomasa radical y aérea, y relación biomasa de raíz/biomasa del vástago (R/V). En la fase de germinación, todos los genotipos evaluados se comportaron como tolerantes a las dos concentraciones de NaCl probadas. Por el contrario, en la fase plantular la emergencia fue totalmente inhibida a 80 mM de NaCl y a 40 mM de NaCl, se redujo significativamente el porcentaje de emergencia y todas las variables de crecimiento determinadas. Los resultados obtenidos indican una variación intraespecífica notable en el germoplasma de *P. vulgaris* evaluado y en su sensibilidad ante el estrés por NaCl. La tolerancia a esta sal disminuyó considerablemente en la fase plantular, respecto a la fase de germinación, siendo las variedades 'I-2591', 'I-2687', 'I-193' e 'I-172', las que se afectaron menos a 40 mM de NaCl, durante el estadio de establecimiento.

**Palabras clave adicionales:** Semillas, solución nutritiva, variación intraespecífica, tolerancia a la salinidad

### ABSTRACT

#### Response of 20 bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to NaCl stress during germination and seedling stage

The response to NaCl stress of twenty genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) was tested, in order to detect possible differences in their salt sensibility during germination and seedling stages. Germination test was carried out in a growth chamber; the seeds were moistened with uniform amounts of NaCl solution (40 or 80 mM NaCl) or with distilled water (control) and after seven days the final germination percentage was recorded. For the evaluation in the seedling stage, the seeds were sown in inert substrate and daily irrigated with nutritive solution with NaCl added in the concentrations indicated before; a control treatment was also included. Ten days after sowing (DAS) the emergence percentage was determined, and fourteen DAS plant height, primary leaves area, shoot and root biomass and root biomass/shoot biomass were measured. All the evaluated genotypes tolerated the two NaCl concentrations tested during germination; however, in the seedling stage, the emergence was totally inhibited at 80 mM NaCl and the emergence percentage and growth variables were significantly reduced at 40 mM NaCl. The results indicated an important genetic variation among the varieties of *P. vulgaris* and in their sensibility to NaCl stress. The tolerance was diminished considerably in seedling stage, respect to the germination phase, being 'I-2591', 'I-2687', 'I-193' e 'I-172', the less affected varieties under salinization with 40 mM NaCl during the establishment stage.

**Additional key words:** Seeds, nutritive solution, genetic variation, salinity tolerance

### INTRODUCCIÓN

El impacto negativo del estrés por salinidad sobre el desarrollo de los cultivos, ha sido

ampliamente documentado (Munns, 2002). Para contrarrestar este efecto, las plantas activan distintos mecanismos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos para adaptarse a la condición salina

Recibido: Enero 10, 2011

Aceptado: Junio 20, 2011

<sup>1</sup> Instituto de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay

<sup>2</sup> Unidad de Recursos Fitogenéticos, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA/CENIAP). Maracay

<sup>3</sup> Instituto de Genética, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay.

e-mail: garciam@agr.ucv.ve

(Hasegawa et al., 2000; García et al., 2009). No todas las especies son igualmente afectadas por la salinidad, existiendo además una variedad de factores que determinan la respuesta de los cultivos, entre los cuales puede señalarse el genotipo y la fase de desarrollo en la cual se presenta el estrés salino (Maas, 1990).

La caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie que forma parte de la cultura venezolana y constituye un rubro de importancia en distintos países de Latinoamérica. Este cultivo se considera uno de los más sensibles a la salinidad, con un valor umbral de conductividad eléctrica cercano a  $1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Maas, 1990), lo que equivale a  $10 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  de NaCl, aproximadamente. Asimismo, se ha reportado que bajo condiciones de estrés salino se afecta la germinación de las semillas, su emergencia o el posterior establecimiento de las plántulas (Dantas et al., 2007; Kaymakanova, 2009; Campos et al., 2009), se reduce la formación de nódulos (Ashraf y Bashir, 2003) y se retarda el crecimiento vegetativo (Bray y Reid, 2002; García et al., 2010), todo lo cual repercute negativamente sobre la productividad de este cultivo.

Trabajos previos han demostrado diferencias genotípicas en la sensibilidad a las sales, tanto entre especies del género *Phaseolus* (Bayuelo-Jiménez et al., 2002; 2003), como entre genotipos de *P. vulgaris* (Dantas et al., 2007; Kaymakanova, 2009; García et al., 2010). Diferentes autores han resaltado la importancia de estudiar la tolerancia a la salinidad durante etapas tempranas del desarrollo en leguminosas, partiendo de una gama amplia de materiales genéticos (Murillo-Amador et al., 2000; 2001; Taffouo et al., 2009), lo cual también se ha enfatizado para *P. vulgaris* (Bayuelo-Jiménez et al., 2002; Kaymakanova, 2009). Sin embargo, hasta ahora este aspecto ha sido muy poco explorado con el germoplasma de *P. vulgaris* del que se dispone en nuestro país.

El objetivo de este trabajo fue estudiar en 20 variedades de *P. vulgaris*, representativas de parte de la variabilidad genética que se encuentra en el país, el comportamiento ante la salinización provocada con cloruro de sodio, durante la germinación y en fase plantular, a fin de obtener información que pueda ser de utilidad en programas de mejoramiento genético destinados a incrementar la tolerancia a la salinidad en este cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de 20 variedades de *P. vulgaris* conservadas en el Banco de Germoplasma del INIA-CENIAP, en Maracay, estado Aragua. Se incluyeron 18 variedades locales, un material en fase de mejoramiento y una variedad introducida (Cuadro 1). En lo posible, se seleccionaron semillas homogéneas en cuanto a tamaño y estado de madurez. La evaluación de la respuesta de estos materiales genéticos ante el estrés salino se realizó mediante dos experimentos, uno para la fase de germinación y el otro para la fase plantular.

**Cuadro 1.** Identificación y procedencia de los materiales genéticos de caraota evaluados por su comportamiento ante la salinidad

Varietal (N° de introducción)	Nombre vulgar	Estado de procedencia
I-2591	Negra criolla	Táchira
I-1985	Vigirima relumbrosa	Carabobo
I-2620	La sesentera	Lara
I-2132	Caraota Rosada	Cojedes
I-2643	Vaina morada	Guárico
I-2539	Caraota Guarere	Táchira
I-2532	Caraota negra	Táchira
I-2687	Frijol cuarentano	Táchira
I-140**	Caraota negra	[Colombia]
I-2659*	Caraota negra	Aragua
I-2031	Caraota papa	Carabobo
I-193	Caraota negra	Aragua
I-172	Caraota negra	Yaracuy
I-2652	Vaina morada	Aragua
I-2003	Vaina morada	Aragua
I-1990	Vaina morada	Carabobo
I-2651	Vaina morada	Aragua
I-2309	Caraota Rosada	Mérida
I-2464	Caraota mejicana	Carabobo
I-2374	Caraota Roja	Mérida

Fuente: Banco de Germoplasma de la Unidad de Conservación de Recursos Fitogenéticos del INIA-CENIAP. \*: Material en proceso de mejoramiento; \*\*: Material introducido (CIAT-Colombia).

**Experimento 1.** Se realizó en el laboratorio del Banco de Germoplasma. Las semillas fueron desinfectadas con cloro comercial al 3% y bactericida Phyton. La prueba de germinación se basó en el protocolo Internacional de Kameswara et al. (2006), efectuándose la siembra en cápsulas de Petri (10 semillas/cápsula) con papel de filtro

humedecido con agua destilada (tratamiento control) ó con NaCl a dos concentraciones: 40 mM (salinidad moderada) u 80 mM (salinidad alta). Estas concentraciones salinas se seleccionaron con base en una evaluación previa realizada en dos variedades comerciales de este cultivo (Campos et al., 2009). Para la prueba de germinación se utilizó una cámara de crecimiento a 30 °C, 90 % HR y ausencia de luz. La prueba se mantuvo durante siete días y una vez finalizado este lapso, se determinó el porcentaje de germinación.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, en un arreglo de tratamientos factorial de tres soluciones de riego y 20 genotipos, con tres repeticiones, representada cada una por 40 semillas. Los resultados se compararon mediante análisis de la varianza y prueba de medias de Tukey, usando el programa Statistix 8.0.

**Experimento 2.** Se evaluó el comportamiento de los genotipos ante la salinidad durante la fase plantular. El ensayo se condujo en un umbráculo ubicado en el Instituto de Botánica Agrícola de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, en Maracay, con densidad de flujo fotónico de  $653 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , temperatura de 29,5°C y humedad relativa de 58,5 %; el valor de estas variables correspondió al promedio de medidas efectuadas a lo largo del ensayo, a la hora de máxima radiación solar, en el caso de la primera variable, y a dos horas distintas (6 am y 1 pm) en las dos últimas variables. La desinfección de las semillas se hizo de la forma descrita en el Experimento 1 y las concentraciones de NaCl usadas para provocar estrés también fueron las mismas, pero en este caso esta sal se adicionó a una solución base preparada con agua de grifo (CE:  $0,18 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) y una fórmula utilizada en hidroponía (Cabrerá, 2003), con la siguiente composición (en mM): 13,9 (N); 2,1 (P); 4,1 (K); 0,5 (Mg); 9,4 (S); 3,8 (Ca);  $7,2 \times 10^{-3}$  (Fe);  $3,6 \times 10^{-3}$  (Mn);  $1,6 \times 10^{-3}$  (Cu);  $9,3 \times 10^{-3}$  (B);  $1 \times 10^{-4}$  (Mo) y  $6,1 \times 10^{-3}$  (Zn). Esta solución se diluyó a un medio de su concentración normal y se usó también en el tratamiento control. La siembra se efectuó en bandejas de aluminio con arena previamente esterilizada, a 2 cm de profundidad y 2,5 cm entre semillas. Las bandejas fueron humedecidas con la solución correspondiente a cada tratamiento, hasta alcanzar la saturación del sustrato y a partir de allí

se regó a diario en exceso, para garantizar el reemplazo total de la solución presente en el espacio poroso. El experimento se condujo durante 14 días después de la siembra (dds). Se utilizó un diseño igual al del experimento 1.

En el tratamiento con 80 mM de NaCl, a los 7 dds se observó un número muy bajo de plántulas emergidas en todos los materiales genéticos y por tal motivo, este tratamiento no se consideró para la estimación de las variables que se describen seguidamente.

Transcurridos 10 dds, se contó el número de plántulas emergidas en cada repetición y se calculó el porcentaje de emergencia, en función del número de plántulas emergidas y el número total de semillas. Una vez finalizado el experimento (14 dds), se seleccionaron doce plántulas por tratamiento y en cada una de ellas se midió: altura de plántula, desde el ras del suelo hasta el punto de inserción de las hojas primarias; área foliar de las hojas primarias, utilizando un medidor de área foliar CI-202 modelo CID; biomasa de raíces y de la parte aérea, para lo cual se separaron ambos componentes, se colocaron en estufa a 70 °C por tres días y se registró su peso seco; adicionalmente, con estos datos se determinó la relación biomasa de la raíz/biomasa del vástago (R/V). En el tratamiento con 40 mM de NaCl, se calculó el porcentaje de disminución de cada variable (exceptuando la relación R/V), respecto al tratamiento control, mediante la siguiente relación:

$$\text{Disminución (\%)} = \frac{\text{Valor del control} - \text{Valor con 40 mM}}{\text{Valor del control}} \times 100$$

Se aplicó análisis de la varianza de los resultados y prueba de medias de Tukey, utilizando el programa Statistix 8.0. Para el caso del porcentaje de disminución respecto al control se usó el programa MSTAT.

## RESULTADOS

### Efectos sobre la germinación

El porcentaje de germinación mostró diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los genotipos evaluados, pero no se encontró efecto significativo de los tratamientos probados, ni para la interacción entre esos dos factores. En el tratamiento control, el menor porcentaje de germinación correspondió al genotipo 'I-2374', seguido por 'I-2687', 'I-2643' e 'I-2132'. En los

materiales genéticos restantes, el porcentaje de germinación osciló entre 95 y 100 %, sin diferencias significativas entre ellos (Cuadro 2). En los dos tratamientos salinos, el porcentaje de germinación de los genotipos evaluados fue similar al observado en el tratamiento control.

**Cuadro 2.** Efecto de la salinización con NaCl, sobre el porcentaje de germinación en 20 genotipos de caraota

Genotipo	Germinación (%)		
	Control	40 mol·m <sup>-3</sup>	80 mol·m <sup>-3</sup>
I-2591	100 a	100 a	100 a
I-1985	100 a	98 ab	100 a
I-2620	98 ab	93 b	97 ab
I-2132	92 b	96 ab	100 a
I-2643	88 c	84 c	84 c
I-2539	100 a	98 ab	99 a
I-2532	98 ab	98 ab	95 ab
I-2687	74 d	72 d	74 d
I-140	100 a	99 a	99 a
I-2659	100 a	100 a	97 ab
I-2031	100 a	100 a	100 a
I-193	100 a	98 ab	99 a
I-172	99 a	100 a	99 a
I-2652	99 a	98 ab	98 ab
I-2003	100 a	100 a	99 a
I-1990	100 a	100 a	98 ab
I-2651	100 a	100 a	100 a
I-2309	97 ab	94 ab	88 c
I-2464	95 ab	96 ab	94 ab
I-2374	66 e	64 e	70 de

Medias distintas en cada columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

### Efectos sobre emergencia

Para el porcentaje de emergencia se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre genotipos, tratamientos e interacción entre esos dos factores. En el tratamiento control, el menor porcentaje de emergencia correspondió a los genotipos 'I-1985' e 'I-2464', los cuales tuvieron una media similar y fueron seguidos por 'I-2132' e 'I-2309' e 'I-1990' que se ubicaron en el mismo grupo; la variedad 'I-2532' mostró el máximo porcentaje de emergencia, mientras que en las variedades restantes el valor osciló entre 93 y 100%, sin diferencias estadísticas entre ellos (Cuadro 3). El tratamiento con 40 mM de NaCl,

provocó una reducción significativa en el porcentaje de emergencia de todos los genotipos, exceptuando el genotipo 'I-2031'. En los materiales genéticos restantes esta variable disminuyó, en magnitud distinta entre los genotipos, lo cual refleja la significancia de la interacción genotipo-tratamiento. La menor disminución en el porcentaje de emergencia se observó en el genotipo 'I-2652', mientras que la mayor ocurrió en 'I-1985'; en los materiales genéticos restantes la disminución en la emergencia osciló entre 33 y 24 % (Cuadro 3). Se observó que algunos materiales tuvieron mejor germinación en el experimento 2 que en el 1, y como tal, presentaron un alto porcentaje de emergencia.

**Cuadro 3.** Efecto de la salinización con NaCl, sobre la emergencia en 20 genotipos de caraota

Genotipo	Emergencia (%)	
	(Control)	(40 mol·m <sup>-3</sup> )
I-2591	98 ab	30 bcd
I-1985	62 e	71 a
I-2620	97 ab	16 cde
I-2132	87 c	33 bc
I-2643	98 ab	29 bcde
I-2539	93 b	24 bcde
I-2532	100 a	20 bcde
I-2687	98 ab	29 bcde
I-140	98 ab	51 ab
I-2659	98 ab	31 bcd
I-2031	94 b	0 e
I-193	99 a	10 cde
I-172	97 ab	8 cde
I-2652	99 a	1 de
I-2003	96 ab	9 cde
I-1990	90 bc	8 cde
I-2651	95 ab	4 cde
I-2309	88 c	26 bcde
I-2464	76 de	26 bcde
I-2374	94 b	30 bcd

Medias distintas en cada columna indican diferencia significativa ( $P \leq 0,05$ ) según la prueba de Tukey

### Efectos en el establecimiento de las plántulas

La salinización con 40 mM de NaCl, afectó notablemente el desarrollo en los distintos genotipos. A los 7 dds, se observó retraso en el crecimiento de las plántulas y síntomas de

marchitamiento en las hojas primarias, y a los 14 dds se notó adicionalmente la presencia de áreas necróticas en los protófilos, principalmente hacia los márgenes de éstos, siendo esta sintomatología más acentuada en las variedades cuyo desarrollo se afectó más bajo la condición salina.

La altura de la plántula mostró diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre genotipos, tratamientos e interacción entre esos dos factores. En el tratamiento control, la variedad 'I-2651' alcanzó la mayor altura, mientras que 'I-140' resultó ser la variedad de menor porte, seguida por 'I-2591', sin diferencias entre ellas; los genotipos restantes

tuvieron una altura intermedia, sin diferencias significativas entre ellos (Cuadro 4). La salinidad redujo notablemente la altura de las plántulas, en magnitud distinta en los diferentes genotipos evaluados, lo que refleja la significancia de la interacción genotipo-tratamiento para esta variable. Al analizar el porcentaje de disminución en la altura, respecto al tratamiento control, se observó que éste alcanzó el mayor valor en el genotipo 'I-1985' (70 %) y el menor en 'I-2464' (34 %); en los genotipos restantes el porcentaje de disminución fue similar y osciló entre 59 y 40 % (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Efecto de la salinización con NaCl sobre la altura (cm) y área foliar ( $\text{cm}^2$ ) de las hojas primarias en 20 genotipos de caraota

Genotipo	Altura (Control)	Disminución (%) (40 mol·m <sup>-3</sup> )	Área foliar (Control)	Disminución (%) (40 mol·m <sup>-3</sup> )
I-2591	8,8 bc	40 bc	54,8 e	69 bcde
I-1985	10,2 abc	70 a	69,9 bcd	92 a
I-2620	10,7 abc	42 bc	60,2 d	73 bcd
I-2132	10,1 abc	59 ab	60,1 d	74 bc
I-2643	11,6 ab	57 ab	56,9 de	71 bcd
I-2539	9,1 b	47 bc	48,6 f	62 defg
I-2532	9,5 b	50 abc	50,7 ef	67 bcde
I-2687	10,6 abc	52 abc	51,9 ef	69 bcde
I-140	7,9 c	40 bc	45,1 fg	76 bc
I-2659	9,0 b	49 abc	47,5 f	77 b
I-2031	11,2 ab	45 bc	91,4 ab	54 gh
I-193	10,5 abc	48 bc	78,6 bc	53 gh
I-172	11,9 ab	49 abc	58,6 de	51 h
I-2652	11,8 ab	50 abc	66,3 cd	54 gh
I-2003	11,4 ab	58 ab	60,7 d	65 cdef
I-1990	12,4 ab	51 abc	67,9 cd	56 fgh
I-2651	13,6 a	52 abc	75,6 bc	58 efgh
I-2309	11,8 ab	50 abc	102,9 a	76 bc
I-2464	10,1 abc	34 c	75,9 bc	69 bcde
I-2374	12,1 ab	50 abc	89,1 ab	78 b

Medias distintas en cada columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

Con respecto al área de las hojas primarias, también se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre genotipos, tratamientos e interacción genotipo-tratamiento. En el grupo control, las variedades de mayor área foliar fueron 'I-2309', 'I-2031' e 'I-2374', las cuales tuvieron medias similares, mientras que 'I-140', 'I-2659', 'I-2359', 'I-2532', 'I-2687' e 'I-2591' fueron las variedades de menor área foliar, sin diferencias

significativas entre ellas (Cuadro 4). Es de hacer notar que en estos cuatro últimos materiales genéticos, el área de los protófilos fue menos de la mitad de la alcanzada por la variedad 'I-2309'. La salinización con 40 mol·m<sup>-3</sup> de NaCl indujo una disminución considerable en el área de las hojas primarias, siendo la magnitud de la misma significativamente distinta para las diferentes variedades. La variedad 'I-1985' mostró el

máximo porcentaje de disminución en esta variable con un valor de 92 %, seguida por 'I-2374'(78 %) e 'I-2659'(77 %), mientras que las variedades 'I-172', 'I-193', 'I-2031' e 'I-2652', fueron las menos afectadas con una disminución porcentual de 51 a 54 %, respecto al grupo control; en las variedades restantes la disminución en el área foliar de las hojas primarias osciló entre 56-76 % (Cuadro 4).

En el peso seco de la parte aérea, también se evidenciaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre genotipos, tratamientos e interacción entre ambos. En el tratamiento control, la mayor biomasa correspondió a las variedades 'I-2309' e

'I-2374', seguidas por 'I-2464' e 'I-2651', sin diferencias significativas entre ellas, mientras que el menor peso seco del vástago correspondió a los genotipos 'I-2591' e 'I-2539', siendo la biomasa en estas dos últimas variedades menos de la mitad de la correspondiente a las variedades con mayor biomasa aérea (Cuadro 5). La salinización con 40 mM de NaCl, indujo una disminución considerable en el peso seco de la parte aérea de las variedades y la magnitud de ésta fue significativamente distinta entre ellas, siendo 'I-2652', 'I-1985' e 'I-2031' los genotipos más afectados, mientras que 'I-2591' mostró la menor disminución en la biomasa aérea (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Efecto de la salinización con NaCl sobre la biomasa aérea y biomasa de la raíz ( $\text{mg} \cdot \text{planta}^{-1}$ ) en 20 genotipos de caraota

Genotipo	Biomasa aérea (Control)	Disminución (%) (40 mol·m <sup>-3</sup> )	Biomasa raíz (Control)	Disminución (%) (40 mol·m <sup>-3</sup> )
I-2591	183,8c	52e	52,1d	52d
I-1985	254,5bc	85ab	84,3bcd	90a
I-2620	244,3bc	60de	98,6bc	78abc
I-2132	210,2bcd	66cde	85,5bcd	72abcd
I-2643	202,7bcd	64cde	102,8bc	68abcd
I-2539	179,7c	58de	74,0cd	67abcd
I-2532	196,1bcd	70bcd	91,4bcd	74abcd
I-2687	205,9bcd	54de	97,4bc	60cd
I-140	229,8bc	65cde	96,2bc	67abcd
I-2659	239,1bc	66cde	117,2a	81abc
I-2031	298,5b	77abc	101,2bc	85ab
I-193	279,5b	56de	103,5bc	69abcd
I-172	255,8bc	55de	76,7bcd	62bcd
I-2652	277,8b	87a	88,4bcd	85ab
I-2003	296,8b	70bcd	89,8bcd	71abcd
I-1990	294,2b	64cde	101,6bc	79abc
I-2651	306,5ab	66cde	65,3cd	69abcd
I-2309	427,2a	64cde	96,1bc	75abcd
I-2464	365,8ab	65cde	65,3cd	68abcd
I-2374	400,8a	69bcd	79,7bcd	66bcd

Letras distintas en cada columna indican diferencia significativa ( $P \leq 0,05$ ) según la prueba de Tukey

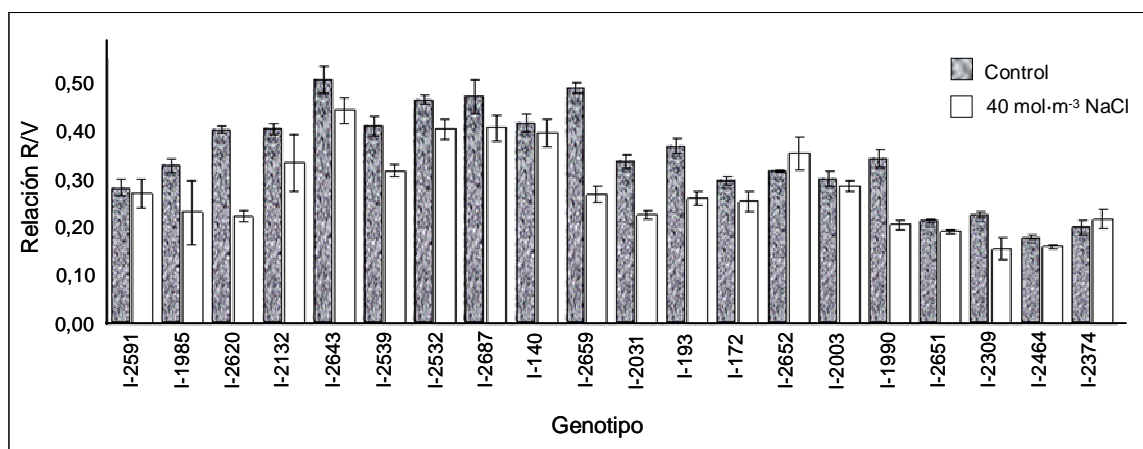
En cuanto al peso seco de la raíz, también se evidenciaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre genotipos, tratamientos e interacción. En el tratamiento control, el genotipo 'I-2659' fue el que acumuló la mayor biomasa radical, mientras que el menor valor de ésta correspondió al genotipo 'I-2591', seguido por 'I-2464', 'I-2651' e 'I-2539', los cuales tuvieron medias similares;

los materiales genéticos restantes mostraron valores intermedios (Cuadro 5). En 'I-2659' la biomasa de raíces fue 2,4 veces mayor, en comparación con 'I-2591', lo que refleja diferencias bastante amplias entre esos dos materiales genéticos. El tratamiento con 40 mM de NaCl provocó una disminución significativa en la acumulación de biomasa en las raíces de todas

las variedades, siendo 'I-1985' la variedad más afectada con una reducción de 90 % en el peso seco radical, seguida por 'I-2031' e 'I-2652', con una disminución de 85 % en éste para ambos materiales genéticos (Cuadro 5). La menor reducción en la biomasa de las raíces se observó en el genotipo 'I-2591' (52 %), seguido por los genotipos 'I-2687', 'I-172' e 'I-2374', con una disminución entre 60 y 66 % (Cuadro 5).

En la relación peso seco de la raíz/peso seco del vástago (R/V), también se observaron diferencias significativas entre genotipos, tratamientos e interacción. En el grupo control, la mayor relación R/V correspondió a las variedades 'I-2687', 'I-2643', 'I-2659' e 'I-2532', cuyas medias fueron similares, mientras que la menor relación R/V se observó en 'I-2464', seguida por

las variedades 'I-2374', 'I-2651' e 'I-2309', sin diferencias significativas entre ellas (Figura 1). Es de resaltar que en los cuatro primeros genotipos, la relación R/V fue más del doble de la observada en los genotipos con los valores más bajos para esta variable. La salinización con 40 mM de NaCl, provocó una reducción en la relación R/V en la gran mayoría de los genotipos evaluados, siendo la magnitud de la misma considerablemente mayor en 'I-2620' e 'I-2659', en los cuales la relación se redujo casi a la mitad de su valor en el tratamiento control; sólo en los genotipos 'I-2652' e 'I-2374', se notó un pequeño incremento en la relación R/V (Figura 1). De nuevo, este comportamiento refleja la significancia de la interacción tratamiento-genotipo.



**Figura 1.** Efecto de la salinización con NaCl sobre la relación biomasa raíz/biomasa vástago (R/V) en 20 genotipos de caraota

## DISCUSIÓN

Los resultados descritos muestran una alta variabilidad intraespecífica en el germoplasma de *P. vulgaris* evaluado. En cuanto a la germinación, se encontraron diferencias significativas entre genotipos, pero no para tratamientos, lo que indica que el porcentaje final de germinación no fue afectado por las dos concentraciones de NaCl utilizadas. De los materiales probados, dieciocho mostraron una germinación superior al 80 % en todos los tratamientos, lo cual evidencia una buena calidad de la semilla utilizada. Los porcentajes más bajos de germinación, posiblemente ocurrieron por problemas con la viabilidad del embrión. Dantas et al. (2007) y Kaymakanova (2009) encontraron que la

germinación en diferentes cultivares de caraota sólo fue afectada a partir de 100 mM de NaCl, siendo distinta la magnitud en que se afectó la germinación en cada cultivar. Adicionalmente, Bayuelo-Jiménez et al. (2002) reportan que el porcentaje de germinación de diferentes genotipos de *P. vulgaris* no se afectó a 120 mM de NaCl, mientras que a 180 mM se redujo sólo en 13 % respecto al tratamiento control. Esto demuestra una amplia variabilidad en la germinación en este cultivo bajo condiciones de salinidad por NaCl.

La tolerancia de un genotipo a la salinidad durante la fase de germinación, es una medida de su capacidad para soportar la disminución en el potencial hídrico del medio circundante, que provoca una menor disponibilidad de agua para la imbibición de la semilla, lo que aunado al ingreso

de iones tóxicos, pueden inhibir la emergencia de la radícula (Smith y Comb, 1991; Murillo-Amador et al., 2000). El hecho de que bajo las dos concentraciones salinas probadas, el porcentaje de germinación de los genotipos evaluados no se haya afectado, hace presumir que las fuerzas mátricas, principales responsables de la absorción de agua durante la imbibición de la semilla (Allen et al. 1986), no fueron alteradas, lo cual refleja un adecuado ajuste osmótico para el desarrollo normal de los procesos metabólicos asociados con la germinación.

Contrariamente al comportamiento observado durante la germinación, en la fase plantular los materiales genéticos evaluados se hicieron marcadamente sensibles a la salinización, resultando letal para la emergencia el tratamiento con 80 mM de NaCl, mientras que a 40 mM el porcentaje de emergencia se redujo en la mayoría de los genotipos, exceptuando el 'I-2031'. Tomando en consideración que la germinación no se afectó a esas dos concentraciones de NaCl, este comportamiento indica que el estrés salino inhibió más el crecimiento del hipocótilo que el de la radícula. Un hallazgo similar fue encontrado por Bayuelo-Jiménez et al. (2002) en otras especies del género *Phaseolus*. Similarmente, García et al. (2010) notaron que la concentración de 80 mM de NaCl durante la fase juvenil, resultó letal en dos variedades comerciales de caraota. Por otra parte, Bayuelo-Jiménez et al. (2002) encontraron que accesiones de *P. vulgaris* que se comportaron como tolerantes a concentraciones de 120 mM y 180 mM de NaCl durante la germinación, mostraron alta sensibilidad a esas dos concentraciones salinas en la fase juvenil (Bayuelo-Jiménez et al., 2003). El efecto negativo de la salinidad sobre la emergencia se ha relacionado principalmente con el bajo potencial hídrico de la solución que rodea la semilla, lo que aunado al efecto de los iones tóxicos presentes en las sales, causa daños en las membranas celulares (Allen et al., 1986) y alteración en la actividad de enzimas y hormonas presentes en la semilla (Smith y Comb, 1991), afectando así la movilización de reservas desde los cotiledones para el crecimiento del eje embrional (Murillo-Amador et al., 2001).

Durante el establecimiento de las plántulas, todas las variables del crecimiento evaluadas disminuyeron significativamente a 40 mM de

NaCl, respecto al tratamiento control. Al considerar la disminución promedio de las variables en el germoplasma de caraota evaluado, se encontró que éste fue de 50, 67, 72 y 66 % para altura de plántula, área foliar de los protófilos, biomasa radical y biomasa aérea, respectivamente. Esos valores indican un grado de afectación considerable en el crecimiento en los genotipos evaluados, ya que todas las variables, exceptuando la altura de plántula, sufrieron una reducción de más del 50 % respecto al tratamiento control, lo cual podría atribuirse fundamentalmente a una combinación de los efectos osmótico y tóxico de la salinidad.

Dantas et al. (2003), trabajando con *V. unguiculata*, sugirieron que una disminución del peso seco de la parte aérea entre 40 y 60 % en los tratamientos salinos correspondería a genotipos moderadamente sensibles, mientras que mayor al 60 % sería para genotipos sensibles. Con base en esos porcentajes, los genotipos 'I-2591', 'I-2687', 'I-172' e 'I-193', podrían clasificarse como moderadamente sensibles a la concentración de 40 mM de NaCl, mientras que el resto de los materiales se considerarían sensibles a la misma.

En cuanto a la relación R/V, se observaron diferencias significativas entre los genotipos en el tratamiento control, en tanto que en las plántulas salinizadas con 40 mM de NaCl esta relación disminuyó en magnitud variable, exceptuando las variedades 'I-2652' e 'I-2374', en las que la misma se incrementó ligeramente; no obstante, estos dos últimos genotipos fueron severamente afectados por la salinidad. La distribución de materia seca entre las raíces y el vástago es de primera importancia en ambientes salinos y se considera que el mantenimiento de una mayor relación R/V en condiciones de salinidad, representa una ventaja en cuanto a la capacidad del sistema radical para la obtención de agua desde el sustrato, lo cual ayudaría a enfrentar el efecto osmótico impuesto por las sales. Sin embargo, también se ha encontrado que en algunos genotipos tal incremento no ocurre (García y Medina, 2010), o bien la relación R/V disminuye a causa del estrés salino (Huang y Redman, 1995). En el caso particular de la caraota, Campos et al. (2009), al someter dos variedades comerciales de caraota a estrés con 40 mM de NaCl durante la fase plantular, obtuvieron



resultados similares a los descritos en este estudio, ya que la relación R/V aumentó sólo en la variedad más afectada por el estrés con NaCl. Por el contrario, García et al. (2010), evaluando la respuesta de las mismas variedades bajo dicha concentración salina durante la fase juvenil, encontraron que la relación R/V no varió en la variedad de mejor comportamiento ante ese nivel salino, mientras que en la variedad más afectada, la relación R/V disminuyó significativamente. Estos hallazgos indican que la relación raíz/vástago no parece ser un parámetro apropiado para la selección de materiales genéticos de caraota por su tolerancia a la salinidad.

### CONCLUSIONES

El germoplasma de *Phaseolus vulgaris* evaluado mostró una amplia variación intraespecífica y en su respuesta ante la salinidad. La germinación no se afectó con ninguna de las dos concentraciones de NaCl probadas, mientras que la emergencia fue totalmente inhibida a 80 mM de NaCl y se redujo significativamente a 40 mM en la gran mayoría de las variedades. Todas las variables de crecimiento determinadas en las plántulas se redujeron significativamente a 40 mM de NaCl, lo que indica que la sensibilidad al estrés salino en el germoplasma de *P. vulgaris* evaluado cambia durante el desarrollo vegetativo temprano, ya que la tolerancia a la salinización por NaCl durante la germinación, no guardó relación con la marcada sensibilidad ante esta sal en la fase plantular. Con base en estos resultados, no parece conveniente la selección de materiales genéticos de *P. vulgaris* por su comportamiento ante la salinidad sólo durante la fase de germinación, sino que debe explorarse la respuesta de éstos en fases posteriores de su ontogenia. Las variedades 'I-2591', 'I-2687', 'I-172' e 'I-193', fueron las que menos se afectaron a 40 mM de NaCl, lo que sugiere su uso para proseguir estudios relacionados con los mecanismos asociados con la respuesta de *P. vulgaris* ante el estrés salino.

### AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad Central de Venezuela, por el financiamiento del proyecto PI-01-7811-2009.

### LITERATURA CITADA

1. Allen, S., A. Dobrenz y P. Bartels. 1986. Physiological response of salt-tolerant and non tolerant alfalfa to salinity during germination. *Crop Sci.* 23: 882-885.
2. Ashraf, M. y A. Bashir. 2003. Salt stress induced changes in some organic metabolites and ionic relations in nodules and other plant parts of two crop legumes differing in salt tolerance. *Flora* 198: 486-498.
3. Bayuelo-Jiménez, J., R. Craig y J. Lynch. 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.* 42: 1584-1594.
4. Bayuelo-Jimenez, J., D. Debouck y J. Lynch. 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. *Field Crop Res.* 80: 207-222.
5. Bray, S. y D. Reid. 2002. The effect of salinity and CO<sub>2</sub> enrichment on the growth and anatomy of the second trifoliolate leaf of *Phaseolus vulgaris*. *Can. J. Bot.* 80: 349-359.
6. Cabrera, G. 2003. Hidroponía casera. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. 90 p.
7. Campos, G., M. García y D. Pérez. 2009. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento en dos genotipos de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.), durante la fase plantular. *Memorias XVIII Congreso Venezolano de Botánica. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto. Venezuela.*
8. Dantas, B., L. Ribeiro y C. Aragão. 2007. Germinação, crescimento inicial e teor de proteína nos cotilédones de feijão em estresse salino. *Rev. Bras. Sementes* 29: 106-110.
9. Dantas, J., M. Amorin, P. Araujo, M. Firmino, F. Lauteiro y M. Macedo. 2003. Efeito do estresse salino sobre a germinação e produção de sementes de caupi. *Agropecuaria Técnica* 24: 119-130.

10. García, M., E. Medina y R. Villafañe. 2009. Acumulación de iones y solutos orgánicos en hojas de plantas de caña de azúcar en dos tabloncillos comerciales afectados por sales. *Bioagro* 21: 87-98.
11. García, M. y E. Medina. 2010. Crecimiento y morfología radical en dos genotipos de caña de azúcar sometidos a salinización con sales simples o suplementadas con calcio. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 27: 17- 38.
12. García, M., G. García y M. Sanabria. 2010. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento, daño oxidativo y acumulación foliar de metabolitos secundarios en dos variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia* 35: 840-846.
13. Hasegawa, P., R. Bressan, J. Zhu y H. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51: 463-499.
14. Huang, J. y R. Redman. 1995. Responses of growth, morphology and anatomy to salinity and calcium supply in cultivated and wild barley. *Can. J. Bot.* 73: 1859-1866.
15. Kameswara, N., J. Hanson, M. Dulloo, K. Ghosh, D. Nowell y M. Larinde. 2006. Manual of seed handling in genebank Nº 8. Biodiversity International. Rome, Italy. 147 p.
16. Kaymakanova, M. 2009. Effect of salinity on germination and seed physiology in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* 23: 326-329.
17. Maas, E.V. 1990. Crop salt tolerance. *In: Agricultural salinity assesment and management manual*. K. Tanji (ed). ASCE. New York. pp: 262-304.
18. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environ.* 25: 239-250.
19. Murillo-Amador, B., E. Troyo-Diéguéz, E. Jones, F. Ayala-Chairez, F. Tinoco-Ojanguren y A. López-Cortés. 2000. Screening and classification of cowpea genotypes for salt tolerance during germination. *Phyton Int. J. Exp. Bot.* 67: 71-84.
20. Murillo-Amador, B., E. Troyo-Diéguéz, A. López-Cortés, E. Jones, F. Ayala-Chairez y F. Tinoco-Ojanguren. 2001. Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage. *Aust. J. Exp. Agric.* 41: 1-8.
21. Smith, P. y B. Comb. 1991. Physiological and enzymatic activity of pepper seeds (*Capsicum annum*) during priming. *Physiol. Plant.* 82: 71-78.
22. Taffouo, V., L. Meguekam, M. Kenne, A. Magnitsop, A. Akoa y A. Ourry. 2009. Salt stress effects on germination, plant growth and accumulation of metabolites in five leguminous plants. *African Crop Science Conference Proceedings* 9: 157-161.