

Tolerancia a la sequía de cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)AUTORES: Melba Cabrera Lejardi ¹Nelson León Nicolaus ²María Julia Mendoza ³

Fecha de recibido: 10 julio de 2011

Fecha de aceptado: 6 septiembre 2011

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: mcabrera@inifat.co.cu

RESUMEN

Los rendimientos del frijol común *Phaseolus vulgaris* L en Cuba, se caracteriza en los últimos años por ser bajos, de 0.6 t a 1,0 t / ha en el sector estatal y no estatal respectivamente. Dados fundamentalmente por una serie de factores, siendo uno de los más importantes la falta de cultivares con adaptación climática, es por esto que el objetivo de este trabajo es identificar variedades con tolerancia a la sequía a partir de líneas de avanzada del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) provenientes del Banco de Germoplasma y del Programa de Mejoramiento del INIFAT. Semillas de 26 variedades de frijol, puestas a germinar sobre papel de filtro en placas petri, utilizando 20 semillas por placa y tres réplicas. Un grupo de placas contenían solución de Polyethylene Glycol (PEG 6000) a distintas concentraciones (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24%), para simular las condiciones de sequía y el control con agua destilada. Se determinó el porcentaje de germinación y la Longitud de la Raíz y el Hipocótilo. Se realizó un análisis de componentes principales y conglomerados. Los resultados muestran que 17 de las variedades evaluadas se comportaron como tolerantes a la sequía, presentando mayor porcentaje de germinación y longitud de la raíz, caracteres de importancia en la tolerancia a la sequía. Se consideraron con tolerancia intermedia las variedades del grupo 2, por presentar valores algo más bajos. Las variedades menos tolerantes fueron las 6 del grupo 3 las cuales presentan los valores más bajos para todos los índices medidos.

PALABRAS CLAVE/ Sequía, frijol, tolerancia, germoplasma.

¹ Investigadora del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”

² Investigador del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”

³ Investigadora del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”

Drought tolerance of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars

ABSTRACT

The yield of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Cuba during the last year was not higher than 1.0 T/ha. One of the most important causes of this fact is there are not enough cultivars that are adapted to drought stress. The objective of this paper was the identification of drought tolerance cultivars among common beans accessions of INIFAT Gene Bank. Seed of twenty six common bean cultivars were germinated in petri dishes with solutions of different Polyethylene Glycol (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21% of PEG) concentrations, distilled water was used as control. The germination percentage, root and hypocotyls length were evaluated. The experimental data were analyzed by Analysis of Components Principal and Cluster. The results show that seventeen cultivars were identified as drought tolerant, six had a middle behavior and tree was susceptible.

KEYWORDS/ Drought, beans, tolerance, gene bank.

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo de pequeños agricultores en América Latina y África oriental y occidental, donde es a menudo cultivado en condiciones no favorables y con mínimos insumos (Beebe *et al.*, 2008). Es una fuente poco costosa de proteína y calorías para pequeños agricultores de países con pobreza endémica (Rao, 2002). Sus rendimientos se ven afectados por varias causas, entre las cuales la sequía puede generar pérdidas entre 10 y 100%.

En Cuba el frijol común ha sido cultivado tradicionalmente, encontrándose entre los cultivos económicos más importantes, sin embargo los rendimientos se han caracterizado en los últimos años por ser bajos, no sobrepasando el valor medio de 0.6 1 a 1,0 T / ha en el sector estatal y no estatal respectivamente (ONE.; 2009).

La agricultura demanda alrededor de 69% de todas las extracciones de agua en el mundo, mientras que esta cifra asciende a más de 80% en los países en desarrollo. Como el agua es un elemento esencial en la seguridad alimentaria, su carencia es una de las principales causas de hambrunas sub nutrición, especialmente en las zonas rurales donde la población depende de la agricultura local para obtener tanto alimentos como ingresos. Recientemente se estima que la sequía es la causante de 60% de las emergencias alimentarias (FAO, 2003).

En la mayoría de las zonas productoras de frijol los rendimientos potenciales nunca son alcanzados, esto se debe a que esta leguminosa se cultiva principalmente en condiciones ambientales poco favorables, como son la escasa y errática precipitación pluvial durante la estación de crecimiento, baste decir

que en América Latina el 60 % de los campos agrícolas sembrados con frijol común sufren de estrés hídrico o sequía en alguna etapa del desarrollo.

Obtener materiales de frijol tolerante a la sequía constituye una meta en muchas regiones del trópico, donde la escasez de agua limita la posible utilización de esa fuente de proteína, sin embargo no sólo es necesario identificar materiales que sean tolerantes a sequía sino también conocer los mecanismos que la determinan, para identificar la diversidad de condiciones que presenta la sequía en América Latina y el Caribe (Rao *et al*, 2006)

La investigación y el desarrollo de materiales vegetales adaptados a sequía es esencial para contribuir a la seguridad alimentaria de una población creciente que requiere incrementos significativos en la producción de alimentos

Teniendo en cuenta estos antecedentes es que nos propusimos en este trabajo identificar variedades con tolerancia a la sequía a partir de líneas de avanzada del frijol común *Phaseolus vulgaris* provenientes del Banco de Germoplasma y del Programa de Mejoramiento del INIFAT en un estado de desarrollo temprano.

MATERIALES Y METODOS.

Semillas de 26 variedades de frijol provenientes del Banco de Germoplasma del INIFAT, fueron puestas a germinar sobre papel de filtro en placas petri, utilizando 20 semillas por placa y tres réplicas. Un grupo de placas contenían solución de Polyethylene Glycol (PEG 6000) a distintas concentraciones (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21) para simular las condiciones de sequía y el control con agua destilada.

Según la fórmula descrita por Michel y Kaufmann (1973), se convirtieron los porcentajes de PEG 6000, en medidas de Potencial Osmótico (PO) en Mega Pascals (Mpa)

PEG 6000	PO (MPa)
3	-0,0241
6	-0,0657
9	-0,1247
12	-0,2012
15	-0,2952
18	-0,4066
21	-0,5355
24	-0,6819

Las variedades en estudio fueron:

- Grano negro: Testigo comercial: P 248-1 y CC 25-9 N. Milagro Villareño, Línea 58, Línea 23 y 24, P 456, P 2240, P 2173, P 2170, P1590, P1169, P2194, Bat 304, Triunfo -70.
- Grano rojo: Testigo comercial: CC 25- 9R Wacuto, P 186, P 219, P 2174, P 2258, Lágrima Roja, Rosa, Engañador.
- Grano blanco: Testigo comercial: CC 25-9 B Bat 93-1, Lewa, Pilon.

La Germinación (G) fue tomada cuando la radícula alcanza 3mm de longitud. Después de evaluada la germinación las plántulas se dejaron por 7 días más, bajo las mismas condiciones, experimentales, fueron removidas las plántulas de las placas y se midió: Longitud de la Raíz (LR) y del Hipocótilo (LH).

Se realizó un Análisis de Componentes Principales y Conglomerado (por el programa estadístico Statgraph), utilizando las tres variables estudiadas, los 26 genotipos y las concentraciones de PEG de 18 y 21%, que fueron las concentraciones donde las inhibiciones fueron más severas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El mejoramiento genético para la resistencia a la sequía del frijol común se ha basado en métodos tradicionales, que requieren la evaluación de numerosos genotipos para incrementar las probabilidades de identificar y seleccionar los de comportamiento superior en las condiciones de selección.

Durante años se ha tratado de establecer una metodología confiable para evaluar resistencia a la sequía así como para identificar características relacionadas con la adaptación a condiciones intermitentes de déficit hídrico que permitan la clasificación de genotipos de forma práctica y consistentes (Voyssest, 2000).

Tabla 1. Porcentaje de germinación de los genotipos en diferentes concentraciones de Polyethylene Glycol (PO en Mpa).

GENOTIPO	Concentración de PEG(%) y Potencial Osmótico en Mpa							
	Control 0	3 -0,02	6 -0.66	9 -0,124	12 -0,201	15 -0,295	18 -0,406	21 -0,535
BAT 93-1	100	100	100	100	100	100	87	67
PILON	100	100	100	100	100	95	83	83
LEWA	100	100	100	100	100	100	91	42
CC-25- 9B	100	100	100	100	100	95	42	13
P-219	100	100	100	100	100	95	63	54
CC- 25 -9R	100	100	100	100	100	95	70	59
P-186	100	100	100	100	100	95	87	71
P-2174	100	100	100	100	100	100	87	91
LAGRIM R	100	100	100	100	100	100	54	33
P-2258	100	100	100	100	100	95	95	91
ROSA	100	100	100	100	100	95	53	42
WACUTO	100	100	100	100	100	100	83	37
ENGAÑADOR	100	100	96	96	95	95	83	46
P-1590	100	100	100	100	100	100	75	54
P-1169	100	100	100	100	100	95	79	79
P-2240	100	100	100	100	100	100	87	54
L- 23 Y 24	100	100	96	95	95	92	83	37
LINEA 58	100	100	100	100	100	95	50	21
MILAGRO V	100	100	100	100	100	100	83	79
P-2194	100	100	100	100	100	100	91	50
BAT 304	100	100	100	100	100	100	75	75
P-2481	100	100	100	95	95	95	79	33
P-456	100	100	100	100	100	100	74	42
TRINFO -70	100	100	100	100	100	91	79	29
P-2170	100	100	100	100	100	84	42	13

P-2173	100	100	100	100	100	100	50	46
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

Una alternativa puede ser seleccionar material bajo condiciones de laboratorio o casa de cristal, usando semilleros como material de prueba. Algunas características fisiológicas de las plantas han sido reportadas como posibles indicadores confiables para la selección de germoplasma, poseyendo tolerancia a la sequía y al calor.

Estas características incluyen la germinación y el crecimiento del semillero en soluciones de bajo potencial osmótico y la tolerancia al calor medido por el grado de pérdida de electrolitos de las hojas dañadas por el calor después de ser expuestas a altas temperaturas (Singh, *et al*, 2001).

En la Tabla 1, se reflejan los porcentajes de germinación de los 26 genotipos en las diferentes condiciones de sequía, simuladas por el PEG, se puede observar que en el control se logró el 100% de germinación, lo que indica la buena calidad de las semillas, estos valores se mantienen prácticamente hasta las concentraciones de PEG de 12 y 15%.

A partir de aquí, en algunas variedades los valores disminuyen algo pero con pocas diferencias, hasta las concentraciones de 18 y 21%, para las cuales la afectación es mayor y es donde se manifiesta mejor la diferencia varietal, resultados similares fueron encontrados por Bradford, K.J. 1986; Del Giudice *et al*, 1999 ; Singh *et al* 2001 Nunes *et al*, 2004.

Con respecto a la longitud de la raíz y el hipocótilo podemos decir que, estos índices por el contrario de la germinación se ven afectados desde la concentración del 3% y los valores van disminuyendo a medida que aumenta las condiciones de estrés, como se muestra en la tabla 2.

Es de destacar que de los dos índices la longitud del hipocótilo se ve más afectada que la raíz, pero para ambos la afectación en 21% es muy severa, siendo en algunos casos prácticamente nula.

Tabla 2. Longitud del hipocótilo y la raíz de los genotipos en diferentes concentraciones de Poliehtylene Glycol (PO en Mpa).

	Concentración de PEG (%) y P. osmótico en Mpa													
	3 -0,024		6 -0,065		9 -0,124		12 -0,201		15 -0,295		18 -0,406		21 -0,535	
GENOTIPO	LH	LR	LH	LR	LH	LR	LH	LR	LH	LR	LH	LR	LH	LR
BAT 93-1	2.3	6.1	1.8	4.3	1.3	3.1	3.6	7	1.3	4.2	0.2	2.9	0	1.6
PILON	3.2	4	2.9	3.7	2.8	3.9	3.5	5.7	1.4	3.6	0.6	2.9	0.2	2.1
LEWA	4.5	5	3.5	4.9	3.2	6.4	4.3	5.2	1.6	4.1	0.1	1.9	0.1	0.9
CC25 9B	6	7.5	5.7	6.8	3.6	6.2	3.3	5.8	1.2	6.9	0.2	1.5	0	0.4
P-219	2.3	5.3	1.5	4.2	1.1	3.9	1.7	4.7	0.7	2.9	0.3	3.3	0.1	1.6
CC 25 9R	2.3	3.6	2	3.3	1.5	2.7	2.7	6.1	0.7	4.5	0	3.9	0	1.4
P-186	5.4	5	4	4.7	3.9	4.8	3.8	5.7	1.5	4.9	0.1	3.5	0.1	2.5
P-2174	4.5	7	5.4	8.3	4.7	7.1	3.2	4.7	1.4	3.6	0.0	3.6	0.1	2.8
LAGRIM R	1.4	3	1.8	2.6	1.5	2.6	1.2	3.2	0.6	2.7	0	0.8	0	0.4
P-2258	2.7	7.7	2.2	7.2	2.4	6.5	1.6	4.3	0.9	2.9	0	5.2	0	3.6
ROSA	2.1	5.3	2.2	5	1.9	4	1.9	3.4	0.9	6.4	0	2.3	0	1.1
WACUTO	2.5	4.4	1.7	3.7	2.6	5.8	2.5	6.8	1.1	5.1	0	2.2	0	1.2
BAT 93-C	3.8	3	3.3	3.2	3.4	4.8	2	2.6	1.9	3.5	0	2.7	0	2.4
P-1590	10.5	12.2	7.4	8.2	7.6	9.3	5.4	6.8	1.8	5.3	0	2.6	0	1.3
P-1169	2.6	3.7	2	3.3	1.2	2.7	2.3	3.8	0.8	4.9	0.1	3.1	0	1.8
P-2240	6.4	6.5	5.4	5	4.5	4.5	4.2	5.3	1.3	4.1	1.1	3.9	0.1	2.4
LINEA 23 Y 24	6.5	7.6	3.4	3.5	3.8	5.5	5.2	7.7	1,6	3	0.3	2.2	0	1.2
LINEA 58	3.8	3.6	4.2	4.6	3.8	4.4	3.3	4.9	1.7	4.9	0	2.0	0	0.9
MILAGRO V	5.9	7.3	5.3	6.4	4.2	6.3	4.7	7.8	1.3	4.3	0.21	4.3	0	3.0

P-2194	5.4	5.1	4.5	4.3	5.9	5.7	3.7	3.6	1.7	5.4	0.17	2.9	0	2.2
BAT 304	3.2	3.5	2.3	2.9	2.7	3.9	3	3.9	1.7	4	0.46	2.4	0	1.2
P-2481	4	7.5	4.6	7.6	7.4	6.5	4	7	1.5	4.9	0.46	4.5	0	2.3
P-456	4	5.5	5.2	7.4	5.4	7.7	5.2	8.2	1.3	5.8	0.33	2,0	0.3	1.5
TRINFO -70	4.3	4.1	4.5	5	3.3	3.4	10.8	5.8	1.3	2.2	0.18	2.5	0	1.1
P-2170	3.3	4.3	2.1	2.5	1.7	2.3	3.8	15	1.6	5.2	0	0.9	0	1.4
P-2173	7	10.2	6.3	10	5.9	9.5	4.3	7.2	1.9	7.5	0.2	1.2	0	1.6

En la Tabla 3, se muestra que de todos los componentes posibles a obtener se escogieron dos cuyos valores son mayores o igual a 1, en este caso el componente 1 y 2 acumulan el 75.83% de la variabilidad de los datos originales.

Tabla 3. Análisis de Componentes Principales.

Número Compon.	Valor Medio	Porcentaje Varianza	Porcentaje acumulativo
1	3.27406	54.568	54.568
2	1.27577	21.263	75.830
3	0.658964	10.983	86.813
4	0.40801	6.800	93.613
5	0.281212	4.687	98.300
6	0.10199	1.700	100.000

Las variables que tienen mayor contribución en el componente 1 son la germinación y el largo de la raíz en 18 y 21% de PEG, mientras que el largo del hipocótilo en 18 y 21 tienen una mayor contribución en el componente 2 (tabla 4).

Tabla 4. Valor de los Componentes.

	Componentes	
	1	2
G 18	0.449393	-0.0635905
G 21	0.473993	-0.0703638
LH 18	0.236299	0.6107483
LH 21	0.084636	0.7576572
LR 18	0.499387	-0.1744164
LR 21	0.510871	-0.1163025

La Figura 1, que representa la distribución espacial de las variables, muestra que en la parte positiva del componente 1 se agrupan la germinación y largo de la raíz para 18 y 21%, lo que quiere decir que hacia la derecha los valores de esas variables aumentan, en el caso del componente 2 caracterizado por la longitud del hipocotilo, nos muestra que hacia arriba los valores aumentan.

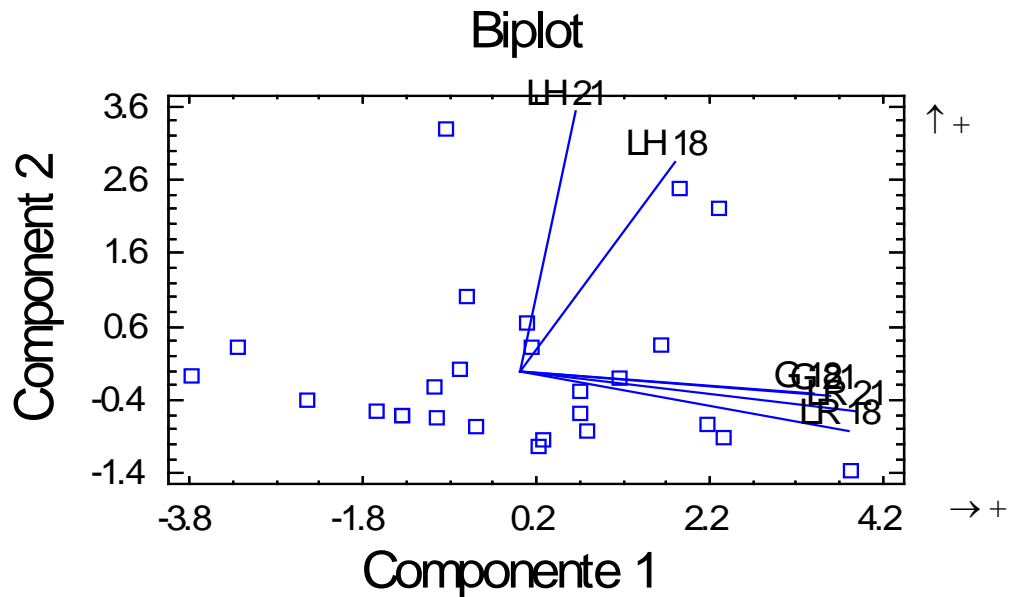


Figura 1. Distribución espacial de las variables en los dos ejes.

El análisis de Cluster realizado permite agrupar las variedades en dependencia de su respuesta a través de la germinación, longitud de la raíz y el hipocotilo, como se muestra a continuación en la tabla 5.

Tabla 5. Número y porcentaje de genotipos por cluster.

CLUSTER	MIEMBROS	PORCENTAJE
1	17	65.38
2	3	11.54
3	6	23.08

El procedimiento realizado ha creado tres cluster (figura 2) de las 26 observaciones analizadas, los clusters tiene los grupos de observaciones con similares características, el primero constituido por 17 miembros que representan el 65.68 porcentaje del total, el segundo esta constituido por 3 miembros para el 11.54 porcentaje y el tercero con 6 miembros y un 23.02 de porcentaje. En la figura 2 se muestra el dendrograma resultante.

En la Tabla 6, se pone de manifiesto que los genotipos que están en el cluster 1 tienen mayor germinación y longitud de la raíz, para ambas concentraciones, los que están en el grupo 2 tienen valores mas bajos en la germinación y la longitud de la raíz, sin embargo presentan valores superiores de la longitud del hipocótilo, el grupo 3 presenta los valores mas bajos para todos los índices.

Tabla 6. Valores medios por variable y grupo.

CLUSTER	G₁₈	G₂₁	LR₁₈	LR₂₁	LH₁₈	LH₂₁
1	81.7647	58.4706	3.19647	1.86588	0.175882	0.0229412
2	74.6667	59.6667	2.94667	1.06667	0.706667	0.206667
3	47.83	30.16	1.84	0.996	0.035	0.0

G (Germinación), LH (Longitud Hipocótilo), LR (Longitud Raíz).

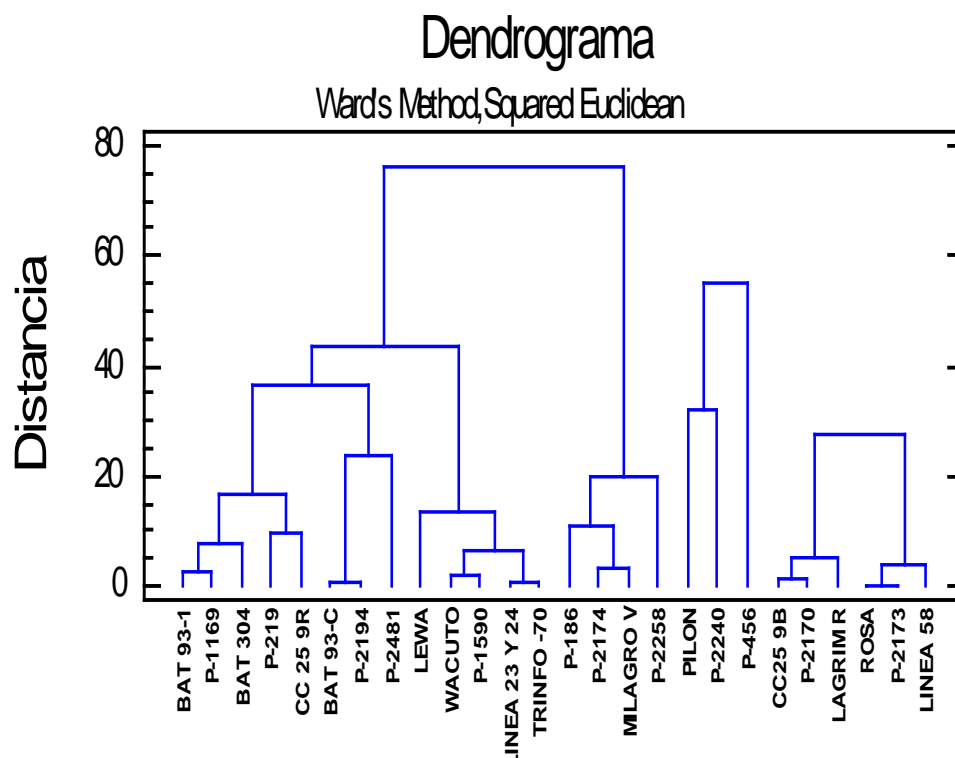


Figura 2. Dendrograma resultante del Análisis de Cluster

De estos resultados se puede inferir que, los genotipos que se encuentran en el primer cluster (Tabla 6) tienen en un estado de desarrollo temprano mayor tolerancia a la sequía, resulta de gran importancia que las variedades sean capaces de desarrollar sistemas radiculares mayores bajo condiciones de estrés hídrico, ya que esto le proporciona la habilidad de penetrar en el suelo y absorber con mayor facilidad el agua y los nutrientes, lo cual debe tener posteriormente, una repercusión favorable en los rendimientos.

Las raíces son importantes para mantener la absorción de agua en suelos secos como característica de adaptación (Turner, 1979; Huang y Gao, 2000). Raíces profundas y la extensión de estas en la profundidad del suelo son fundamentales para el comportamiento de los cultivos en limitaciones de suministro de agua si existe agua disponible en perfiles profundos del suelo (Sponchiado *et al.*, 1989; Blum, 2002).

Tabla 6. Distribución de los genotipos por cluster

GENOTIPO	Cluster
BAT 93-1	1
LEWA	1
P-219	1
CC 25 9R	1
P-186	1
P-2174	1
P-2258	1
WACUTO	1
BAT 93-C	1
P-1590	1
P-1169	1
LINEA 23 Y 24	1
MILAGRO V	1
P-2194	1
BAT 304	1
P-2481	1
TRIUNFO-70	1
PILON	2
P-456	2
P-2240	2
CC25 9B	3
LÁGRIMA ROJA	3
ROSA	3

LÍNEA-58	3
P-2173	3
P-2170	3

Ho *et al.* (2005) sugieren que un superficial y abundante sistema radical es mas efectivo en la absorción de nutrientes en los primeros 20 cm del suelo donde los nutrientes están concentrados, mientras que raíces profundas favorecen la adquisición de agua y la resistencia a sequía.

La producción de raíces finas puede ser una estrategia para permitir la adquisición de agua y la entrada de minerales cuando el agua en el suelo es limitada.

Resultados obtenidos por otros investigadores que reportan a BAT 477 como resistente a sequía y que posee la habilidad de raíces profundas con gran eficiencia de absorción de agua (Polaina *et al.*, 2009).

Varias investigaciones han concluido que el sistema radicular es un rasgo importante en la resistencia a la sequía. White y Castillo (1992) exponen que en frijol común las diferencias en redimiendo están determinadas por el sistema de raíces. Sponchiado *et al.* (1989) encontraron que grandes producciones de raíces se asocian a mayor tolerancia a sequía en frijol común, sugiriendo una evasión a la sequía debida al incremento de la extracción de agua del suelo.

La tolerancia a estrés por sequía ha sido asociada a mayor capacidad para extraer agua del suelo. Una mayor capacidad para profundizar raíces en el perfil del suelo puede proveer a un genotipo una mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico (White y Castillo, 1989)

Los genotipos que están en el grupo 2 los podemos considerar intermedios y los que están en el tercer grupo susceptibles, de forma general la mayor parte de los genotipos analizados presentan tolerancia a las condiciones de estrés hídrico.

CONCLUSIONES.

Diecisiete de las variedades evaluadas se comportaron como tolerantes a la sequía, presentando mayor porcentaje de germinación y longitud de la raíz, caracteres de importancia en la tolerancia a la sequía.

Se consideraron con tolerancia intermedia las variedades del grupo 2, por presentar valores algo más bajos en la germinación y la longitud de la raíz, aunque presentan valores superiores de la longitud del hipocótilo.

Las variedades menos tolerantes fueron las 6 del grupo 3 las cuales presentan los valores más bajos para todos los índices medidos.

Los índices medidos permitieron ver la diferencia varietal que existe en el germoplasma evaluado ante la sequía.

BIBLIOGRAFIA.

- Beebe, S., I.M. Rao, C. Cajiao y M. Grajales. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Sci.* 48, 582-592.
- Blum, A. (2002). Drought tolerance - is it a complex trait? pp. 17-22. En: Saxena, N.P. y J.C. O'Toole (eds.). *Field screening for drought tolerance in crop plants with emphasis on rice*. Proc. International Workshop on Field Screening for Drought Tolerance in Rice, 11-14 Dic. 2000. ICRISAT, Patancheru y Rockefeller Foundation, New York, NY.
- Ho, M.D., J.C. Rosas, K.M. Brown y J.P. Lynch. (2005). Root architecture tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Funct. Plant Biol.* 32, 737-748. Huang, B. y J.D. Fry. 1998. Root anatomical
- Huang, B. y H. GAO. (2000). Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Sci.* 40, 196-203. Kang, J.H. y G.E. Bringk. 1995
- Braccini, A.L.; Reis, M.S.; Sedyama, C.S.; Rocha, V.S.; Sedyama, T. (1997) Efeito do condicionamento osmótico na germinação e no vigor de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes, Brasília*, v.19, n.1, p.71-7.
- Bradford, K.J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience, Alexandria*, v.21, n.5, p.1105-1112. 35-444.
- Del Giúdice, M.P.; Reis, M.S.; Sedyama, C.S.; Sedyama, T.; Mosquim, P.R. (1999). Efeito do condicionamento osmótico na germinação de sementes de dois cultivares de soja. *Revista Ceres Viçosa*, v.46, n.266, p.4
- FAO. (2003). Estadística anual 2003. En http://www.fao.org/waicent/portal/statistics_es.asp; consulta: 12 de febrero de 2009.
- Michel B.E. and Kaufmann M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 51:914, 1973.
- Nunes, U.R.; Reis, M.S.; del Giúdice, M.P.; Sedyama, C.S.; Sedyama, t. (2004). Embebição e qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas ao condicionamento osmótico e condicionamento seguido de secagem. *Revista Ceres Viçosa*, v.51, n.293, p.1-18.
- Polaina J. A. , Idupulapati M. Rao, Beebe , S y García R. , (2009). Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en frijol común (*Phaseolus*

- vulgaris L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agronomía Colombiana* 27(1), 25-32
- Rao, I.M. (2002). Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: The case of common bean and tropical forages. pp. 583-613. En: Pessarakli, M. (ed.). *Handbook of plant and crop physiology*. Marcel Dekker, New York, NY.
- Rao, I.M., S. Beebe, J. Polania, M.A. Grajales y R. Garcia. (2006). Differences in drought resistance of advances lines developed for the last 3 decades. pp. 2-6. En: Project IP-1: Bean improvement for the tropics. CIAT Annual report 2006. CIAT, Cali, Colombia
- Voyset, O. (2000). *Mejoramiento Genético del Frijol (Phaseolus vulgaris L.): Legado de Variedades de América Latina 1930- (1999)/ Osvaldo Voysest Voysest*. Cali, Valle, Colombia:Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Singh, S.P., H. Teran y J.A. Gutiérrez. (2001). Drought tolerant dry bean germoplasm. *Crop Sci.* 41, 276-277.
- Sponchiado, B., J. White, J. Castillo y P. Jones. (1989). Root growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. *Exp. Agric.* 25, 249-257.