

Efecto del estrés hídrico sobre la germinación de genotipos de frijol común en condiciones experimentales de sequía.

Effect of water stress during germination period of common bean in experimental conditions of drought.

Dr.C. Amalia Domínguez Suárez (PhD)

Profesor Titular. Dr. en Ciencias de la Salud. Licenciada en Bioquímica.

Investigador del Centro de Estudios Biotecnológicos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.

amalia.dominguez@umcc.cu

Lic. Yunel Pérez Hernández.

Profesor Asistente, Licenciado en Biología. Investigador del Centro de Estudios Biotecnológicos de la facultad de Agronomía de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.

yunel.perez@umcc.cu

MSc. Maryla Sosa del

Profesor Instructor, Ingeniera Agrónoma, Máster en Ciencias Agrícolas.

Investigador del Centro de Estudios Biotecnológicos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.

maryla.sosa@umcc.cu

DrC Daynet Sosa del Castillo

Ingeniera Agrónoma, Investigador del Instituto de Estudios de Avanzados IDEA, Caracas Venezuela.

dsosa@idea.gob.ve

DrC Ramón Rea Suárez

Ingeniero Agrónomo, Investigador del instituto de Estudios de Avanzados IDEA, Caracas Venezuela.

rrea@idea.gob.ve

Resumen

El frijol común, *Phaseolus vulgaris L.*, es la leguminosa alimenticia mas cultivada en América Latina pero a menudo es expuesta a condiciones no favorables y poco uso de insumos. El estrés hídrico es considerado la condición más común y desfavorable para los cultivos, por tal motivo se estudió el efecto del estrés hídrico en el periodo de germinación de genotipos de *Phaseolus vulgaris L* cultivadas en Cuba. Las semillas de frijol fueron colocadas a germinar en frascos, sobre papel filtro. Para simular las condiciones de sequía se utilizaron concentraciones de 0, 10, 15 y 20% de polietilen glicol (PG) 8000. Se evaluó el número de semillas germinadas, la presencia del hipocótilo, epicótilo, hojas verdaderas, la longitud de



la raíz, del tallo, la cantidad de raíces laterales a los 4, 6, 8, 10 y 15 días. Los resultados muestran que las semillas germinadas al 15 y 20% presentaron menor porcentaje de germinación en todos los genotipos estudiados. La mayor afectación se apreció en el desarrollo del epicótilo y de hojas verdaderas. La relación longitud de la raíz / tallo aumentó con el estrés así como el peso fresco del tallo y de la raíz disminuyeron. Los genotipos que presentaron un comportamiento más tolerante al estrés hídrico fueron la Bolita 42, CC 25-9 colorado y BAT 58 y los más susceptibles fueron la CC 25-9 negro y la Alubia blanca

Palabras clave: estrés hídrico, sequía, *Phaseolus vulgaris*, germinación, PEG-8000.

Abstract

The common bean, *Phaseolus vulgaris* L., is the most important food legume in Latin America but it is often exposed to unfavourable conditions and minimum use of inputs. Water stress is considered the most common condition and unfavorable for crops, for that reason we studied the effect of water stress during germination period of genotypes of *Phaseolus vulgaris* L., seeds from Cuba. The seeds of beans were put to germinate in bottle on filter paper. Concentrations of 0, 10, 15 and 20% of polyethylene glycol (PG) 8000 were used to simulate the conditions of drought. The results show that the seeds germinated to 15% and 20% presented lower germination percentage in all genotypes studied. The biggest affectation was appreciated in the development of the epicotyl and true leaves. The ratio of the length of the root / stem increased with stress, while the fresh weight of the stem and root declined. Cuban genotypes that presented behaviour more tolerant to water stress were the Bolita 42, CC 25-9 colorado and BAT 58 and the more susceptible were CC 25-9 black and white beans.

keywords: water stress, drought, *Phaseolus vulgaris* L, germination, PEG-8000 .

Introducción

La caraota, *Phaseolus vulgaris* L., es la leguminosa alimenticia mas importante en el trópico de América Latina y África oriental y meridional y ha sido cultivado tradicionalmente por pequeños agricultores, encontrándose entre los cultivos más importantes no sólo por su alto valor nutricional sino por su alto consumo en la población, pero a menudo su cultivo es en condiciones no favorables y con déficit de insumos (Beebe, Rao, Cajiao & Grajales, 2008; Moussa & Abdel-Aziz, 2008; Campos, Garcia, Perez & Ramis, 2011). Entre las variables ambientales que afectan el crecimiento y el desarrollo de estas plantas se puede citar la deficiencia de agua, como una de las más importantes, debido a que afecta negativamente un grupo numeroso de procesos morfo-fisiológicos y bioquímicos importantes (Domínguez, Mita, Alemán, Pérez, Sosa & Fuente, 2012), tales como la

fotosíntesis, la respiración, el metabolismo de los carbohidratos y de los nutrientes, la entrada de iones a la planta y la síntesis de promotores del crecimiento (Farooq, Basra, Wahid, Cheema, Cheema, & Khaliq, 2008, 2009). Se ha estimado que el estrés hídrico reduce en un 60 % la producción mundial de granos de frijol (Porch, Ramírez, Santana & Harmsen, 2009).

Las características que contribuyen a la adaptación de las especies vegetales, a regiones con deficiencias de humedad, deben estudiarse en tres niveles: semilla, plántula y planta adulta. A nivel de semilla, una de las mejores pruebas para identificar variedades tolerantes a sequía. El estudio de la germinación a diferentes potenciales osmóticos, con manitol, sacarosa o polietilén glicol de pesos moleculares 6000 y 8000 (PEG-6000 y PEG-8000), han mostrado simular satisfactoriamente un efecto de sequía durante la germinación y emergencia de la semilla (Madueño, García, Martínez & Rubio, 2006; Nieto, Murillo, Troyo, García, & Ruíz, 2010; Sayar, Bchini, Mosbahi, & Exxine, 2010). 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 (Mohammadkhani & Heidari, 2008).

Si se acepta, que la interacción genotipo-ambiente produce un fenotipo que tendrá una función determinada, por lo tanto, cualquier variación de las condiciones ambientales puede afectar tanto a la estructura como a la función (González, 2007). Los cambios morfo-anatómicos y fisiológicos relacionados con los cambios que experimentan los cultivos en condiciones de estrés hídrico, puede ser utilizado en la selección o creación de nuevas variedades que permiten elevar la productividad bajo condiciones de sequía.

Debido a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo, evaluar el efecto del estrés hídrico, en condiciones experimentales de sequía, sobre la germinación de semillas de diferentes genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en Cuba, con el propósito de establecer posibles diferencias entre ellos que permitan considerarlos como criterio en la selección de genotipos tolerantes y sensibles al déficit hídrico.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en los laboratorios del Centro de Estudio Biotecnológicos (CEBIO), de la Universidad de Matanzas y en los laboratorios e invernaderos del Instituto de Estudios Avanzados de Venezuela (IDEA). Se utilizaron ocho genotipos provenientes de la Empresa Provincial de Semillas de Matanzas, Cuba (figura 1).

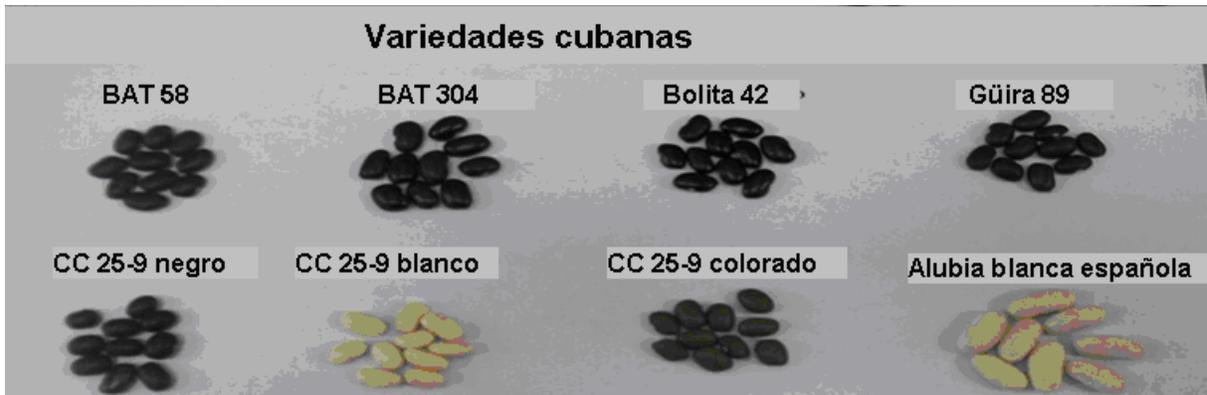


Figura 1. Semillas de *Phaseolus vulgaris* L., parte superior genotipos venezolanos e inferior genotipos de Cuba.

Las semillas fueron lavadas y ligeramente desinfectadas con oxiclورو de cobre (0,5%) durante 10 minutos. Posteriormente se enjuagaron con agua estéril y se colocaron a germinar en frascos, de 5 cm de diámetro por 10 cm de alto, sobre papel de filtro humedecido, en cámara oscura, a 25 °C. Para simular las condiciones de sequía se utilizaron concentraciones de 0, 10, 15 y 20 % de polietilén glicol (PG) 8000 en solución de Hoagland al 100% de su fortaleza (Hoagland & Arnon, 1950). Se sembraron 30 semillas para cada concentración de PG y 3 replicas. Se evaluó el porcentaje de inhibición de la germinación de las semillas y la presencia del hipocótilo, epicótilo, hojas verdaderas a los 4, 6, 8, 10 pero se reportan los resultados a los 15 días. Además se midió la longitud de la raíz principal, del tallo y la cantidad de raíces laterales a los 10 y 15 días. También se determinó la masa fresca del tallo y de la raíz al final del experimento.

Para determinar el efecto del estrés sobre los parámetros estudiados se utilizó la siguiente formula:

Índice de estrés en la germinación (IEG)

$$IEG = \frac{\text{Valor muestra estresada}}{\text{Valor muestra control}} \times 100$$

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

Longitud del tallo y de la raíz. Se midieron las plantas desde el nacimiento del hipocótilo hasta la yema apical y al extremo de la raíz para calcular respectivamente las longitudes del tallo y la raíz.

Masa fresca (Mf) del tallo y de la raíz. Las pesadas se realizaron en una balanza digital Sartorius.



Los datos experimentales se analizaron para conocer si existía normalidad y homogeneidad de varianzas utilizando el método de Shapiro-Wilk. Tras cumplir los requisitos de normalidad y homogeneidad se empleó el análisis de varianza y la prueba de media de Duncan, a un nivel de significación de $p < 0,05$ y $0,01$. El análisis de los datos se realizó a través del paquete estadístico InfoStat/ profesional versión 1.1

Resultados y discusión

Al determinar el porcentaje de germinación de las semillas se constato que, desde los 4 días de sembradas, existía una disminución marcada en los diferentes cultivares sembrados al 15 y 10% de PG al compararlos con el control (0% PG), no estresado. Los resultados revelan que no en todos los genotipos se afecta por igual el proceso de germinación en las condiciones de estrés hídrico.

Existen diversos estudios acerca de la respuesta de plantas cultivadas bajo estrés hídrico en etapas tempranas con el objetivo de conocer los mecanismos de adaptación a esta condición de déficit hídrico, donde el porcentaje de germinación resultó ser altamente dependiente de las condiciones del estrés hídrico, por ser la disponibilidad de agua una condición esencial para la activación de los procesos metabólicos que dan lugar a la aparición de la radícula como inicio de la germinación (Dubrencq, Bergen, Vincent, Borsson, Caboche. & Lepiniec, 2000).

Resultados análogos reportaron Mohammadkhani & Heidari (2008) al estudiar la respuesta de la germinación al estrés inducido por PEG-6000 en dos cultivares de maíz, encontrando que la germinación fue inversamente proporcional a las concentraciones de PEG. Por su parte, Gholami, Rahemi, & Kholdebarin (2010) encontraron respuestas similares al evaluar el efecto del estrés inducido por diferentes concentraciones de PEG sobre la germinación de cuatro especies de Prunus.

Estos resultados se explican por el déficit hídrico simulado por el PEG-8000, que dificulta una mayor eficiencia en los eventos involucrados en el proceso de germinación en la semilla. El PEG no sólo retrasa la germinación, sino también afecta los porcentajes de germinación final, porque es una sustancia osmótica no penetrante que previene la absorción de agua por las células vegetales y alarga la duración de la fase de latencia entre la imbibición y el crecimiento radicular, puesto que la absorción del agua por la semilla procede lentamente en este periodo (Aparecida & Zambillo, 2003).

La figura 2 muestra que las semillas cubanas, de forma general, presentaron un incremento en el porcentaje de inhibición de la germinación al 20%, a los 15 días de sembradas, excepto el genotipo Bolita 42 que no mostró inhibición de la

germinación ni al 15%, ni en condiciones de estrés severo (20% PG). Los genotipos Cuba Cueto 25-9 negro (CC N) y la Alubia blanca (Alubia B), presentaron los mayores % de inhibición de la germinación tanto al 15% como al 20% de PG. Los genotipos restantes presentaron bajos porcentaje de inhibición por lo que tuvieron un comportamiento tolerante a las condiciones de sequía experimental.

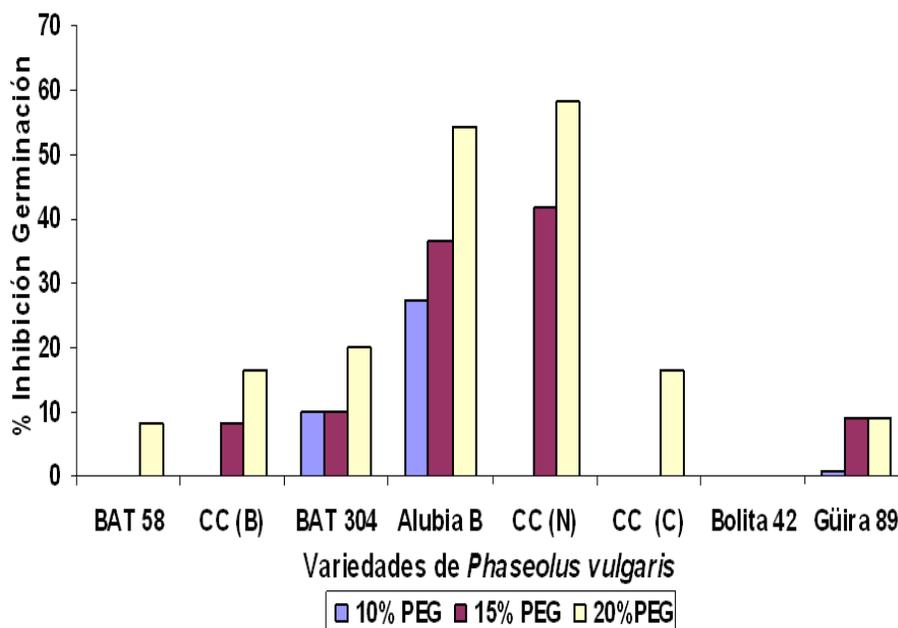


Figura 2. Porcentaje de inhibición de la germinación (con respecto al control), de las semillas de genotipos de frijol común, a los 15 días de sembradas en pomos, a diferentes concentraciones de PG.

Estos resultados concuerdan con los reportado por Penichet, Cabrera, Pérez, Lago, Pérez & Mendoza. (2006) sobre la germinación de diferentes cultivares de *Phaseolus vulgaris* en condiciones de sequía, donde observaron que algunas variedades evaluadas a un 18% de concentración de PG, presentaron 48 y 50% de inhibición de la germinación, incrementándose la cantidad de variedades afectadas a un 21% de concentración de PG, llegando a alcanzar algunas hasta un 87% de inhibición.

Al analizar la cinética del desarrollo del hipocótilo, epicótilo y las hojas verdaderas se apreció que todas las plántulas presentaron hipocótilo a partir del cuarto día. El epicótilo aparece el sexto día así como algunas hojas verdaderas en diferentes genotipos al 0 % de PG y en las sembradas al 10% de PG. Los mayores porcentajes de inhibición los presentan el desarrollo de las hojas verdaderas en todos los genotipos estudiados (Cuadro 1). Estos resultados concuerdan con lo

planteado por Passioura (2002) quien refiere que la variación del área foliar es una de las respuestas macroscópicas más tempranas en plantas que sufren déficit hídrico.

Resultados similares fueron encontrados por Nagafabadi, Ghanadha, Zali, & Yazdi. (2003) y González, Argente, Zaldívar, & Ramírez (2005). El efecto negativo del PEG puede explicarse por el déficit hídrico que produce en los tejidos en crecimiento, al disminuir la turgencia de las células y por cambios en la permeabilidad de las membranas. A lo que se puede agregar una baja estimulación del crecimiento vegetativo producto de la disminución de la síntesis de ácido Giberélico e incremento la de ácido Abscísico (Chaves, Maroco, & Pereira, 2003).

Cuadro 1. Porcentaje de inhibición del desarrollo del hipocótilo, epicótilo, hojas verdaderas de las diferentes genotipos de frijol común cubano, a los 15 días de sembradas, en condiciones de sequía

Variedades Cubanas	% Inhibición desarrollo hipocotilo			% Inhibición desarrollo epicotilo			% Inhibición desarrollo hojas verdaderas		
	10% PG	15% PG	20 %PG	10% PG	15% PG	20% PG	10% PG	15% PG	20% PG
BAT 58	8.33	8.33	16.66	22.22	40	66.67	40	66.67	80
CC (B)	0	16.66	16.67	40	50	90	40	50	100
BAT 304	10	20	16	25	44.44	66.67	22.22	50	100
Alubia B	0	12.5	37.5	37.5	50	90	50	100	100
CC (N)	0	50	66.67	58.33	83.33	100	58.33	83.33	100
CC (C)	0	8.33	25	25	50	90	36.36	50	78.18
Bolita 42	0	8.33	16.66	40	60	90	36.36	72.72	78.18
Guira 89	0	18.18	18..18	22.22	33.33	88.89	42.86	71.43	90

Boutra, & Sanders (2001) plantean que la limitación de la humedad del suelo, influye en el cultivo del frijol, reduciendo el tamaño de la planta entre otros índices de crecimiento, como es la presencia de la hoja verdadera. Un estrés severo, por sequía, induce numerosas irregularidades metabólicas en las plantas, tales como, disminución de la tasa de crecimiento, reducción en la capacidad de intercambio gaseoso, pérdida de turgencia y síntesis de algunos metabolitos secundarios.

Revista Avanzada Científica Enero – Abril Vol. 17 No. 1 Año 2014



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

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).

Al analizar la longitud del tallo y la raíz se comprobó que estos parámetros de crecimiento se afectaron en todos los genotipos estudiados, en las condiciones de sequía experimental, siendo la afectación más severa en las sembradas a concentración de 20% de PG (ver figura 3).

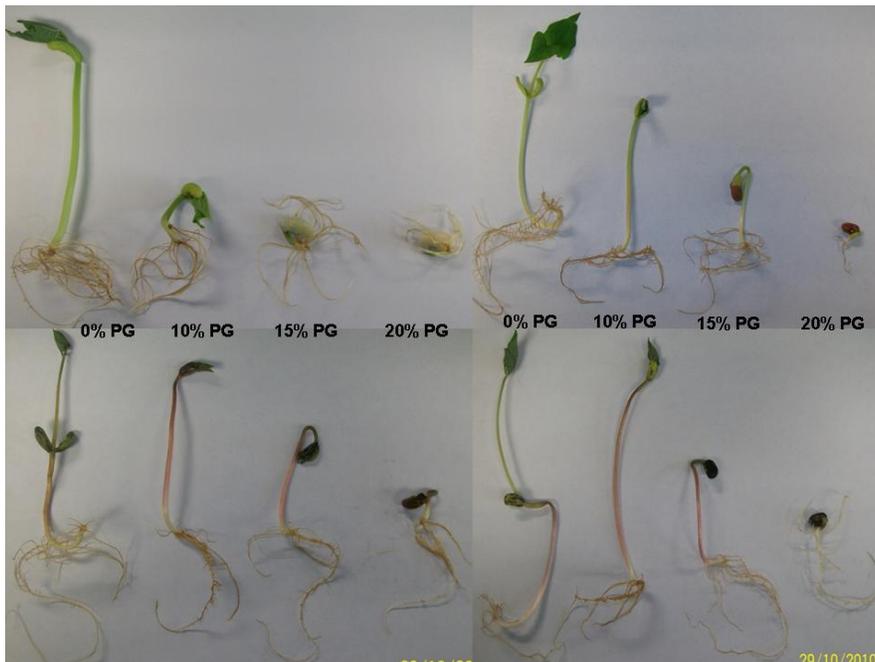


Figura 3. Comparación de la longitud de la raíz y el tallo de los genotipos cubanos de *Phaseolus vulgaris*, a los 10 días de sembrados, en condiciones experimentales.

Por otra parte, el número de raíces laterales también disminuyó al aumentar la concentración de PG en todas los cultivares (figura 4). Estos resultados concuerdan con lo reportado por otros autores, quienes encontraron que tanto el tallo de plántulas, como las raíces disminuyeron significativamente su crecimiento después de 13 días bajo tratamiento salino con cloruro de sodio (Preciado, Baca, Tirado, Kohashi, Tijerina & Martínez, 2003), quienes obtuvieron un menor crecimiento de la raíz de plántulas de melón y la correspondiente disminución en la absorción de agua y nutrientes.

Al correlacionar estos dos parámetros se aprecia que el crecimiento del tallo fue el más afectado, lo que trae como consecuencia que la relación longitud de la raíz/tallo aumenta con el estrés al compararla con las que se sembraron en 0% de

PG. En la figura 5, se observa que en todos los genotipos cubanos la relación aumenta significativamente al aumentar el déficit hídrico, presentando los mayores valores los genotipos CC negro y la Alubia B. Que el crecimiento de la raíz haya sido menos afectado, en condiciones de estrés hídrico, pudiera interpretarse como respuesta de adaptación a la sequía de dichas variedades, ya 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).

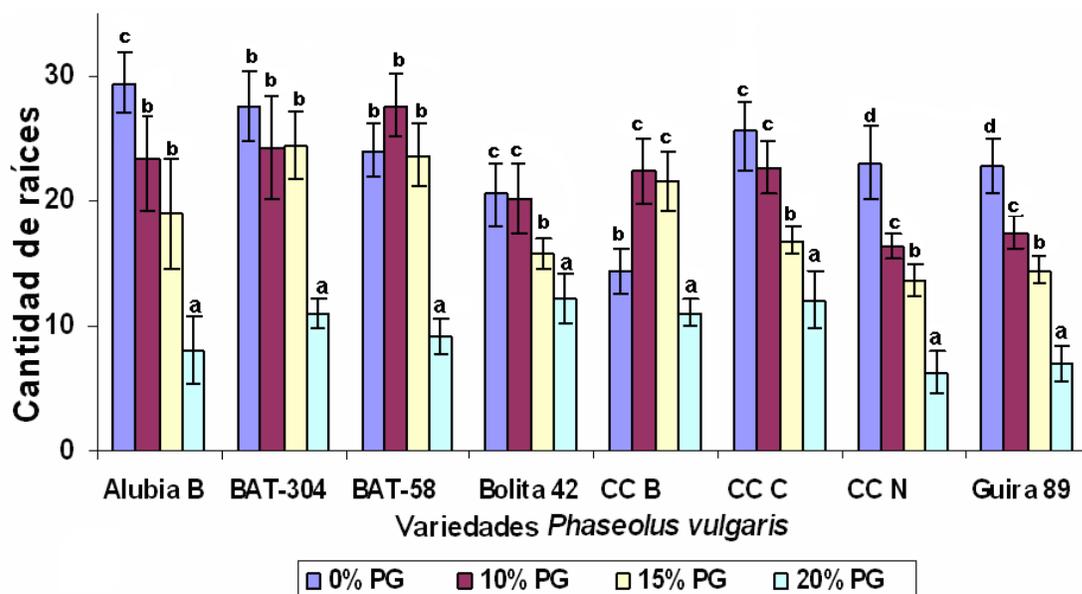


Figura 4. Cantidad de raíces laterales de las plantas de los genotipos cubanos de *Phaseolus vulgaris*, a los 15 días de sembrados, en condiciones experimentales. Las letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos según Test de Duncan.

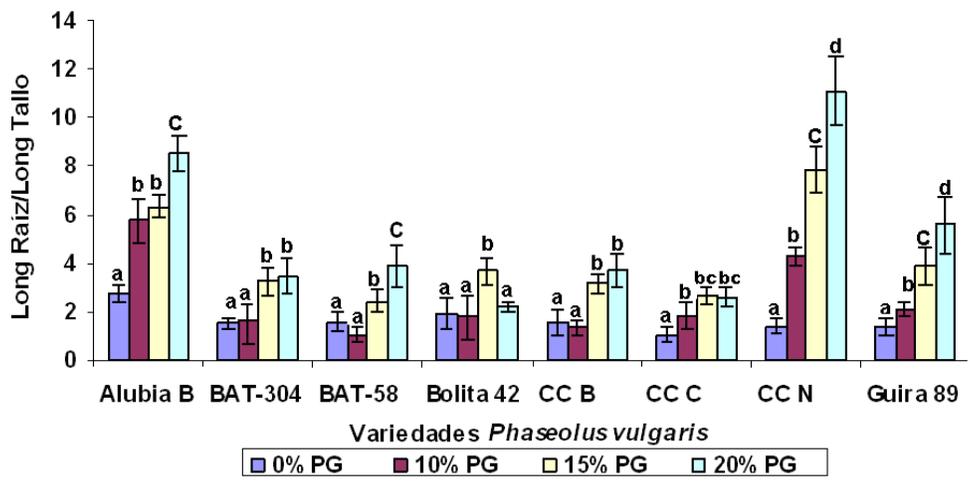


Figura 5. Relación longitud de la raíz/tallo de las variedades cubanas de caraotas, a los 15 días de sembrados, en condiciones experimentales. Las letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos según Test de Duncan.

La raíz como órgano relativamente plástico, 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 relaciones del sistema radicular y el agua son, sin discusión, el punto capital de su fisiología. 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 (Molina, 2008).

Aún se desconocen los procesos que generan esa diferencia en la raíz; sin embargo, su significado desde el punto de vista de la supervivencia de las plantas es de importancia, ya que la mayor tolerancia de la 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 (Sánchez, Peña, Trejo, Rogelio, Cárdenas, & Galicia, 2003) y parece igualmente importante para el frijol, que se cultiva en vastas zonas de secano de todo el mundo (Madueño, García, Martínez & Rubio, 2006).

La masa fresca (Mf) del tallo y de la raíz también disminuyó significativamente al aumentar el estrés hídrico en todos los genotipos estudiados, presentando las menores masas los tallos de las plantas que germinaron y crecieron al 20% de PG, mostrando la mayor afectación las Variedades CC 25-9 negro y la Alubia blanca (figura 6). 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, Kohashi, Garcia, Yáñez, Martínez & Ruiz (2003).

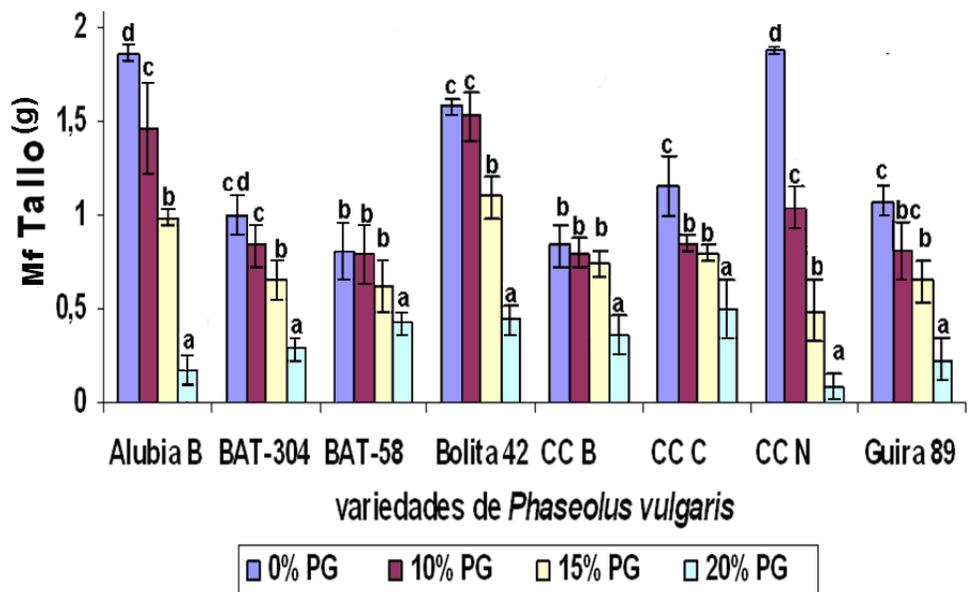


Figura 6. Masa fresca (Mf) del tallo, expresado en g, de las variedades cubanas de *Phaseolus vulgaris*, a los 15 días de sembrados, en condiciones experimentales. Las letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos según Test de Duncan.

Por lo anterior, se infiere que el aumento de la masa fresca es inversamente proporcional a las concentraciones de PEG, ya que está disminuyendo probablemente por la afectación de la turgencia y elongación celular (Martin, Fuster, & Belmonte, 2005). Otra hipótesis puede ser la de Hamayun, Afzal, Khan, Latif, Ahmad, & In-Jung, (2010) quienes analizaron el crecimiento de variedades de soya y señalan que los efectos por el PEG conducen a la disminución significativa del crecimiento debido a una disminución de la actividad enzimática (enzimas hidrolíticas), tales como la α -amilasa, proteasas y lipasas responsables de hidrolizar las reservas de los cotiledones requeridas para proveer energía en las primeras etapas del crecimiento.

En el caso de la Masa fresca (Mf) de la raíz la disminución fue menor al compararla con el 0% de PG en los genotipos estudiados, excepto en la Alubia blanca que se caracteriza por tener una raíz larga y robusta en condiciones no estresadas (figura 7).



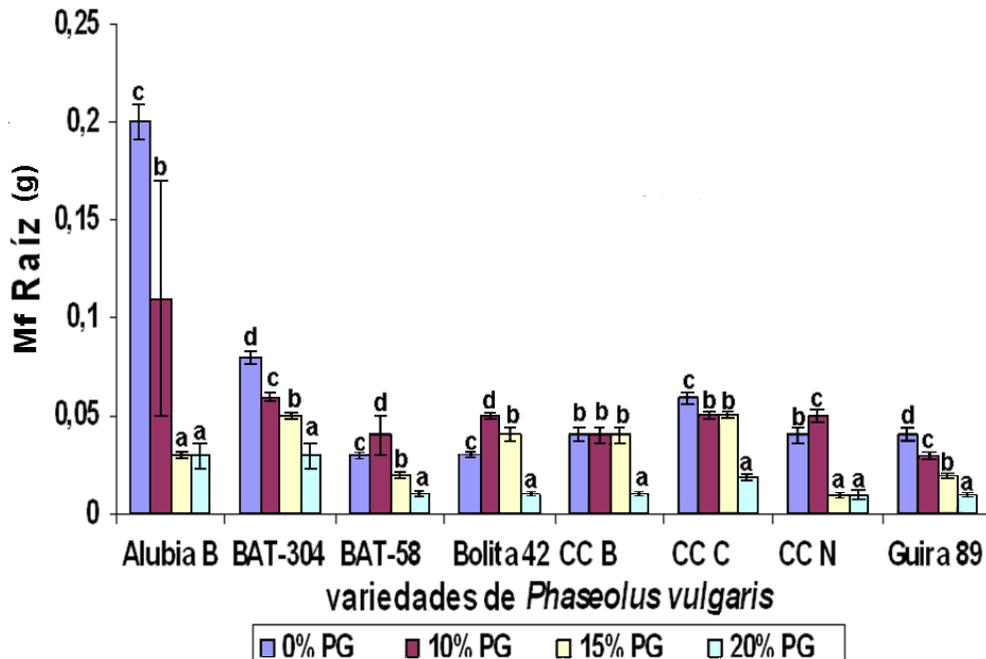


Figura 7. Masa fresca (Mf) de la raíz, expresado en g, de las variedades cubanas de *Phaseolus vulgaris*, a los 15 días de sembrados, en condiciones experimentales. Las letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos según Test de Duncan.

Los resultados obtenidos muestran que existe una respuesta varietal, ya que todos los genotipos 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. Se ha documentado que para germinar las semillas de frijol, silvestre y domesticado, se requieren proporciones de agua diferentes; así, algunos frijoles embeben agua equivalente al 60% de su peso y otros requieren el 100% para germinar (Peña, García, Aguirre, & Trejo, 2002). Diversos autores han señalado que en algunas especies la acumulación de solutos favorece la absorción de agua (Peña, García, Aguirre, & Trejo, 2002; Flores, 2002), y que de esta manera la turgencia de los tejidos, y por ende el crecimiento, son mantenidos dentro de ciertos límites (Ludlow & Muchow, 1990). Al respecto, Cruz (2001) demostró que el ápice de la raíz de maíz acumula más prolina en condiciones de déficit de agua.

Conclusiones

En las condiciones de sequía ensayadas, al aumentar el déficit hídrico aumenta el % de inhibición de la germinación, y disminuye tanto la longitud y la masa fresca del tallo y la raíz, apareciendo en las plántulas estresadas más tardíamente el epicótilo y las hojas verdaderas.

Los genotipos que tuvieron un comportamiento más tolerante al estrés hídrico, en las condiciones experimentales de sequía, fueron Bolita 42, CC 25-9 rojo y BAT 58. Los más susceptibles fueron los genotipos CC 25-9 negro y la Alubia blanca.

Agradecimientos

Agradecemos a la Empresa Provincial de Semillas de Matanzas, Cuba por su valiosa colaboración y habernos suministrado las semillas para este trabajo.

Referencias

- Aparecida, M. E. & Zambillo, P. S. (2003). Germination of Senra occidentales link: seed at different osmotic potential levels. Brazilian Archiv. Biol. Technol. 2:38-43.
- Beebe, S., Rao, I., Cajiao, C. & Grajales, M. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. Crop Sci. 48: 582-592.
- 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.
- 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.
- Chaves, M., Maroco, J., & Pereira, J. (2003). Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. Functional Plant Biology 30: 239–264.
- Campos, G., Garcia, M., Perez, D. & Ramis, C. (2011). Respuesta de 20 variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) ante el estrés por NaCl durante la germinación y en fase plantular.. Biagro 23(3): 215-224.
- 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. 69p.
- Domínguez, A., Mita, N., Alemán, S., Pérez, Y., Sosa, M. & Fuente, L. (2012). Algunos indicadores morfológicos y bioquímicos de cinco variedades de *Phaseolus vulgaris* L., bajo condiciones de sequía. Revista Avanzada Científica. 15 (2):1-18.
- Dubrencq, B., Bergen, N., Vincent, E., Borsson, M., Caboche, M. & Lepiniec, L. (2000). The Arabidopsis AT EDRI entensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. Plant J. 23:643-652.

- Farooq, M., Basra, S., Wahid, A., Cheema, Z., Cheema, M. & Khaliq, A. (2008). Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.) J. Agron. Crop. Sci. 194: 325–333.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev. 29: 185–212.
- Flores, D. (2002). Potencial agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): Composición química. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo, México. pp 75.
- Galván, M., Kohashi, J., Garcia, 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.
- Gholami, M., Rahemi, M. & Kholdebarin, B. (2010). Effect of drought stress induced by polyethylene glycol on seed germination of four wild almond species. Australian J. Basic Appl. Sci. 4:785-791.
- González, L. M., Argente, L., Zaldívar, N. & Ramírez, R. (2005). Efecto de la sequía simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. Cultivos Tropicales. 4:49-52.
- González, J. (2007). Ecofisiología y morfología del estrés debido a factores adversos. Disponible en:
<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro07/Cap3>.
- [Hoagland, D. R. & Arnon, D.I. \(1950\). The water-culture method for growing plants without soil. Circ. 347. Univ. of Calif. Agric. Exp. Station, Berkley.](#)
- Hamayun, M., Afzal Khan, S., Khan Shinwari, Z., Latif Khan, A., Ahmad, N. & In-Jung, L. (2010). Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. Pakistan J. Bot. 42:977-986.
- Ludlow, M. (1989). Strategies in response to water stress. En: Kreeb, H. K., Ritcher, H., Hickley, T.M. Edrs. Structural and functional response to environmental stresses: Water shortage, pp. 269-281. The Hague, Netherlands: SPB. Academic Press.
- Madueño-Molina, A., García-Paredes, J., Martínez-Hernández, J. & C. Rubio-Torres, L. (2006). Germinación y crecimiento de frijolillo *rhynchosia minima* (L.) con diferentes potenciales osmóticos. TERRA Latinoamericana 24: 187-192
- Martín de Santa Olalla, M. F., Fuster, P. L. & Belmonte, A. C. (2005). Agua y agronomía. Universidad de Castilla- La Mancha. Edit. Mundi Prensa. España. 606 p.
- Mohammadkhani, N. & Heidari, R. (2008). Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. Pakistan J. Biol. Sci. 11:92-97

- Molina, J. (2008). Evaluación de poblaciones de frijol rojo bajo condiciones de sequía Disponible en: <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/protocolos/granos-basicos.html> [Consulta marzo, 13, 2012].
- Moussa, I. & Abdel-Aziz, S. (2008). Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. Australian Journal of Crop Science 1:31-36.
- Nagafabadi, M. F., Ghanadha, M. R., Zali, A. A & Yazdi, B. (2003). Inheritance of bread wheat seed germination at drought conditions. (consultado en: <http://www.treebuotech.2003.noonod.se/s10-p.htm>
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J. L. & Ruíz-Espinoza, F. H. (2010). Water stress in two capsicum species with different domestication grade. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 12: 353-360.
- Passioura, J.(2002). Soil conditions and plant growth. Plant. Cell. and Environment 25: 311- 318.
- Penichet, H., Cabrera, M., Pérez, C., Lago, E., Pérez, M. & Mendoza, M. (2006). Germinación de diferentes cultivares de frijol común (*Phaseolus Vulgaris* L.) bajo condiciones de sequía. Revista Agrotecnia de Cuba. Disponible en: www.actaf.co.cu/revistas/agrotecnia_05_2008/...1/DSEM57.pdf [consultada junio 2011].
- 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.
- Preciado-Rangel, P., Baca-Castillo, G., Tirado-Torres, T., Kohashi-Shibata, J., Tijerina-Chávez, L. & Martínez-Garza, A. (2003) Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. Terra 21: 461-470.
- Sánchez, A. B., Peña C. B., Trejo, C., Rogelio, J., Cárdenas, E. & Galicia, A. B. (2003). Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* l.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad. Interciencia 28: 596-603
- Sayar, R., Bchini, H., Mosbahi, M. & Exxine, M. (2010). Effects of salt and drought stresses on germination, emergence and seedling growth of Durum wheath (*Triticum durum* Desf). J. Agric. Res. 5:2008-2016.

Fecha de recepción: 02/12/2013

Fecha de aprobación: 25/03/2014

Revista Avanzada Científica Enero – Abril Vol. 17 No. 1 Año 2014



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).