

## Evaluación de líneas avanzadas de caraota al déficit hídrico durante la fase de plántula

### Evaluation of common bean advanced lines to the water deficit during seedling stage

Amalia Domínguez<sup>1</sup>, Yunel Pérez<sup>1</sup>, Maryla Sosa<sup>1</sup>, Silvia Alemán<sup>1</sup>, Leticia Fuentes<sup>1</sup>, Rodolfo Darías<sup>1</sup>, Ramón Rea<sup>2\*</sup>, Daynet Sosa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Matanzas, Cuba. <sup>2</sup>Instituto de Estudios de Avanzados (IDEA), Miranda, Venezuela. <sup>3</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: ramonrea@hotmail.com

#### RESUMEN

La caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa alimenticia más importante en América Latina y cultivada a menudo en condiciones ambientales no favorables. El objetivo de esta investigación fue evaluar líneas avanzadas de caraota al déficit hídrico en la fase de plántulas. Las semillas de 19 líneas se colocaron a germinar en papel de filtro humedecido, sometidas a estrés hídrico con diferentes concentraciones de Polietilenglicol (PEG) y ubicadas en cámara oscura, a 25 °C, en condiciones de laboratorio. Se utilizaron cuatro proporciones de 0 (control); 10; 15 y 20% de PEG 8000 diluido en una solución de Hoagland. Se evaluó la germinación, la presencia del hipocótilo, epicótilo, hojas verdaderas, la longitud de la raíz, del tallo, la cantidad de raíces laterales a los 15 días. Las líneas de caraota mostraron una respuesta diferencial a las concentraciones de PEG 8000 en la etapa de desarrollo de las plántulas. Con el incremento de las concentraciones de PEG 8000 se produjo un aumento en el porcentaje de inhibición de la germinación y una disminución en la longitud, peso fresco del tallo y raíz. El porcentaje de inhibición de la germinación de las líneas 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10 y 15 fue menos afectado a la mayor concentración de PEG 8000. El porcentaje de inhibición de las líneas 8, 12, 13 no fue afectada al 10 y 15% de PEG 8000, considerándose estas últimas como moderadamente tolerantes y las primeras como tolerantes al déficit hídrico.

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris*, germinación, sequía, tolerancia.

#### ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important food legume in Latin America but it is often sowed to unfavorable conditions. The objective of this research was to evaluate advanced lines of common bean to drought stress during the seedling phase. The seeds of nineteen common bean lines were placed to germinate on filter paper moistened, subjected to water stress with different concentrations of polyethylene glycol (PEG) and located in a dark chamber at 25°C, under laboratory conditions. Four proportions of 0 (control) were used; 10; 15 and 20% of PEG 8000 diluted in a Hoagland solution. Fifteen days after sowing were evaluated the germination, the presence of hypocotyls, epicotyls, true leaves, and length of root, stem, and number of lateral roots. Common bean advanced lines showed a differential response to PEG 8000 concentrations in the seedling stage. With the increase of the concentrations of PEG 8000 there was an increase in the percentage of inhibition of the germination and a decrease in the length, fresh weight of the stem and root. The % inhibition of the germination of lines 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10 and 15 was less affected by the higher concentration of PEG 8000. The % inhibition of lines 8, 12, 13 was not affected to 10 and 15% of PEG 8000, the latter being considered as moderately tolerant and the former as tolerant to water deficit.

**Key words:** germination, *Phaseolus vulgaris*, drought, tolerance.

## INTRODUCCIÓN

La caraota, *Phaseolus vulgaris* L., es la leguminosa más importante en el trópico de América Latina, África oriental y meridional; cultivándose en Latinoamérica casi la mitad de la producción mundial con 8 millones de hectárea (Rosales *et al.* 2012; Beebe *et al.* 2013). Según la FAO (2015), la superficie sembrada de caraota para el año 2014 fue de 28 millones de hectáreas con una producción mundial de 22.942.000 t y un rendimiento promedio de 0,812 t.ha<sup>-1</sup>. La producción de este rubro se ha visto ampliamente afectada por siembras en condiciones ambientales marginales, baja fertilidad de suelos, suelos afectados por sales, alto riesgo de sequía intermitente o terminal y otros factores bióticos (Klaedtke *et al.* 2012; Campos *et al.* 2011).

El déficit hídrico afecta el crecimiento y desarrollo de la caraota debido a que interviene negativamente en los procesos morfo-fisiológicos y bioquímicos como la fotosíntesis, la respiración, el metabolismo de los carbohidratos y de los nutrientes, la entrada de iones y la síntesis de promotores del crecimiento (Darkwa *et al.* 2016; Cortés *et al.* 2013; Abdellatif *et al.* 2012). Se ha estimado que el déficit de agua reduce en 60% la producción mundial de granos de caraota (Porch *et al.* 2009).

Las características que contribuyen a la adaptación de especies vegetales, en regiones con deficiencia de humedad, deben estudiarse en tres etapas del desarrollo de la planta: semilla, plántula y planta adulta; cada etapa se considera como un rasgo independiente y requiere procedimientos de detección de tolerancia diferentes (Dominguez *et al.* 2014).

Una prueba para identificar variedades tolerantes a sequía es determinar el porcentaje de germinación a diferentes potenciales osmóticos usando manitol, sacarosa o polietilenglicol, mostrando simulaciones al efecto de sequía durante la germinación y emergencia de la semilla (Madueño *et al.* 2006; Penichet *et al.* 2005). También se ha demostrado que existe una correlación alta y positiva entre la tasa de germinación en soluciones osmóticas y la tasa de emergencia en el campo, indicando que estas pruebas tienen valor predictivo (Espinoza y Kuruvadi, 1985).

En Venezuela usualmente se siembra caraota durante los meses octubre-noviembre como alternativa para disminuir el estrés térmico (Warnock de Parra *et al.* 2007); sin embargo, para ese periodo se presentan problemas de déficit de agua debido a que es el periodo de salida de lluvias en la región. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de líneas avanzadas de caraota al déficit hídrico durante la fase de plántula usando PEG 8000 como agente estresante.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en condiciones de laboratorio en el Instituto de Estudios Avanzados (IDEA), Venezuela. Se utilizaron semillas de 19 líneas avanzadas de caraota (*P. vulgaris* L.) provenientes del programa de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Venezuela. Las semillas de cada línea se lavaron y desinfectaron con oxiclورو de cobre (0,5%) durante 10 minutos. Posteriormente, se enjuagaron con agua estéril.

Las desinfectadas se colocaron en frascos ubicados en una cámara oscura de crecimiento, a una temperatura de 25 °C y humedad de 90% por 15 días, en un diseño completamente al azar con arreglo factorial (19 líneas x 4 proporciones de PEG 8000) y 5 repeticiones de 50 semillas por tratamiento.

El Polietilenglicol 8000 (PEG 8000) se utilizó como agente estresante para simular condiciones de sequía. Para ello se prepararon soluciones de Hoagland al 100% con proporciones de 0 (control), 10, 15 y 20% (p/v) de PEG 8000 (Hoagland y Arnon, 1950).

### Variables evaluadas y parámetros determinados

Se evaluó el número de semillas germinadas, desarrollo de hipocótilo y epicótilo medidos en cm y número de hojas verdaderas hasta los 15 días de la fase de plántula; así como la relación entre la longitud raíz-tallo, cantidad de raíces laterales y peso fresco del tallo y de raíz.

Para determinar el efecto del estrés sobre las variables estudiadas se utilizó la fórmula siguiente:

Índice de estrés en la germinación (IEG), según Domínguez *et al.* 2014.

$$\text{IEG} = \text{VME} / \text{VMC} \times 100$$

VME= Número de plantas germinadas con estrés

VMC= Número de plantas germinadas sin estrés

$$\% \text{ de Inhibición} = 100 - \text{IEG}$$

Longitud de tallo y raíz. Se midieron 20 plántulas por repetición desde el nacimiento del hipocótilo hasta la yema apical y al extremo de la raíz para calcular respectivamente la longitud (cm) promedio del tallo y raíz.

Peso fresco (Pf) de tallo y raíz. Se determinó el peso fresco (g) promedio del tallo y raíz en 20 plántulas por repetición en una balanza digital Sartorius.

### Análisis estadístico

Los datos de las variables evaluadas estuvieron sujetos a un análisis de varianza usando el programa estadístico InfoStat versión 1.1 (Di Rienzo *et al.* 2008). Se determinó la normalidad y homogeneidad de varianza de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y se aplicó la prueba de media de Tukey a un nivel de  $P \leq 0,05$  para las variables que resultaron significativas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inhibición de la germinación

El porcentaje de germinación de semillas de las líneas de caraota disminuyó desde los 4 días de sembradas, a las proporciones 10 y 15% de PEG 8000 en comparación al control. No todas las líneas fueron afectadas por igual en el proceso de germinación en condiciones de estrés hídrico. Las líneas 6, 13, 16, 17, 19 y 20 presentaron porcentajes de inhibición de la germinación por encima de 50 a 20% de PEG 8000, siendo las líneas 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10 y 15 las menos afectadas (Figura 1). Estos resultados coinciden con los reportados por Penichet *et al.* (2005) en cultivares de *P. vulgaris* evaluados a 18% de PEG, quienes encontraron que el porcentaje de inhibición de germinación estuvo entre 48 y 50% y la cantidad de variedades afectadas aumento con 21% de PEG, hasta alcanzar un 87% de inhibición.

### Inhibición del desarrollo de hipocótilo, epicótilo y hojas verdaderas

Al evaluar la cinética del desarrollo del hipocótilo, epicótilo y las hojas verdaderas, a los 15 días después de la germinación de las semillas de líneas de caraota (Cuadro 1) se observó que todas las plántulas presentaron hipocótilo a

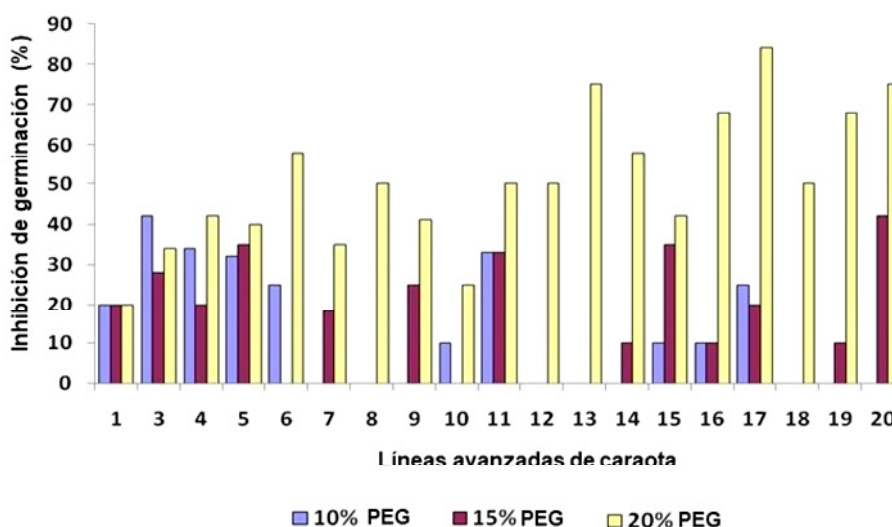


Figura 1. Inhibición de germinación (%) de líneas de caraotas a los 15 días después de la siembra, bajo diferentes proporciones de PEG 8000.

Cuadro 1. Porcentaje de inhibición del desarrollo del hipocótilo, epicótilo, hojas verdaderas de líneas avanzadas de caraota, a los 15 días de sembradas, en condiciones de déficit hídrico.

Líneas Avanzadas	Inhibición desarrollo hipocótilo (%)			Inhibición desarrollo epicótilo (%)			Inhibición desarrollo Hojas verdaderas (%)		
	PEG								
	10%	15%	20%	10%	15%	20%	10%	15%	20%
1	11,10	11,10	11,10	57,10	66,70	75,70	57,10	66,70	85,20
3	20,00	60,00	52,00	33,30	66,70	75,70	33,30	75,70	81,80
4	20,00	20,00	40,00	27,30	33,30	50,00	35,00	50,00	50,00
5	20,00	40,00	28,00	50,00	58,30	72,51	50,00	66,70	81,80
6	18,20	27,30	50,40	18,20	55,70	66,70	55,70	62,50	76,70
7	0,00	33,30	33,30	25,00	50,00	62,50	25,00	58,30	67,10
8	8,30	0,00	33,30	12,50	33,30	50,10	33,30	47,50	58,40
9	18,20	60,30	88,90	22,20	75,70	87,50	50,00	100,00	100,00
10	0,00	9,10	30,60	22,20	58,30	75,00	14,30	57,10	81,10
11	33,30	33,30	50,00	33,30	50,00	66,70	50,00	50,00	76,70
12	0,00	8,30	58,30	12,50	66,70	72,50	52,50	62,50	87,50
13	0,00	8,30	66,70	14,30	57,10	67,10	57,10	87,50	100,00
14	0,00	25,00	75,00	37,50	50,00	60,00	50,00	50,00	87,50
15	0,00	36,40	90,10	0,00	50,00	67,10	50,00	66,70	100,00
16	8,30	8,30	58,30	50,00	50,00	76,70	66,70	76,70	88,90
17	11,10	33,30	85,20	22,20	58,30	88,90	75,00	88,90	100,00
18	0,00	8,33	58,30	0,00	50,00	62,50	57,10	57,10	67,10
19	0,00	8,30	66,70	58,30	66,70	76,70	66,70	76,70	100,00
20	0,00	36,40	80,20	57,10	57,10	67,10	57,10	76,70	87,50

partir del cuarto día. El epicótilo apareció el sexto día, así como algunas hojas verdaderas en diferentes líneas con la proporción control y en las tratadas al 10% de PG 8000. Los mayores porcentajes de inhibición se presentaron 15 días después de la siembra en el desarrollo de las hojas verdaderas en todas las líneas. Similares resultados fueron encontrados por Passioura (2002) y Domínguez *et al.* (2014) quienes refieren que la variación del área foliar es una de las respuestas macroscópicas más tempranas

en plantas que sufren déficit hídrico. Boutra y Sanders (2001) plantean que la limitación de la humedad del suelo influye en el cultivo de caraota, reduciendo el tamaño de la planta entre otros índices de crecimiento, como la hoja verdadera.

Estrés severo de sequía induce a numerosas irregularidades metabólicas en plantas, disminución de la tasa de crecimiento, reducción en la capacidad de intercambio gaseoso, pérdida

de turgencia y síntesis de algunos metabolitos secundarios. Estas alteraciones y su impacto en la morfología y fisiología de las plantas, van a depender del grado de tolerancia de los tejidos a la deshidratación, principalmente en las hojas (Ludlow, 1989).

### Relación longitud raíz-tallos

Las líneas que presentaron las mayores relaciones longitud raíz-tallos, en condiciones

de déficit hídrico extremo (20%), fueron la 11, 12, y 14 (Cuadro 2). El crecimiento de la parte no aérea fue menos afectado; esto, en condiciones de estrés hídrico, pudiera interpretarse como respuesta de adaptación a la sequía de dichas líneas, considerando que las raíces son importantes para garantizar la absorción de agua en suelos secos. Raíces profundas y ramificadas son fundamentales para el comportamiento de los cultivos en limitaciones de suministro de agua (Blum, 2005).

Cuadro 2. Relación longitud de la raíz y el tallo de líneas avanzadas de caraota a los 15 días de sembradas a diferentes proporciones de PEG 8000.

Líneas avanzadas	PEG			
	0 %	10 %	15 %	20 %
	m±EE			
1	1,16±0,13 b	1,01±0,12 c	4,87±0,51 c	4,74±0,88 b
3	1,59±0,19 b	0,73±0,17 c	0,91±0,12 d	2,71± 0,66 b
4	0,98±0,16 b	1,15±0,16 c	2,63±0,59 d	5,21± 0,97 b
5	1,48±0,33 b	2,12±0,41 c	0,83±0,08 d	3,69±0,57 b
6	1,01±0,33 b	1,53±0,17 c	3,44±0,08 c	5,98± 0,57 b
7	1,50±0,19 b	2,84±0,37 b	1,12±0,24 d	2,84± 0,64 b
8	0,84±0,06 b	1,81±0,32 c	3,95±0,57 c	5,88± 0,71 b
9	2,0± 0,16 b	2,17±0,25 c	1,80±0,31 d	5,94± 1,28 b
10	1,68±0,44 b	3,03±0,62 b	5,36±1,02 c	6,21± 1,1 b
11	3,09±0,53 a	6,31±1,02 a	6,74±0,39 c	13,77±2,03 a
12	1,80±0,44 b	3,85±1,07 b	8,62±2,06 b	11,04±1,78 a
13	1,39±0,29 b	2,82±0,30 b	7,60±0,88 b	4,86±1,17 b
14	3,01±0,70 a	4,30±1,02 b	18,02±2,67 a	10,06±2,38 a
15	0,93±0,10 b	3,07±0,30 b	11,79±2,11 b	4,58±0,63 b
16	1,92±0,34 b	4,02±0,28 b	11,71±1,67 b	4,75±1,49 b
17	1,69±0,19 b	1,95±0,14 c	6,58±1,56 c	3,70± 1,85 b
18	1,84±0,26 b	4,98±0,56 b	6,34±1,04 c	9,55± 5,89 b
19	1,34±0,19 b	4,46±0,87 b	8,82±2,01 b	7,92± 4,39 b
20	1,10±0,11 b	7,27±0,59 a	8,73±1,18 b	2,80± 2,53 b

m=media; EE=Error experimental; Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Tukey, P<0,05)

### Evaluación de peso fresco de tallos

En la Figura 2 se puede observar que el peso fresco del tallo disminuyó significativamente al aumentar el estrés hídrico en todas las líneas, presentando la mayor diferencia en el control al compararlo con las líneas 7, 12, 13, 14, 19 y 20. Esto puede deberse a la disminución del crecimiento y a procesos de deshidratación que se ponen de manifiesto como consecuencia del estrés, lo cual ha sido probado por otros autores como Galván *et al.* (2003).

### Peso fresco de raíz

La respuesta de las líneas de caraota para peso fresco fue diferencial ( $P \leq 0,05$ ) a las proporciones de PEG usadas, excepto para las líneas 1 y 17 (Cuadro 3). A mayor proporción de PEG disminuyó el peso fresco de la raíz y el porcentaje de germinación. Similares resultados fueron encontrados por Kaur *et al.* (1998) en garbanzos (*Cicer arietinum*) y Basha *et al.* (2015) en tomate (*Solanum lycopersicum*).

La raíz como órgano de relativa plasticidad suele sufrir, bajo la influencia del medio, modificaciones importantes. La penetración de las raíces en profundidad permite una mejor absorción de agua y aumenta la resistencia a la sequía. Las raíces absorben el agua y cuando falta este

elemento descienden a capas profundas del suelo, lo que permite que la planta adquiera un desarrollo adecuado (Domínguez *et al.* 2014).

Aún se desconoce los procesos que generan esa diferencia en raíz; sin embargo, su significado desde el punto de vista de supervivencia de plantas es de importancia. Una mayor tolerancia de raíz a condiciones de reducido contenido de agua en el suelo asegura su crecimiento en etapas tempranas de desarrollo, y el uso eficiente de la humedad del suelo antes de la incidencia regular de las lluvias. Esto ha sido probado en cereales como cebada (López *et al.* 1996; Sánchez *et al.* 2003) y parece igualmente importante para la caraota que se cultiva en vastas zonas de secano de todo el mundo (Madueño *et al.* 2006).

Los resultados obtenidos muestran que existe una respuesta diferencial de las líneas, ya que todos los materiales genéticos no responden igual al efecto del estrés hídrico en esta etapa de desarrollo de la planta. Los mecanismos o características de la raíz que hacen esto posible se desconocen, pero podrían estar relacionados con la composición de los tejidos o la capacidad para mantener su integridad en condiciones de estrés (Darkwa *et al.* 2016). Se ha documentado que, para germinar, las semillas de frijol silvestre y domesticado, embeben proporciones de agua

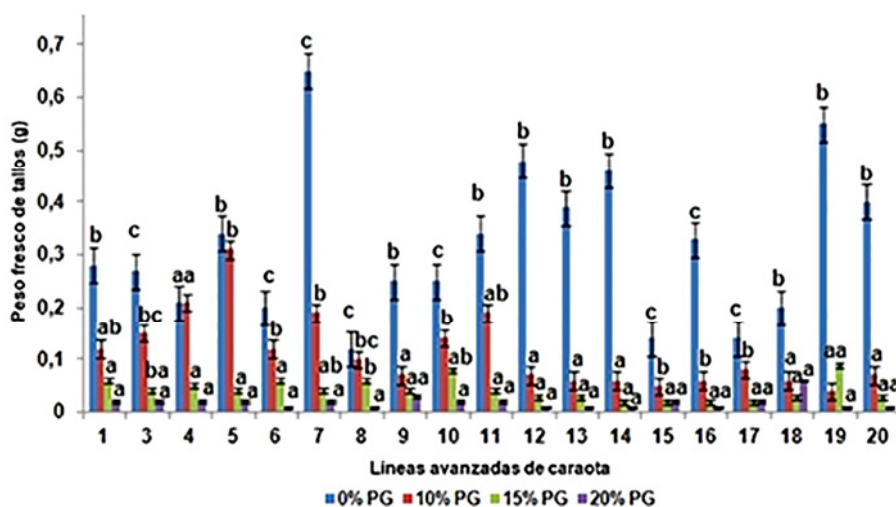


Figura 2. Peso fresco (PF) del tallo, expresado en g, de las líneas avanzadas de caraota a los 15 días de sembrados a diferentes proporciones de PEG 8000.

Cuadro 3. Peso fresco (PF) de la raíz, expresado en g, de las líneas avanzadas de caraota a los 15 días de sembradas a diferentes proporciones de PEG 8000.

Líneas avanzadas	PEG							
	0 %	10 %	15 %	20 %				
	PF raíz±EE							
1	0,02 ±0,00	a	0,01±0,00	a	0,01±0	b	0,01±0	b
3	0,04±0,01	a	0,03±0,01	a	0,01±0	a	0,01±0	a
4	0,03±0,00	b	0,01±0,00	a	0,01±0	a	0,01±0	a
5	0,02±0,00	b	0,04±0,00	c	0±0	a	0,01±0	a
6	0,01±0,00	a	0,01±0,00	b	0,01±0	c	0,01±0	a
7	0,03±0,01	b	0,04±0,00	b	0,01±0	a	0,01±0	a
8	0,09±0,00	c	0,01±0,00	b	0±0	a	0±0	a
9	0,02±0,00	c	0,01±0,00	b	0,01±0	a	0,01±0	a
10	0,02±0,00	c	0±0,00	a	0,02±0	d	0,01±0	b
11	0,08±0,00	b	0,02±0,04	a	0,01±0	a	0,01±0	a
12	0,05±0,00	c	0,02±0,00	b	0,01±0	ab	0,01±0	a
13	0,04±0,01	b	0,01±0,00	a	0,02±0	a	0,01±0	a
14	0,03±0,00	b	0,03±0,00	b	0,01±0	a	0,01±0	a
15	0,06±0,01	b	0,02±0,00	a	0,02±0	a	0,01±0	a
16	0,12±0,02	b	0,03±0,01	a	0,01±0	a	0,01±0	a
17	0,04±0,00	a	0,03±0,00	a	0,03±0	a	0,03±0	a
18	0,05±0,00	b	0,03±0,00	a	0,02±0	a	0,03±0	a
19	0,04±0,00	c	0,01±0,00	b	0,01±0	ab	0±0	a
20	0,06±0,01	c	0,02±0,00	b	0,02±0	b	0±0	a

EE= error experimental. Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias estadísticas (Tukey, P<0,05)

diferentes; así, algunos frijoles embeben agua equivalente al 60% de su peso y otros requieren el 100% para germinar (Peña *et al.* 2002).

Diversos autores han señalado que en algunas especies la acumulación de solutos favorece la absorción de agua, y que de esta manera la turgencia de los tejidos, y por ende el crecimiento, son mantenidos dentro de ciertos límites (Ludlow, 1989). Al respecto, Cruz (2001) demostró que el

ápice de la raíz de maíz acumula más prolina en condiciones de déficit de agua.

### CONCLUSIONES

Las líneas avanzadas de caraota evaluadas mostraron una respuesta diferencial a las distintas concentraciones de PEG 8000 en las etapas de desarrollo de plántulas.

El porcentaje de inhibición de la germinación de las líneas 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10 y 15 fue menos

afectado a la mayor concentración de PEG 8000. El porcentaje de inhibición de las líneas 8, 12, 13 no fue afectado al 10 y 15% de PEG 8000, considerándose estas últimas como moderadamente tolerantes y las primeras como tolerantes al déficit hídrico.

Con el incremento de las concentraciones de PEG 8000 se produjo un aumento en el porcentaje de inhibición de la germinación y una disminución en el peso fresco del tallo y raíz de las líneas de caraota. El epicotilo y las hojas verdaderas en esas plántulas aparecieron más tardíos en comparación con el tratamiento control.

Las líneas de caraota que presentaron las mayores relaciones longitud raíz-tallos, en condiciones de sequía extrema (20% PEG) fueron la 11, 12, y 14.

### AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Venezuela, por su valiosa colaboración y por suministrar los materiales genéticos para este trabajo.

### LITERATURA CITADA

- Abdellatif, K; El Sayed, A; El Absawy, ES; Zakaria, AM. 2012. Drought stress tolerance of faba bean as studied by morphological traits and seed storage protein pattern. *Journal of Plant Studies* 1(2):47-54.
- Basha, P; Sudarsanam, G; Madhu, M; Reddy, S; Sankar, N. 2015. Effect of PEG induced water stress on germination and seedling development of tomato germplasm. *International Journal of Recent Scientific Research* 6: 4044-4049.
- Beebe, S; Rao, I; Blair, MW; Acosta-Gallegos, JA. 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought, *Front Physiol.* 4(35):1-20.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian J. Agric. Res.* 56:1159-1168.
- Boutra, T; Sanders, F. 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L) *J. Agron. Crop Sci.* 187: 251-257.
- Cortés, AJ; Monserrate, FA; Ramírez-Villegas, J; Madriñán S; Blair, MW. 2013. Drought tolerance in wild plant populations: The case of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *PLoS ONE* 8(4): e62898.
- Cruz, C. 2001. Características fisiológicas y biofísicas de la raíz de maíz (*Zea mays* L.) involucradas en la tolerancia a la sequía, Tesis, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, 69 p.
- Campos, G; García, M; Ramis, C. 2011. Respuesta de 20 variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) ante el estrés por NaCl durante la germinación y en fase plantular. *Bioagro* 23 (3):215-224.
- Darkwa, K; Ambachew, D; Mohammed, H; Asfaw, A; Blair MW. 2016. Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. *The Crop Journal* 4: 367-376.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2008. *InfoStat, versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 03 jul. 2018. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- Domínguez, A; Pérez, Y; Sosa, M; Sosa, D; Rea, R. 2014. Efecto del estrés hídrico sobre la germinación de genotipos de frijol común en condiciones experimentales de sequía. *Revista Avanzada Científica* 17(1):1-15. Consultado 03 jul. 2018. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4783039>
- Espinoza, Z; Kuruvadi, S. 1985. Clasificación de colecciones de zacate gigante (*Leptochloa dubia* HBK. Ness) por su grado de resistencia a sequía en manitol. *Agraria* 1: 142-152.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia).



2015. Consultado 03 jul. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Galván, M; Kohashi, J; García, A; Yáñez, P; Martínez, E; Ruiz, L. 2003. Déficit hídrico en planta, Acumulación de biomasa y área foliar en tres etapas vegetativas en frijol común. *Agricultura Técnica en México* 29: 101-111.
- Hoagland and Arnon (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley, Calif. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station.
- Kaur, S; Gupta, AK; Kaur, N. 1998. Gibberellic acid and kinetin partially reverse the effect of water stress on germination and seedling growth in chickpea. *Plant Growth Regul.* 25:29-33.
- Klaedtke, SM; Cajiao, C; Grajales, M; Polania, J; Borrero, G; Guerrero, A. 2012. Photosynthate remobilization capacity from drought-adapted common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines can improve yield potential of interspecific populations within the secondary gene pool. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 4: 49-61.
- López-Castañeda, C; Richards, R; Farquhar, G; Williamson, R. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigour among temperate cereals. *Crop Sci.* 36:1257-1266.
- Ludlow, M. 1989. Strategies in response to water stress. En: Kreeb, H., Ritcher, H. and Hickley, T. Eds. Structural and functional response to environmental stresses: Water shortage. p. 269-281.
- Madueño-Molina, A; García-Paredes J; Martínez-Hernández, J; Rubio-Torres, C. 2006. Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia minima* con diferentes potenciales osmóticos. *TERRA Latinoamericana* 24:187-192.
- Passioura, J. 2002. Soil conditions and plant growth. *Plant, Cel. and Environment* 25:311-318.
- Penichet, H; Cabrera, C; Pérez, C; Lago, E; Pérez, M; Mendoza, M. 2005. Germinación de diferentes cultivares de frijol común (*Phaseolus Vulgaris* L.) bajo condiciones de sequía. *Revista Agrotecnia de Cuba* 1:1-9.
- Peña-Valdivia, C; García N; Aguirre, J; Trejo, C. 2002. The effects of high temperature on dormancy and hypocotyl-root growth of wild bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Sci. Technol.* 30:231-248.
- Porch, T; Ramírez, V; Santana, D; Harmsen, E. 2009. Evaluation of common bean for drought tolerance in Juana Diaz, Puerto Rico. *J. Agronomy & Crop Science* 195:328-334.
- Rosales, M; Ocampo, E; Rodríguez-Valentín, R; Olvera-Carrillo, Y; Acosta-Gallegos, A; Covarrubias, A. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry* 56:24-34.
- Sánchez, A; Peña, C; Trejo, C; Rogelio, J; Cárdenas, E; Galicia, A. 2003. Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad. *Interciencia* 28: 596-603.
- Warnock de Parra, R; Guillén, L; Puche, M; Silva, O; Morros, M. 2007. Selección de la fecha de siembra como estrategia de adaptación a los efectos del estrés térmico sobre los rendimientos simulados de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en un área montano baja del centro-occidente de Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 24:442-467.