



EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA EN TOMATE (*Solanum lycopersicum*) UTILIZANDO LOS ÍNDICES DE TOLERANCIA

Evaluation of drought tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum*) using tolerance indices

Marilyn Florido Bacallao^{1✉}, Lourdes Bao Fundora², Regla M. Lara Rodríguez¹, Marta Álvarez Gil¹, Francisco Dueñas Hurtado¹ y Tomás Shagarodsky Scull³

ABSTRACT. The present work was carried out with the aim of evaluating drought stress tolerance in 28 germplasm accessions of tomato (*Solanum* L. section *Lycopersicon* subsection *Lycopersicon*) *ex situ* preserved in Cuban collections as well as identifying the most tolerant accessions to be used in plant breeding programs. Thus, crop fruiting percentage was evaluated at the optimal period and under drought conditions (stressful period), which was used to calculate stress criteria: stress susceptibility index (SSI), geometric mean productivity (GMP), mean productivity (MP), stress tolerance index (STI), fruiting index (FI), harmonic mean (HARM), fruiting stability index (FSI), drought tolerance index (DI), stress susceptibility percentage index (SSPI), relative drought index (RDI), sensitivity drought index (SDI), modified stress tolerance indices (MSTI) and abiotic tolerance index (ATI). Accessions were classified according to their drought stress tolerance at plant level based on fruiting percentage, whereas the relationship among tolerance indices was evaluated by Biplot analysis. At the evaluated germplasm, there were accessions with high tolerance indices and fruiting percentages under stressful and non-stressful environments. This indicates that *ex situ* preserved germplasm in Cuba has tolerant accessions which can be used in breeding programs, in order to obtain adequately-performing cultivars or hybrids under these conditions.

RESUMEN. El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar la tolerancia al estrés por déficit hídrico en una muestra de 28 accesiones del germoplasma de tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*) conservado *ex situ* en las colecciones cubanas e identificar las accesiones más tolerantes para su empleo en los programas de mejoramiento genético. Para ello, se evaluó el porcentaje de fructificación en el período óptimo y en condiciones de déficit hídrico (período estresante) del cultivo, que se utilizó para el cálculo de los criterios de estrés: índice de susceptibilidad al estrés (SSI) según sus siglas en inglés, productividad geométrica media (GMP), productividad media (MP), índice de tolerancia al estrés (STI), índice de fructificación (FI), media armónica (HARM), índice de estabilidad de la fructificación (FSI), índice de tolerancia a la sequía (DI), índice de porcentaje de susceptibilidad al estrés (SSPI), índice relativo de sequía (RDI), índice de sensibilidad a la sequía (SDI), índices modificados de tolerancia al estrés (MSTI) e índice de tolerancia abiótica (ATI). Se clasificaron las accesiones por su tolerancia al estrés por déficit hídrico a nivel de planta en base al porcentaje de fructificación, mientras que la relación entre los índices de tolerancia se evaluó mediante análisis Biplot. Se pudo comprobar que, en el germoplasma evaluado, existieron accesiones con índices de tolerancia y porcentajes de fructificación altos en ambientes estresantes y no estresantes, lo cual indica que en el germoplasma que se conserva *ex situ* en Cuba existen accesiones tolerantes que pueden ser explotadas en los programas de mejoramiento genético, para obtener cultivares o híbridos con buen comportamiento en estas condiciones.

Key words: multivariate analysis, water, fruit set, drought response

Palabras clave: análisis multivariante, estrés hídrico, fructificación, respuesta a sequía

¹ Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32700.

² Facultad de Biología, Universidad de La Habana (UH).

³ Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT), calle 188, no. 38754 e/397 y Linderos, Santiago de Cuba, La Habana, Cuba, CP 17200.

✉ mflorido@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

La sequía es una de las limitaciones ambientales más grandes de la productividad de los cultivos agrícolas, ya que causa efectos devastadores (1).

La tolerancia al estrés por sequía varía entre especies e incluso dentro de una misma especie en diferentes cultivos como el tomate (2, 3, 4). De ahí que diversos programas de mejoramiento genético tienen como objetivo fundamental obtener genotipos tolerantes a la sequía (5, 6, 7).

Sin embargo, el mejoramiento genético encaminado a la obtención de genotipos tolerantes a la sequía se complica, por la falta de técnicas de detección eficientes, reproducibles y rápidas que puedan utilizarse en el diagnóstico de plantas tolerantes (1, 8, 9). Es por ello que para identificar genotipos tolerantes a la sequía en condiciones de campo, se han propuesto diferentes índices o criterios de tolerancia basados en relaciones matemáticas, a partir de las diferencias del rendimiento en condiciones estresantes y no estresantes (10, 11, 12). Estos índices han sido utilizados con éxito en diferentes cultivos (13, 14, 15, 16).

Por consiguiente, este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la tolerancia a la sequía en tomate mediante diferentes índices o criterios de

tolerancia, con vistas a seleccionar genotipos con altos porcentajes de fructificación y estabilidad de este carácter en condiciones de estrés hídrico, con la finalidad de que puedan ser utilizados en futuros programas de mejora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis morfoagronómicos se efectuaron en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Para su desarrollo, se tomó una muestra de 28 accesiones de la colección de tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* Subsección *Lycopersicon*) conservado *ex situ*, entre los que se incluyeron cultivares y especies silvestres pertenecientes a *S. lycopersicum* var. *Cerasiforme*, *S. pimpinellifolium* y *S. habrochaites* de diferente origen (Tabla I).

Se evaluó el porcentaje de fructificación en los cuatro primeros racimos de las 28 accesiones de tomate, sembradas en el período comprendido entre octubre 2012 y marzo 2013, en canteros de asbesto cemento al aire libre, que contenían una mezcla de suelo Ferralítico Rojo compactado (Ferralsol éutrico), según la Nueva Clasificación Genética de los Suelos (17).

Tabla I. Accesiones utilizadas en el estudio y su origen

Accesión	Especie	Origen
1. Accesoión 1000	<i>S. pimpinellifolium</i>	Perú
2. Amalia	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
3. AN-104-1	<i>S. lycopersicum</i>	España
4. Campbell-28	<i>S. lycopersicum</i>	USA
5. Ciapan 31-5	<i>S. pimpinellifolium</i>	México
6. Cl-1131-00-7-2-0-9	<i>S. lycopersicum</i>	Taiwán
7. CL-143-0-10-3-0-1-10	<i>S. lycopersicum</i>	Taiwán
8. CO-7040	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
9. FM 3019	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
10. LA-0094	<i>S. habrochaites</i>	Perú
11. LA-1255	<i>S. habrochaites</i>	Perú
12. LA-1731	<i>S. habrochaites</i>	Perú
13. LA-2128	<i>S. habrochaites</i>	Perú
14. LA-2807	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	Bolivia
15. LA2871	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	Bolivia
16. Mara	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
17. Mariana	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
18. Mariela	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
19. Mayle	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
20. Mercy	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
21. Mex-121-A	<i>S. pimpinellifolium</i>	México
22. Nagcarlang	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	Filipinas
23. P-531	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	Cuba
24. Rilia	<i>S. lycopersicum</i>	Cuba
25. Rojo Veracruz	<i>S. pimpinellifolium</i>	México
26. Roma	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
27. Santa Clara	<i>S. lycopersicum</i>	USA
28. Tropic	<i>S. lycopersicum</i>	USA

Las atenciones culturales en todos los casos se efectuaron según el Instructivo Técnico para Organopónicos y Huertos Intensivos establecido para el tomate^A, mientras que en condiciones de sequía se suspendió el riego luego de establecidas las plantas trasplantadas hasta la antesis, que según Bitá es el período crítico para el establecimiento del cultivo (18). Las plantas se colocaron a razón de 10 por accesión, tanto para condiciones estresantes como no estresantes, de acuerdo con un diseño Completamente Aleatorizado.

Los valores del porcentaje de fructificación se utilizaron para el cálculo de diferentes índices de tolerancia al estrés, basados en el comportamiento diferencial de las accesiones en ambientes estresantes y no estresantes.

Los índices de tolerancia al estrés empleados fueron los siguientes: índice de tolerancia (TOL, del inglés *tolerance*), índice de susceptibilidad al estrés (SSI, del inglés *stress susceptibility index*), productividad media geométrica (GMP), productividad media (MP), índices de tolerancia al estrés (STI, del inglés *stress tolerance index*), índice de fructificación (FI), media armónica (HARM, del inglés *harmonic mean*), índice de estabilidad de la fructificación (FSI), índice de tolerancia a la sequía (DI, del inglés *drought tolerance index*) índice del porcentaje de susceptibilidad al estrés (SSPI, del inglés *stress susceptibility percentage index*), índice relativo de sequía (RDI, del inglés *relative drought index*), índice de sensibilidad a la sequía (SDI, del inglés *sensitivity drought index*), índices modificados de tolerancia al estrés (MSTI, del inglés *modified stress tolerance index*) e índice de tolerancia abiótica (ATI, del inglés *abiotic tolerance index*). Los cálculos de los índices de tolerancia que se emplearon se refieren a continuación:

$$TOL = (FP - FE) \quad (19)$$

$$SSI = 1 - \frac{\overline{FE} / \overline{FP}}{1 - (FE) / (FP)} \quad (20)$$

$$FMP = \sqrt{FE * \overline{FP}} \quad (10)$$

$$MP = \frac{FE + \overline{FP}}{2} \quad (19)$$

$$STI = \frac{\overline{FP} / \overline{FE}}{(FP)^2} \quad (10)$$

$$FI = \frac{\overline{FE}}{FE} \quad (5)$$

$$HARM = \frac{2(FP * \overline{FE})}{(FP + FE)} \quad (21)$$

$$FSI = \frac{FE}{FP} \quad (22)$$

$$DI = FE * (FE / FP) / \overline{FE} \quad (23)$$

$$SSPI = \frac{(FE + FO) * 100}{2} \quad (11)$$

$$RDI = \frac{FE / FP}{FE / FP} \quad (24)$$

$$SDI = \frac{FP - FE}{FP} \quad (12)$$

$$MSTI = kiSTI, k1 = \frac{FP^2}{FP^2}, k2 = \frac{FE^2}{FE^2} \quad (25)$$

$$ATI = \left[\frac{FP - FE}{FP \ FE} \right] * (\sqrt{FP * FE}) \quad (11)$$

donde:

FP: Porcentaje de fructificación potencial de un genotipo en el ambiente no estresante

FE: Porcentaje de fructificación de un genotipo en el ambiente estresante (de sequía)

\overline{FP} : Porcentaje de fructificación promedio potencial de todas las accesiones en el ambiente no estresante

\overline{FE} : Porcentaje de fructificación promedio de todas las accesiones en el ambiente estresante

ki: coeficiente de correlación.

Para el análisis los datos se transformaron a arco seno \sqrt{x} y se efectuó, además, un Análisis de Componentes Principales Biplot, que se corrió mediante el paquete Matlab versión 5.0, sobre Windows.

Se evaluó asimismo la correlación existente entre los diferentes índices de tolerancia evaluados y los porcentajes de fructificación en condiciones de estrés y condiciones óptimas mediante el coeficiente de correlación simple de Pearson. Los análisis se efectuaron mediante el paquete estadístico SPSS versión 20.0, sobre Windows (26).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se observan los estimados de los diferentes índices de tolerancia al estrés, calculados a partir de las diferencias en los porcentajes de fructificación en el período óptimo o fructificación potencial (FP) y fructificación en condiciones de suspensión del riego o fructificación en condiciones de estrés de sequía (FE) en las accesiones de tomate evaluadas. De forma general, se observó una disminución del porcentaje de fructificación en ambientes estresantes, con respecto a los obtenidos en el período óptimo del cultivo. Esto puede ser debido, entre otros factores, a que durante el desarrollo del experimento, el estrés limitó el buen desarrollo del cultivo.

^AMINAG. *Instructivo Técnico para organopónicos y huertos intensivos*. Inst. MINAG, La Habana, Cuba, 1998, p. 74.

Tabla II. Índices de tolerancia al estrés en las 28 accesiones de tomate evaluadas

Accesión	FP	FE	TOL	GMP	MP	STI	YI	HARM	YSI	DI	SSPI	k1STI	k2STI	ATI
1	Accesión 1000	100,000	99,240	5,000	87,464	87,500	1,869	87,429	0,944	1,060	2,682	2,574	3,298	364,738
2	Amalia	87,619	73,585	10,330	64,027	64,235	1,001	63,820	0,851	0,664	5,541	0,820	0,854	551,626
3	AN-14-1	88,462	51,364	21,110	55,337	56,335	0,748	54,357	0,684	0,414	11,324	0,569	0,383	974,288
4	Campbell-28	85,714	81,981	2,910	66,319	66,335	1,074	66,303	0,957	0,820	1,561	0,839	1,105	160,958
5	Chiapan 31-5	100,000	100,000	0,000	90,000	90,000	1,979	90,000	1,000	1,189	0,000	2,725	3,915	0,000
6	CL-1131-0-0-7-2-0-9	100,000	71,880	32,020	72,237	73,990	1,275	70,526	0,644	0,493	17,176	1,756	1,047	1929,134
7	CL-143-0-10-3-0-1-10	96,280	81,354	14,470	71,279	71,645	1,241	70,914	0,817	0,695	7,762	1,313	1,258	860,220
8	CO-7040	86,111	48,915	23,740	54,983	56,250	0,738	53,745	0,651	0,370	12,735	0,583	0,355	1088,661
9	FM 3040	83,750	57,739	16,780	57,228	57,840	0,800	56,623	0,747	0,488	9,001	0,597	0,478	800,909
10	LA-0094	95,698	96,154	-0,650	78,354	78,355	1,500	78,354	1,008	1,048	-0,349	1,553	2,268	-42,477
11	LA-1255	100,000	93,649	14,600	82,377	82,700	1,658	82,056	0,838	0,834	7,832	2,283	2,302	1003,092
12	LA-1731	97,620	42,330	40,580	57,346	60,830	0,803	54,062	0,500	0,268	21,768	0,899	0,323	1940,880
13	LA-2128	100,000	89,342	19,060	79,904	80,470	1,560	79,341	0,788	0,739	10,224	2,148	1,917	1270,195
14	LA-2807	100,000	98,810	6,260	86,814	86,870	1,841	86,757	0,930	1,029	3,358	2,535	3,154	453,255
15	LA-2871	100,000	98,670	6,630	86,622	86,685	1,833	86,558	0,926	1,020	3,556	2,524	3,112	478,983
16	Mara	83,333	67,860	10,440	60,455	60,680	0,893	60,231	0,842	0,616	5,600	0,659	0,671	526,398
18	Mariela	87,083	65,139	15,120	60,903	61,370	0,906	60,439	0,781	0,555	8,111	0,732	0,641	768,012
18	Mariana	87,546	62,611	17,040	60,220	60,820	0,886	59,626	0,754	0,521	9,141	0,724	0,592	855,841
19	Mayle	90,380	47,060	28,620	55,815	57,620	0,761	54,066	0,602	0,344	15,352	0,669	0,349	1332,292
20	Mercy	81,940	53,230	18,000	55,120	55,850	0,742	54,400	0,722	0,447	9,656	0,531	0,398	827,491
21	Mex-121-A	100,000	100,000	0,000	90,000	90,000	1,979	90,000	1,000	1,189	0,000	2,725	3,915	0,000
22	Nagcarlang	100,000	98,720	6,500	86,689	86,750	1,836	86,628	0,928	1,023	3,487	2,528	3,127	469,958
23	P-531	99,038	98,212	2,070	83,339	83,345	1,697	83,332	0,975	1,061	1,110	2,054	2,808	143,879
24	Rilia	93,889	60,722	24,500	62,246	63,440	0,946	61,075	0,676	0,457	13,142	0,922	0,606	1271,917
25	Rojo veraacruz	100,000	99,430	4,330	87,808	87,835	1,883	87,782	0,952	1,077	2,323	2,594	3,377	317,106
26	Roma	89,080	60,600	19,580	60,118	60,910	0,883	59,336	0,723	0,488	10,503	0,750	0,564	981,745
27	Santa clara	87,880	54,763	21,900	57,649	58,680	0,812	56,637	0,685	0,432	11,748	0,669	0,452	1052,977
28	Tropic	88,500	66,520	15,540	61,924	62,410	0,937	61,443	0,779	0,562	8,336	0,784	0,683	802,590

FP: fructificación potencial en el ambiente no estresante; FE: fructificación en condiciones de estrés (sequía); Tol: el índice de tolerancia al estrés; GMP: productividad geométrica media; MP: productividad media; STI: índice de tolerancia al estrés; FI: índice de fructificación; HARM: media armónica; FSI: índice de estabilidad de la fructificación; DI: índice de resistencia a la sequía; SSPI: índice del porcentaje de susceptibilidad al estrés; RDI índice relativo de sequía; SDI: índice de sensibilidad a la sequía; k1STI y k2STI: índices modificados de tolerancia al estrés y ATI: índice de tolerancia abiótica

En este sentido, diversos autores han informado disminuciones en el número de flores y frutos, en la masa promedio de los frutos, las masas fresca y seca de la planta y del porcentaje de fructificación conjuntamente con el potencial hídrico de la hoja y el uso eficiente de agua, asociados con incrementos en la temperatura de la hoja y la resistencia estomática en condiciones de sequía (27, 28).

Las mayores afectaciones en FE se observaron en las accesiones CO-7040, Mayle y LA-1731, esta última perteneciente a *S. habrochaites*, con valores de cuajado del fruto inferiores al 50 % y los cultivares AN-104-1, Mercy y Santa Clara, que presentaron valores muy próximos al 50 % en condiciones de sequía. El resto de las accesiones analizadas mostraron un comportamiento intermedio entre ellas y Rojo Veracruz y Accesoión 100 de *S. pimpinellifolium*; LA-2807, LA-2871, Nagcarlang y P-531 de *S. lycopersicum* variedad *Cerasiforme*, así como LA-0094 y LA-1255 de *S. habrochaites*, que presentaron, en general, pocas afectaciones, con un promedio del porcentaje de fructificación superior al 90 %. Es de destacar que las accesiones de *S. pimpinellifolium*, Ciapán-31-5 y Mex-121A, no se vieron influenciadas por el estrés impuesto, pues presentaron un 100 % de fructificación en los dos ambientes, así como los mejores índices GMP, STI, MP, HARM, DI y de los índices modificados de tolerancia al estrés.

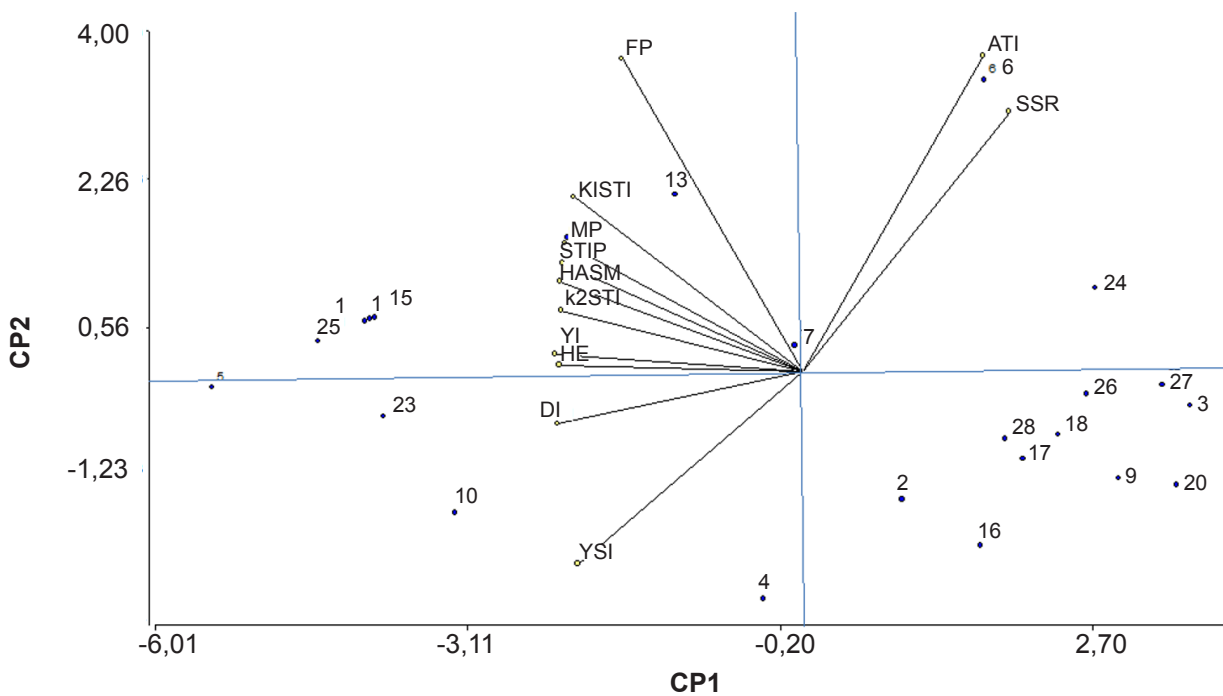
Algunos autores (7, 9, 11, 29, 30, 31) han empleado las diferencias en el rendimiento en períodos estresantes y no estresantes para el análisis de varios criterios de tolerancia, con la finalidad de clasificar las accesiones en tolerantes o susceptibles. En este estudio se empleó el porcentaje de fructificación, por ser un carácter indicativo de la tolerancia al estrés y tener una mayor heredabilidad que el rendimiento (32, 33).

La relación existente entre las diferentes accesiones y los criterios de estrés relacionados con la tolerancia al calor a nivel de planta fue comprobada por el Análisis de Componentes Principales Biplot (Tabla III y figura), que permitió constatar que las dos primeras componentes explicaron el 99 % de la variabilidad encontrada.

En cuanto al comportamiento de las accesiones, se percibió que LA-1731 (número 12 de la figura) fue la peor en el ambiente estresante, ubicada en la parte superior derecha del plano xy, caracterizada por presentar altos valores de ATI y SSPI, así como los menores valores de DI, YSI y YI.

Tabla III. Valores de inercia absorbida y acumulada en las dos primeras componentes, según Análisis de Componentes Principales (Biplot)

	Componente 1	Componente 2
Inercia absorbida (%)	0,85	0,85
Inercia acumulada (%)	0,14	0,99



FP: fructificación potencial en el ambiente no estresante; FE: fructificación en condiciones de estrés (sequía); Tol: índice de tolerancia al estrés; GMP: productividad geométrica media; MP: productividad media; STI: índice de tolerancia al estrés; FI: índice de fructificación; HARM: media armónica; FSI: índice de estabilidad de la fructificación; DI: índice de resistencia a la sequía; SSPI: índice del porcentaje de susceptibilidad al estrés; RDI: índice relativo de sequía; SDI: índice de sensibilidad a la sequía; k1STI y k2STI: índices modificados de tolerancia al estrés y ATI: índice de tolerancia abiótica

Resultados del análisis Biplot en las 122 accesiones estudiadas

En el centro a la izquierda se ubicaron las accesiones con más altos valores de FE, FP, STI; k1STI, k2STI, HARM y YI, y valores bajos de ATI y SSPI, que estuvieron representados principalmente por las numeradas como: 25 (Rojo Veracruz), 1 (Accesión 1000), 14 (LA-2807), 15 (LA-2871), 23 (P-531), 10 (LA-0094), 22 (Nagcarlang), 5 (Ciapán-31-5) y 21 (Mex-121-A), que son las más tolerantes en los dos ambientes estudiados.

La existencia de accesiones con porcentajes de fructificación altos, tanto en ambiente estresante como no estresante y para los diferentes criterios de tolerancia evaluados, indican que estas pueden ser utilizadas como progenitores en los programas de mejoramiento genético para tolerancia a la sequía, con el objetivo de obtener cultivares que presenten incrementos en los niveles de tolerancia de las cultivares comerciales actuales.

Estos resultados permiten inferir que se puede realizar una selección de accesiones individuales basada en el porcentaje de fructificación en ambientes contrastantes, partiendo de estos criterios de tolerancia.

Es de destacar que estos criterios han sido utilizados con éxito de una forma u otra para la selección de accesiones tolerantes a la sequía, fundamentalmente en trigo (*Triticum aestivum* L.) (15, 16, 34, 35), trigo duro (*Triticum durum* Desf.) (11, 36), arroz (*Oryza sativa* L.) (37), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) (12), girasol (*Helianthus annuus* L.) (6, 38), ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) (13), soya (*Glycine max* L. Merrill) (7), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) (39), cebada (*Hordeum vulgare* L.) (1, 14) y maíz (*Zea mays* L.) (29, 40, 41), entre otros.

La interrelación entre los diferentes índices y criterios de tolerancia evaluados con el porcentaje de fructificación se muestran en la Tabla IV. Cabe destacar que los índices de tolerancia evaluados presentaron correlaciones altas y significativas con el porcentaje de fructificación en el ambiente estresante, siendo estas contribuciones negativas para TOL, SSPI y ATI. El porcentaje de fructificación en condiciones no estresantes igualmente mostró altas correlaciones significativas con la mayoría de estos criterios; sin embargo, este carácter no se asoció con los índices SSPI ni ATI. Similares asociaciones fueron encontradas por diversos autores (11, 12, 13, 37, 42), quienes señalan la utilidad de estos índices en la selección de genotipos tolerantes en diferentes cultivos.

La presencia de accesiones con altos porcentajes de fructificación en condiciones de estrés hídrico indica que en el germoplasma que se conserva *ex situ* en Cuba existen algunas tolerantes, que pueden ser explotadas en los programas de mejoramiento genético, para obtener cultivares o híbridos con buen comportamiento morfo-agronómico en períodos de sequía.

Tabla IV. Coeficientes de correlación simple entre los índices de tolerancia a la sequía y el porcentaje de fructificación en condiciones estresantes y no estresantes

	FP	FE	TOL	GMP	MP	STI	YI	HARM	YSI	DI	SSPI	k1STI	k2STI	ATI
FP	1													
FE	0,726**	1												
TOL	-0,254	-0,819**	1											
GMP	0,855**	0,964**	-0,690**	1										
MP	0,877**	0,952**	-0,657**	0,999**	1									
STI	0,851**	0,955**	-0,690**	0,999**	0,998**	1								
YI	0,751**	0,985**	-0,817**	0,981**	0,972**	0,980**	1							
HARM	0,834**	0,973**	-0,718**	0,999**	0,996**	0,997**	0,987**	1						
YSI	0,401*	0,904**	-0,983**	0,794**	0,767**	0,790**	0,895**	0,817**	1					
DI	0,656**	0,970**	-0,890**	0,939**	0,925**	0,940**	0,987**	0,950**	0,947**	1				
SSPI	-0,254	-0,819**	1,000**	-0,690**	-0,657**	-0,690**	-0,817**	-0,718**	-0,983**	-0,890**	1			
k1STI	0,896**	0,902**	-0,571**	0,983**	0,988**	0,987**	0,936**	0,976**	0,684**	0,874**	-0,571**	1		
k2STI	0,789**	0,933**	-0,745**	0,977**	0,974**	0,985**	0,979**	0,978**	0,822**	0,958**	-0,745**	0,963**	1	
ATI	-0,110	-0,688**	0,974**	-0,557**	-0,523**	-0,563**	-0,706**	-0,586**	-0,924**	-0,806**	0,974**	-0,435**	-0,650**	1

FP: fructificación potencial en el ambiente no estresante; FE: fructificación en condiciones de estrés (sequía); TOL: índice de tolerancia al estrés; GMP: productividad geométrica media; MP: productividad media; STI: índice de tolerancia al estrés; FI: índice de fructificación; HARM: media armónica; FSI: índice de estabilidad de la fructificación; DI: índice de resistencia a la sequía; SSPI: índice del porcentaje de susceptibilidad al estrés; RDI: índice relativo de sequía; SDI: índice de sensibilidad a la sequía; k1STI y k2STI: índices modificados de tolerancia al estrés y ATI: índice de tolerancia abiótica

BIBLIOGRAFÍA

- Saad, F. F.; Abd El-Mohsen, A. A.; Abd El-Shafi, M. A. y Al-Soudan, I. H. "Effective Selection Criteria for Evaluating Some Barley Crosses for Water Stress Tolerance". *Egyptian Journal of Plant Breeding*, vol. 17, no. 6, diciembre de 2013, pp. 79-98, ISSN 11107863, DOI 10.12816/0011664.
- Mollasadeghi, V.; Valizadeh, M.; Shahryari, R. y Imani, A. A. "Evaluation of end drought tolerance of 12 wheat genotypes by stress indices". *Middle-East Journal of Scientific Research*, vol. 7, no. 2, 2011, pp. 241-247, ISSN 1818-4952.
- Nahar, K.; Ullah, S. M. y Gretzmacher, R. "Influence of soil moisture stress on height, dry matter and yield of seven tomato cultivars". *Canadian Journal on Scientific and Industrial Research*, vol. 2, no. 4, 2011, pp. 160-163, ISSN 0022-4456.
- Peleg, Z.; Apse, M. P. y Blumwald, E. "Engineering Salinity and Water-Stress Tolerance in Crop Plants" [en línea]. En: *Advances in Botanical Research*, edit. Elsevier, 2011, pp. 405-443, ISBN 978-0-12-387692-8, [Consultado: 2 de diciembre de 2015], Disponible en: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123876928000126>>.
- Gavuzzi, P.; Rizza, F.; Palumbo, M.; Campanile, R. G.; Ricciardi, G. L. y Borghi, B. "Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals". *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 77, no. 4, 1997, pp. 523-531, ISSN 0008-4220.
- Darvishzadeh, R.; Pirzad, A.; Hatami-Maleki, H.; Poormohammad-Kiani, S. y Sarrafi, A. "Evaluation of the reaction of sunflower inbred lines and their F1 hybrids to drought conditions using various stress tolerance indices". *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 8, no. 4, 2010, pp. 1037-1046, ISSN 2171-9292, DOI 10.5424/sjar/2010084-1398.
- Kargar, S. M. A.; Mostafaie, A.; Hervan, E. M. y Pourdad, S. S. "Evaluation of soybean genotypes using drought stress tolerant indices". *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, vol. 5, no. 2, 2014, pp. 103-113, ISSN 2223-7054.
- Schwarz, D.; Roupahel, Y.; Colla, G. y Venema, J. H. "Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants". *Scientia Horticulturae*, vol. 127, no. 2, 8 de diciembre de 2010, pp. 162-171, ISSN 0304-4238, DOI 10.1016/j.scienta.2010.09.016.
- Dehbalaei, S.; Farshadfar, E. y Farshadfar, M. "Assessment of drought tolerance in bread wheat genotypes based on resistance/tolerance indices". *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, vol. 5, no. 20, 2013, pp. 2352-2358, ISSN 2227-670X.
- Fernandez, G. C. J. "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*, edit. Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, 1992, pp. 257-270, ISBN 92-9058-081-X.
- Moosavi, S. S.; Yazdi, S. B.; Naghavi, M. R.; Zali, A. A.; Dashti, H. y Pourshahbazi, A. "Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes". *Desert*, vol. 12, no. 2, 2008, pp. 165-178, ISSN 2008-0875.
- Farshadfar, E. y Javadinia, J. "Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance". *Seed and Plant Improvement Journal*, vol. 271, no. 4, 1 de enero de 2011, pp. 517-537.
- Molaei, P.; Ebadi, A.; Namvar, A. y Bejandi, T. K. "Water relation, solute accumulation and cell membrane injury in sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars subjected to water stress". *Annals of Biological Research*, vol. 3, no. 4, 2012, pp. 1833-1838, ISSN 0976-1233.
- Khokhar, M. I. y da Silva, J. A. T. "Evaluation of drought tolerance and yield capacity of barley (*Hordeum vulgare*) genotypes under irrigated and water-stressed conditions". *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, vol. 49, no. 3, 2012, pp. 307-313, ISSN 0552-9034.
- Farshadfar, E.; Sheibanirad, A. y Soltanian, M. "Screening landraces of bread wheat genotypes for drought tolerance in the field and laboratory". *International Journal of Farming and Allied Sciences*, vol. 3, no. 3, 2014, pp. 304-311, ISSN 2322-4134.
- Rahmani, S.; Farshadfar, E. y Jowkar, M. M. "Locating QTLs controlling yield based indicators of drought tolerance in agropyron using wheat-agropyron disomic addition lines". *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, vol. 5, no. 9, 2013, p. 1028, ISSN 2227-670X.
- Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. y Castro, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015, 93 p., ISBN 978-959-7023-77-7.
- Bitá, C. E.; Zenoni, S.; Vriezen, W. H.; Mariani, C.; Pezzotti, M. y Gerats, T. "Temperature stress differentially modulates transcription in meiotic anthers of heat-tolerant and heat-sensitive tomato plants". *BMC Genomics*, vol. 12, no. 1, 31 de julio de 2011, p. 384, ISSN 1471-2164, DOI 10.1186/1471-2164-12-384.
- Rosielle, A. A. y Hamblin, J. "Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment". *Crop Science*, vol. 21, no. 6, 1981, pp. 943-946, ISSN 0011-183X.
- Fischer, R. A. y Maurer, R. "Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses". *Crop and Pasture Science*, vol. 29, no. 5, 1978, pp. 897-912, ISSN 0004-9409.
- Schneider, K. A.; Rosales, S. R.; Ibarra, P. F.; Cazares, E. B.; Acosta, G. J. A.; Ramirez, V. P.; Wassimi, N. y Kelly, J. D. "Improving common bean performance under drought stress". *Crop Science*, vol. 37, no. 1, 1997, pp. 43-50, ISSN 0011-183X.
- Bouslama, M. y Schapaugh, W. T. "Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance". *Crop Science*, vol. 24, no. 5, 1984, pp. 933-937, ISSN 0011-183X.
- Lan, J. "Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops". *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica 1004-1389*, vol. 7, 1998, pp. 85-87, ISSN 1004-1389.

24. Fischer, R. A. y Wood, J. T. "Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits". *Crop and Pasture Science*, vol. 30, no. 6, 1979, pp. 1001–1020, ISSN 0004-9409.
25. Farshadfar, E. y Sutka, J. "Screening drought tolerance criteria in maize". *Acta Agronomica Hungarica*, vol. 50, no. 4, 1 de diciembre de 2002, pp. 411-416, ISSN 0238-0161, DOI 10.1556/AAgr.50.2002.4.3.
26. IBM SPSS Statistics [en línea]. Versión 20, [Windows], edit. IBM Corporation, U.S, 2011, Disponible en: <http://www.ibm.com>.
27. Foolad, M. R. "Tolerance to Abiotic Stresses". En: Razdan M. K. y Mattoo A. K., *Genetic Improvement of Solanaceous Crops: Tomato*, edit. CRC Press, 12 de enero de 2006, pp. 521-590, ISBN 978-1-57808-179-0.
28. Wahb, A. M. A.; Alsdon, A. A. y Ibrahim, A. A. "Drought tolerance of several tomato genotypes under greenhouse conditions". *World Applied Sciences Journal*, vol. 15, no. 7, 2011, pp. 933–940, ISSN 1818-4952.
29. Naghavi, M. R.; Aboughadareh, A. P. y Khalili, M. "Evaluation of Drought Tolerance Indices for Screening Some Corn (*Zea mays* L.) Cultivars under Environmental Conditions". *Notulae Scientia Biologicae*, vol. 5, no. 3, 1 de agosto de 2013, pp. 388-393, ISSN 2067-3264, DOI 10.15835/nsb.5.3.9049.
30. Noorifarjam, S.; Farshadfar, E. y Saeidi, M. "Evaluation of drought tolerant genotypes in bread wheat using yield based screening techniques". *European Journal of Experimental Biology*, vol. 3, no. 1, 2013, pp. 138–143, ISSN 2248–9215.
31. Tarabideh, A. H.; Farshadfar, M. y Safari, H. "Efficiency of screening techniques for evaluating corn (*Zea mays* L.) hybrids under drought conditions". *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, vol. 7, no. 3, 2014, p. 107, ISSN 2227-670X.
32. Wahid, A.; Gelani, S.; Ashraf, M. y Foolad, M. R. "Heat tolerance in plants: An overview". *Environmental and Experimental Botany*, vol. 61, no. 3, diciembre de 2007, pp. 199-223, ISSN 0098-8472, DOI 10.1016/j.envexpbot.2007.05.011.
33. Hanson, P. M.; Chen, J. y Kuo, G. "Gene Action and Heritability of High-temperature Fruit Set in Tomato Line CL5915". *HortScience*, vol. 37, no. 1, 2 de enero de 2002, pp. 172-175, ISSN 0018-5345, 2327-9834.
34. Farshadfar, E. "Application of integrated selection index and rank sum for screening drought tolerant genotypes in bread wheat". *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, vol. 4, no. 6, 2012, pp. 325–332, ISSN 2227-670X.
35. Firoozi, B.; Sofalian, O.; Shokrpour, M.; Rasoulzadeh, A. y Ahmadpoor, F. "Assessment of Drought Tolerance Indices and their Relation with ISSR Markers in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.)". *Notulae Scientia Biologicae*, vol. 4, no. 3, 30 de agosto de 2012, pp. 143-150, ISSN 2067-3264, DOI 10.15835/nsb.4.3.7911.
36. Ahmadzadeh, M.; Valizadeh, M.; Shahbazi, H. y Zaefizadeh, M. "Performance of durum wheat landraces under contrasting conditions of drought stress". *World Applied Sciences Journal*, vol. 13, no. 5, 2011, pp. 1022–1028, ISSN 1818-4952.
37. Hosseini, S. J.; Sarvestani, Z. T. y Pirdashti, H. "Responses of some rice genotypes to drought stress.". *International Journal of Agriculture: Research and Review*, vol. 2, no. 4, 2012, pp. 475-482, ISSN 2228-7973, CABDirect2.
38. Gholinezhad, E.; Darvishzadeh, R. y Bernousi, I. "Evaluation of Drought Tolerance Indices for Selection of Confectionery Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Landraces under Various Environmental Conditions". *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, vol. 42, no. 1, 3 de junio de 2014, pp. 187-201, ISSN 1842-4309, DOI 10.15835/nbha4219394.
39. Seraji, R. A. N.; Navaey, H. N.; Ali, S. O. y Eslami, H. "Evaluating resistance to drought stress in flue-cured tobacco varieties via stress susceptibility indexes in dry farming conditions". *International Journal of Farming and Allied Sciences*, vol. 3, no. 4, 2014, pp. 373-376, ISSN 2322-4134.
40. Moradi, H.; Akbari, G. A.; Khorasani, S. K. y Ramshini, H. A. "Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) new hybrids using stress tolerance indices". *European Journal of Sustainable Development*, vol. 1, no. 3, 2012, pp. 543-560, ISSN 2239-6101, DOI 10.14207/ejsd.2012.v1i3p543.
41. Ghasemi, S. H. y Chokan, R. "Reaction of drought tolerance in grain maize hybrid using drought tolerance indices". *Life Science Journal*, vol. 10, no. 1, 2013, pp. 935-943, ISSN 1097-8135.
42. Toorchi, M.; Naderi, R.; Kanbar, A. y Shakiba, M. R. "Response of spring canola cultivars to sodium chloride stress". *Annals of Biological Research*, vol. 2, no. 5, 2012, pp. 312–322, ISSN 0976-1233.

Recibido: 5 de diciembre de 2014

Aceptado: 12 de junio de 2015