

EVALUACIÓN DE DIFERENTES ÍNDICES DE TOLERANCIA A LA SEQUÍA BASADO EN ANÁLISIS MULTIVARIADOS

Evaluation of different indices tolerance to drought based on multivariate analysis

Tony Boicet Fabre✉, **Michel Baldaquín Hernández,**
Ana D. Boudet Antomarchi, Yanitza Merino Hernández,
Alejandro Alarcón Zayas y Wilmer Almarales Frías

ABSTRACT. Under two different irrigation conditions, yield of ten Cubans cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.), were evaluated with the objective of evaluating different drought tolerance indices based on multivariate analysis in such a way that contribute to the interpretation of its effectiveness to discriminate tolerance variety to drought. The experimental design was completely randomized and four replications, grain yield under drought and irrigated conditions was evaluated and used to calculate stress indices: tolerance indice (TOL), stress susceptibility indice (SSI), geometric mean production (MPG), mean production (MP), stress tolerance indice (STI), drought resistance indice (DI), relative drought indice (RDI), sensitivity drought indice (SDI) and abiotic tolerance indice (ATI), principal component, cluster, correlation and descriptive analysis between grain yield in both conditions were calculated. In this study softly demonstrated that each indice contribute to identify variety with drought tolerance, and multivariate analysis contribute to interpreter of indices effectiveness, and it is advisable to combine the multivariate analysis and use several indices, due to difference in occasion of the results obtained in the discrimination of variety to drought.

Key words: cultivars, bean, *Phaseolus vulgaris* L., grain yield, drought response

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar diferentes índices de tolerancia a la sequía mediante análisis multivariado para contribuir a la interpretación de la efectividad de estos índices en discriminar variedades tolerantes a la sequía, se evaluó el rendimiento de diez cultivares cubanos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), bajo dos regímenes de riego. El experimento se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y en la cosecha, los rendimientos de ambos tratamientos de riego se utilizaron para el cálculo de los índices de estrés: índice de tolerancia (TOL), índice de susceptibilidad a la sequía (SSI), productividad geométrica media (MPG), productividad media (MP), índice de tolerancia a la sequía (STI), índice de resistencia a la sequía (DI), índice relativo de sequía (RDI), índice de sensibilidad a la sequía (SDI), e índice de tolerancia abiótica (ATI), a los que se le realizaron análisis de componentes principales, de clúster, correlación y descriptivos. Se demostró que cada índice contribuye a identificar variedades tolerantes a la sequía, y el análisis multivariado aplicado a los mismos, contribuye a la interpretación de su efectividad, pero es recomendable, por las diferencias observadas en ocasiones en los resultados obtenidos en la discriminación de las variedades con los índices utilizados, combinar los análisis estadísticos multivariados, además de utilizar en el estudio, varios de estos índices de tolerancia.

Palabras clave: cultivares, frijol, *Phaseolus vulgaris*, rendimiento, respuestas a sequía

INTRODUCCIÓN

Conocer las respuestas de las plantas a la sequía, además de importante, es fundamental para entender su tolerancia a este fenómeno (1); de ahí que la selección de cultivos tolerantes a la sequía sea una de las principales tareas para los mejoradores de plantas (2).

Universidad de Granma. Carretera a Manzanillo Km 17 1/2 Bayamo, Granma. Código postal 85 100
✉ tboicetf@udg.co.cu

En ocasiones, al no existir criterios auxiliares para la evaluación y selección de cultivares tolerantes a la sequía en condiciones de campo, se recurre al uso de índices de selección (3).

Varios de estos índices han sido propuestos, basados en relaciones matemáticas a partir de las diferencias del rendimiento en condiciones estresantes y no estresantes (4), y se utilizan en muchos estudios para seleccionar genotipos acordes a sus resultados en ambientes contrastantes de humedad (1,5).

Para evaluar estos índices y obtener mayor efectividad en la selección de genotipos tolerantes a la sequía, se utilizan diferentes procedimientos estadísticos (6), fundamentalmente multivariados, como análisis de componentes principales (4,7-10) análisis de correlación de los índices utilizados con el rendimiento obtenido en las condiciones estresantes y no estresantes (11,12), análisis de clúster (13,14), y también estadística descriptiva (11), mediante el método de ranking (13,15).

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar diferentes índices de tolerancia a la sequía mediante análisis multivariado, para contribuir a la interpretación de la efectividad de estos índices en discriminar variedades tolerantes a la sequía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar el objetivo propuesto se analizaron los resultados de un experimento de campo realizado para evaluar la respuesta de diez cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Tabla I) a dos condiciones de humedad en el suelo durante la campaña 2012/2013, en la localidad de Río Cauto en la provincia Granma sobre un suelo Fluvisol poco diferenciado, según la Clasificación de los Suelos de Cuba (16).

Tabla I. Cultivares utilizadas

No	Cultivares	País de origen	Color del grano
1	Velasco Largo	Cuba	Rojo
2	CC 25-9R	Cuba	Rojo
3	Delicias 364	Cuba	Rojo
4	P-219	Cuba	Rojo
5	CC 25-9N	Cuba	Negro
6	Holguín-519	Cuba	Negro
7	Pilón	Cuba	Blanco
8	Bonita 11	Cuba	Blanco
9	P 127	Cuba	Crema
10	P3047	Cuba	Crema

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y dos tratamientos de riego. En uno de los tratamientos se aplicaron los riegos considerando los requerimientos hídricos del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (tratamiento sin déficit hídrico) (17) y en el otro se aplicaron los riegos solo hasta la prefloración (tratamiento de sequía terminal). La entrega del agua a las plantas se realizó mediante la técnica de riego por aspersión.

Cada parcela experimental estuvo compuesta por cuatro surcos de cuatro metros de longitud cada uno, con una distancia entre plantas de 0,70 x 0,15 m. En cada parcela los rendimientos de ambos tratamientos fueron obtenidos de los dos surcos centrales en un metro de longitud.

Para evaluar la tolerancia a la sequía fueron utilizados los siguientes índices (según sus siglas en inglés):

$$\text{Índice de tolerancia } TOL = Rr - Rs \quad (18)$$

$$\text{Índice de susceptibilidad a la sequía}$$

$$SSI = 1 - (Rs/Rr)/1 - (\bar{Rs} - \bar{Rr}) \quad (19)$$

$$\text{Productividad media geométrica } MPG = \sqrt{Rs * Rr} \quad (3)$$

$$\text{Productividad media } MP = (Rs + Rr)/2 \quad (19)$$

$$\text{Índice de tolerancia a la sequía } STI = Rs * Rr / \bar{Rr}^2 \quad (3)$$

$$\text{Índice de resistencia a la sequía } DI = Rs * [(Rs/Rr)/\bar{Rs}] \quad (3)$$

$$\text{Índice relativo de sequía } RDI = (Rs/Rr)/(\bar{Rs} / \bar{Rr}) \quad (19)$$

$$\text{Índice de sensibilidad a la sequía } SDI = Rr - Rs/Rr \quad (1)$$

$$\text{Índice de tolerancia abiótica}$$

$$ATI = [(Rr - Rs)/(\bar{Rr}/\bar{Rs})] * (\sqrt{\bar{Rr} * \bar{Rs}}) \quad (5)$$

En las fórmulas anteriores Rr , Rs , $(Rr)^{-}$ y $(Rs)^{-}$ representan el rendimiento en condiciones de riego y sequía para cada cultivar y el rendimiento promedio en riego y sequía para todas las cultivares respectivamente.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Con los resultados obtenidos se llevaron a cabo los siguientes análisis estadísticos: para los índices evaluados y el rendimiento en ambas condiciones de humedad de todos los cultivares, un análisis de correlación mediante el coeficiente de correlación simple de Pearson, utilizando el paquete estadístico SPSS versión 22.0, así como un análisis de componentes principales mediante el paquete estadístico STATGRAHICS centurión XV. También un análisis de clúster mediante el cuadrado de distancias euclidianas y el método de mínima varianza de Ward, con el paquete estadístico STATISTICA versión 10.0.

También fue utilizado el método de ranking, calculado por la siguiente relación:

$$RS = (R) + (SDR) \quad (20)$$

donde:

RS es la suma del rango u orden de todos los índices en cada cultivar.

R es el rango u orden promedio de todos los índices de un cultivar, obtenidos del orden de cada índice a través de iguales índices de todos los cultivares.

SDR es la desviación estándar de rangos u orden de los índices y calculada según la fórmula:

$$SDR = \sqrt{Si^2} = \frac{\sum_{i=1}^m (Rij - \bar{Ri})^2}{n - 1}$$

Donde Rij es el rango u orden de los índices y es el promedio de los rangos u orden de todos los índices para el cultivar.

Los rangos u orden fueron asignados a cada cultivar para cada índice de tolerancia. Un cultivar con mayores valores de cada uno de los criterios Rr, Rs, STI, MPG, MP, YSI, RDI y DI, recibieron un rango u orden de 1, mientras los cultivares con menores valores de cada uno de los índices SSI, TOL, SDI y ATI, recibieron un rango u orden de 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de los resultados de todos los índices calculados, se observó que cada uno de estos índices caracterizaron a los cultivares estudiados de forma diferente. De acuerdo a estos resultados, MPG, MP y STI identificaron a los cultivares Velasco largo, CC 25-N y Holguín 519 como los más tolerantes, y a los cultivares Pílon, Bonita 11 y P1127, los menos tolerantes (Tabla II).

Basado en los índices SSI, TOL, SDI y ATI, los cultivares más tolerantes fueron, Holguín 519, Pílon y P-219, y los menos tolerantes CC 25-9R, Bonita 11 y P 1127.

Para el índice RDI los más tolerantes resultaron ser, Holguín 519, Pílon y CC 25-9N; y CC 25 -9R con Bonita 11 y P1127 los más susceptibles. El índice DI caracterizó como más tolerantes a los cultivares Holguín 519, Velasco largo y CC 25-9N, y los más susceptibles a CC 25 -9R, Bonita 11 y P1127.

Los resultados de este análisis indican que los índices difieren en la discriminación de los cultivares en su tolerancia a la sequía, por lo que identificar cultivares tolerantes a la sequía basados en un solo índice como criterio no es aconsejable (7, 10), y pudiera no ser efectivo.

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Para determinar los índices más efectivos en la selección de los cultivares en las diferentes condiciones de humedad, el análisis de correlación entre el rendimiento bajo las dos condiciones de humedad con todos los índices, resulta útil y puede ser calculado (4).

En este experimento se observó que existieron correlaciones positivas y significativas entre el rendimiento bajo riego con los índices MGP, MP, STI, DI, y ATI, y el rendimiento en sequía con MPG, MP, STI, RDI y DI, revelando que estos, según el análisis fueron los índices más apropiados, para seleccionar cultivares en las condiciones de humedad del estudio realizado (Tabla III).

El análisis de correlación es muy útil para encontrar el grado total de asociación entre todas las características estudiadas, por lo que, unido al resultado diferente que se obtiene, en ocasiones, entre los índices utilizados en discriminar a los cultivos respecto a su tolerancia a la sequía (Tabla II), es conveniente, realizar un análisis de este tipo entre el rendimiento y los diferentes índices, en ambas condiciones de humedad (11, 21).

Tabla II. Rendimiento promedio (t ha⁻¹) en ambas condiciones de humedad en el suelo y los diferentes índices de tolerancia utilizados

Cultivares	Rr	Rs	MPG	MP	STI	SSI	TOL	SDI	RDI	DI	ATI
Velasco Largo	2,22	1,75	1,97	1,99	1,31	0,93	0,47	0,21	1,02	1,04	0,72
CC 25-9R	1,86	1,39	1,61	1,63	0,87	1,11	0,47	0,25	0,97	0,78	0,58
Delicias 364	1,67	1,27	1,46	1,47	0,71	1,05	0,40	0,24	0,99	0,73	0,45
P-219	1,55	1,27	1,40	1,41	0,66	0,79	0,28	0,18	1,06	0,78	0,30
CC 25-9N	1,81	1,44	1,61	1,63	0,88	0,90	0,37	0,20	1,03	0,86	0,46
Holguín-519	1,83	1,66	1,74	1,75	1,02	0,41	0,17	0,09	1,17	1,13	0,23
Pílon	1,57	1,34	1,45	1,46	0,71	0,64	0,23	0,15	1,10	0,86	0,26
Bonita 11	1,53	1,01	1,24	1,27	0,52	1,49	0,52	0,34	0,86	0,50	0,50
P 1127	1,56	0,95	1,22	1,26	0,50	1,72	0,61	0,39	0,79	0,43	0,57
P3047	1,65	1,24	1,43	1,45	0,69	1,09	0,41	0,25	0,97	0,70	0,45
Promedio	1,73	1,33									

Rr=Rendimiento con riego (t ha⁻¹); Rs=Rendimiento en sequía (t ha⁻¹); MPG=Productividad media geométrica; PM=Productividad media; ITS=Índice de tolerancia a la sequía; ISS=Índice de susceptibilidad a la sequía; Tol=Tolerancia; SDI=Índice de sensibilidad a la sequía; RDI=Índice relativo de sequía; DI=Índice de resistencia a la sequía; ATI=Índice de tolerancia abiótica

Tabla III. Coeficientes de correlación entre el rendimiento y los índices de tolerancia a la sequía

	Rr	Rs	MPG	MP	STI	SSI	TOL	SDI	RDI	DI	ATI
Rr	1										
Rs	0,863**	1									
MGP	0,950**	0,978**	1								
MP	0,962**	0,968**	0,999**	1							
STI	0,959**	0,966**	0,997**	0,998**	1						
SSI	-0,271	-0,720*	-0,559	-0,524	-0,524	1					
TOL	0,121	-0,398	-0,196	-0,155	-0,157	0,920**	1				
SDI	-0,237	-0,694*	-0,529	-0,493	-0,494	0,999**	0,932**	1			
RDI	0,266	0,716*	0,554	0,519	0,519	-1,000**	-0,922**	-0,999**	1		
DI	0,708*	0,967**	0,892**	0,873**	0,873**	0,-865**	-0,614	-0,846**	0,863**	1	
ATI	0,602	0,124	0,329	0,367	0,366	0,576	0,848**	0,601	-0,581	-0,131	1

Rr=Rendimiento con riego (t ha⁻¹); Rs=Rendimiento en sequía (t ha⁻¹); MPG=Productividad media geométrica; PM=Productividad media; ITS=Índice de tolerancia a la sequía; ISS=Índice de susceptibilidad a la sequía; Tol=Tolerancia; SDI=Índice de sensibilidad a la sequía; RDI=Índice relativo de sequía; DI=Índice de resistencia a la sequía; ATI=Índice de tolerancia abiótica.
** La correlación es significativa en el nivel 0,01 *. La correlación es significativa en el nivel 0,05

En resumen, el análisis de correlación entre el rendimiento y los índices de tolerancia puede ser un buen criterio para discriminar el o los mejores cultivares, así como los índices más apropiados para un ambiente determinado. (6,13)

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Este análisis resulta ser una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión. Su propósito en este estudio, es obtener un menor número de combinaciones lineales de las 11 variables estudiadas, que mejor expliquen la variabilidad de los datos.

El análisis de componentes principales de los índices de tolerancia utilizados (Tabla IV), mostró que la mayor parte de la variabilidad estuvo asociada a las dos primeras componentes. Estas aportaron en conjunto un 99,64 % de la varianza total del ensayo, es decir, 11 índices fueron reducidos a dos componentes. Mediante su combinación se puede seleccionar el cultivar idóneo para ambientes con y sin sequía (22).

Las variables que aportaron una mayor variación positiva al componente principal 1 fueron Rr, Rs, MPG, MP, STI, RDI y DI. Este componente estuvo relacionado con el rendimiento potencial y la tolerancia a la sequía. En el componente 2 los índices más efectivos fueron Rr, TOL y ATI, por lo que el mismo estuvo asociado al rendimiento bajo estrés y la tolerancia a la sequía.

Una representación bidimensional (biplot) de los índices de tolerancia y la distribución espacial de las líneas en las dos primeras componentes, es mostrada en la Figura 1. Esta permite una mejor interpretación de los resultados explicados anteriormente, ya que son comparados simultáneamente todos los atributos.

Tabla IV. Componentes principales de los índices de tolerancia utilizados

Índices tolerancia	Componentes	
	1	2
Rr	0,25	0,39
Rs	0,35	0,12
MPG	0,32	0,24
MP	0,31	0,25
STI	0,31	0,26
SSI	-0,32	0,25
TOL	-0,25	0,39
SDI	-0,32	0,24
RDI	0,32	-0,24
DI	0,35	-0,01
ATI	-0,08	0,53
Valores propios	7,73	3,23
Contribución a la variación total	70,27	29,38
% de acumulado	70,27	99,66

En la Figura 1 se observa que los índices DI, Rs, MPG, MP, STI y Rs estuvieron positivamente asociados, también positiva asociación existió entre los índices SSI SDI y TOL, evidenciado por el ángulo existente entre ellos. Con relación a los cultivares, de acuerdo a este análisis, resultaron ser los cultivares Holguín 519, CC 25-9N, los más tolerantes. Según investigaciones realizadas (23), aquellos genotipos con altos PC1 y bajos PC2, son los más recomendados para ser utilizados en condiciones de estrés.

ANÁLISIS DE CLÚSTER

Este análisis constituye una técnica multivariada que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo formado, y las mayores diferencias entre estos grupos.

Lo anterior lo hace idóneo para clasificar los cultivares en estudio, de acuerdo a su tolerancia a la sequía, según clasificación de Fernández (4).

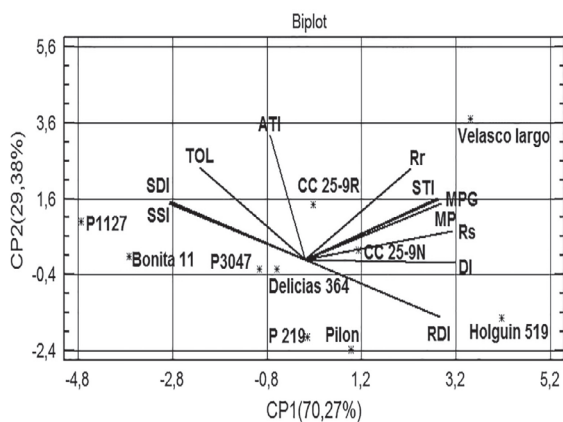


Figura 1. Biplot de la primera y segunda componente para los índices de tolerancia a la sequía

En la Figura 2, basado en los índices de tolerancia a la sequía, en ambas condiciones de humedad (con y sin estrés) y el rendimiento, se conformaron tres grupos con 2, 6 y 2 cultivares respectivamente. El primer grupo unió a las cultivares con más altos rendimientos en las dos condiciones, e índices de tolerancias como MPG, MP, STI y DI. Resultaron ser estos cultivares los más tolerantes.

Las cultivares del segundo grupo tuvieron relativamente menor rendimiento en la condición de estrés y fueron consideradas tolerantes. El tercer grupo incluyó aquellos cultivares con los valores más bajos en rendimiento en ambas condiciones de humedad, así como bajos valores en MPG, MP, STI y DI, por tal motivo fueron las menos tolerantes. El análisis de Clúster es muy utilizado en la mayoría de los estudios para clasificar genotipos de diferentes cultivos con relación a su respuesta a la sequía.

MÉTODO DEL RANKING

Este método, es usado por muchos investigadores para tener un criterio más amplio y determinar los cultivares más tolerantes a la sequía, de acuerdo al rango medio, suma de rango y la desviación estándar de todos los índices. En este análisis resultan más tolerantes aquellos cultivares con bajos valores de desviación estándar y menor rango promedio, es decir, más bajo valor de la suma de rangos.

De acuerdo a este método de análisis de las respuestas de los cultivos a la sequía, Holguín-519 y CC 25-9N resultaron ser los cultivares más tolerantes; diferentes respuestas de acuerdo a este análisis, dieron los cultivares Bonita 11 y P 1127, que fueron identificadas como las más susceptibles a la sequía. Este método ha sido utilizado por otros investigadores para similar análisis (10,13,14), aunque con otros cultivos.

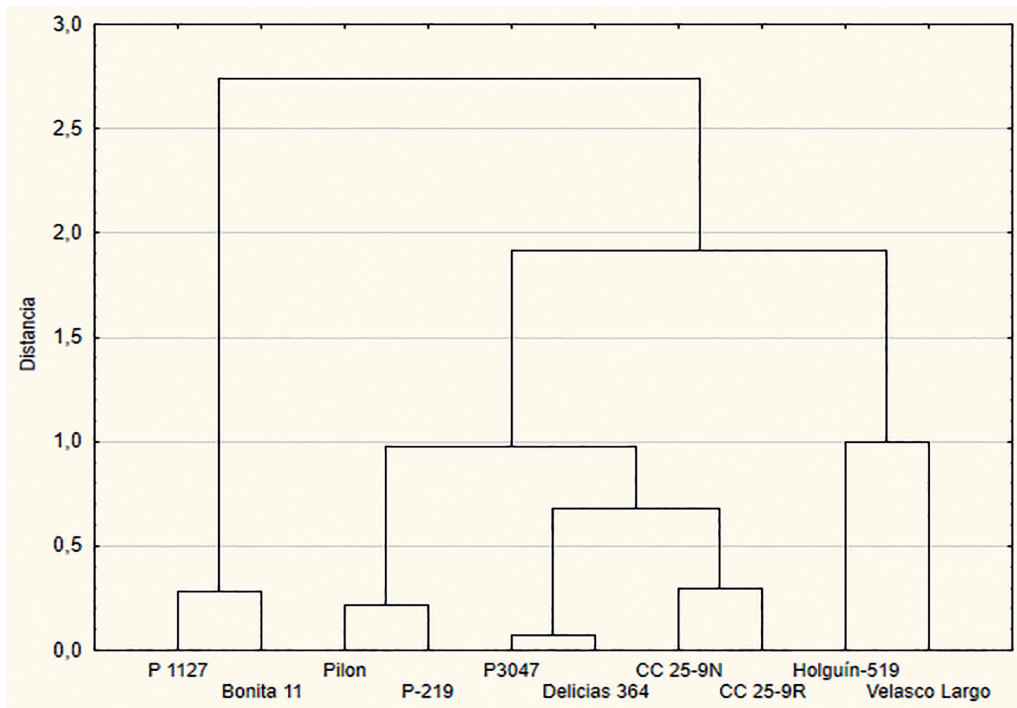


Figura 2. Dendrograma aplicando el método de Ward en la clasificación de los cultivares basados en los índices de tolerancia

Tabla V. Rango promedio, desviación standard y suma de rangos de los índices de tolerancia

Cultivares	Rr	Rs	MPG	MP	STI	SSI	TOL	SDI	RDI	DI	ATI	SDR	R	RS
Velasco Largo	1	1	1	1	1	5	8	5	5	2	10	3,6	3,2	6,8
CC 25-9R	2	4	4	3,5	4	8	7	8	8	5,5	9	5,7	2,3	8,0
Delicias 364	5	6,5	5	4	5	6	5	6	6	6	4	5,3	0,8	6,2
P-219	9	6,5	7	6	8	3	3	3	3	5,5	3	5,2	2,3	7,5
CC 25-9N	4	3	3	3,5	3	4	4	4	4	3	6	3,8	0,9	4,6
Holguín-519	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1,5	0,7	2,2
Pilón	7	5	9	9	6	2	2	2	2	4	2	4,5	2,8	7,4
Bonita 11	10	8	8	7	9	9	9	9	8	8	7	8,4	0,9	9,3
P 1127	8	9	10	8	10	10	10	10	9	9	8	9,2	0,9	10,1
P3047	6	7	6	5	7	7	6	7	8	7	5	6,4	0,9	7,3

Rr=Rendimiento con riego (t ha⁻¹); Rs=Rendimiento en sequía (t ha⁻¹); MPG=Productividad media geométrica; MP=Productividad media; ITS=Índice de tolerancia a la sequía; ISS=Índice de susceptibilidad a la sequía; Tol=Tolerancia; SDI=Índice de sensibilidad a la sequía; RDI=Índice relativo de sequía; DI=Índice de resistencia a la sequía; ATI=Índice de tolerancia abiótica; SDR=Desviación estándar; R=Rango promedios; RS=suma de rangos

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que cada índice permite identificar variedades tolerantes a la sequía y el análisis multivariado aplicado a los mismos, contribuye a la interpretación de la efectividad de estos índices en la discriminación de cultivares tolerantes a la sequía, aunque es recomendable, por las diferencias observadas en los resultados obtenidos en la discriminación de las variedades, combinar los análisis estadísticos multivariados y utilizar en el estudio varios de estos índices de tolerancia.

BIBLIOGRAFÍA

- Farshadfar E, Mohammadi R, Farshadfar M, Dabiri S. Relationships and repeatability of drought tolerance indices in wheat-rye disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science*. 2013;7(1):130.
- Dehbalaei S, Farshadfar E, Farshadfar M. Assessment of drought tolerance in bread wheat genotypes based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2013;5(20):2352-8.
- Fernandez George CJ. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. En: ed. Kuo C.G. *Proceedings of the International Symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress*. Asian vegetable research and Development Center; 1992. 257-270 p.
- Khan FU, Mohammad F. Application of stress selection indices for assessment of nitrogen tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *JAPS, Journal of Animal and Plant Sciences*. 2016;26(1):201-10.
- Mousavi S.s, Yazdi Samadi B, Naghavi M.r, Zali A.a, Dashti H, Pourshahbazi A. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*. 2008;12(2):165-78.
- Ashraf A, El-Mohsen A, Abd El-Shafi MA, Gheith EMS, Suleiman HS. Using different statistical procedures for evaluating drought tolerance indices of bread wheat genotypes. *Advance in Agriculture and Biology*. 2015;4(1): 19-30. doi:10.15192/PSCP.AAB.201 5.4.1.1930
- Cyril A, Elick G, Birte K. Screening sweetpotato (*Ipomoea batatas*) genotypes under soil moisture. *Archives of Applied Science Research*. 2015;7(11):23-9.
- Subhani GM, Abdullah, Ahmad J, Anwar J, Hussain M, Mahmood A. Identification of drought tolerant genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) through stress tolerance indices. *JAPS, Journal of Animal and Plant Sciences*. 2015;25(3):686-92.
- Mohammad MMS, Ali RH, Mohseni M, Nabavi T. Assessment of wheat yield response to water shortage using various tolerance indices. *Philipp agric scientist*. 2015;98(3):262-269.
- Farshadfar E, Jamshidi B, Aghae M. Biplot analysis of drought tolerance indicators in bread wheat landraces of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2012;4(5):226-33.
- Sahar B, Ahmed B, Naserelhaq N, Mohammed J, Hassan O. Efficiency of selection indices in screening bread wheat lines combining drought tolerance and high yield potential. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2016;8(5):72-86. doi:10.5897/JPBCS2016.0561
- Esmailpour A, Van Labeke M-C, Samson R, Ghaffaripour S, Van Damme P. Comparison of biomass production-based drought tolerance indices of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings in drought stress conditions. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 2015;7(2):36-44
- Khalili M, Naghavi MR, Aboughadareh AP, Talebzadeh SJ. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science*. 2012;4(11):78-85. doi:10.5539/jas.v4n11p78
- Noorifarjam S, Farshadfar E, Saeidi M. Evaluation of drought tolerant genotypes in bread wheat using yield based screening techniques. *European Journal of Experimental Biology*. 2013;3(1):138-43.

15. Moradi Z, Farshadfar E, Shirvani H. Screening of Drought Tolerant genotypes in Bread Wheat (*Triticum aestivum*) using Morpho-physiological Traits and Integrated Selection Index. Biological Forum. An International Journal. 2015;7(1):163-72.
16. Hernández A, Pérez J, Castro N, Bosch D. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA; 2015. 91 p.
17. Faure Á, Benítez R, León N, Chaveco O, Rodríguez O. Guía técnica para el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). La Habana, Cuba: Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales; 2013.
18. Rosielle AA, Hamblin J. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment 1. Crop Science. 1981;21(6):943-6. doi:10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x
19. Fischer RA, Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research. 1978;29(5):897-912. doi:10.1071/ar9780897
20. Farshadfar E, Elyasi P. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. European Journal of Experimental Biology. 2012;2(3):577-84.
21. Dorostkar S, Paknyiat H, Ahmadi KM, Ghorbani R, Aliakbari M, Sobhanian N, et al. Evaluation of several drought tolerance criteria in cultivated varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.) and Their Relationships with Yield Reduction. Science Research. 2016;4(2):226-32. doi:10.11648/j.sr.20160402.11
22. Aliakbari Massumeh, Razi Hooman, Kazemeini Seyed Abdolreza. Evaluation of drought tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars using drought tolerance indices. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2014;2(3):696-705.
23. Majidi MM, Rashidi F0, Sharafi Y. Physiological traits related to drought tolerance in Brassica. International Journal of Plant Production. 2015;9(4).

Recibido: 17 de noviembre de 2016

Aceptado: 6 de noviembre de 2017