

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA AL CALOR A NIVEL DE PLANTA EN EL GERMOPLASMA DE TOMATE (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*) CONSERVADO *Ex Situ*

Marilyn Florido[✉], Marta Álvarez, Regla M. Lara, Dagmara Plana, M. Varela, T. Shagarodsky y C. Moya

ABSTRACT. This work was developed with the aim of evaluating heat tolerance in a representative sample of *ex situ* preserved tomato (*Solanum* L. section *Lycopersicon* subsection *Lycopersicon*) germplasm in Cuban collections and identifying the most tolerant accessions to be used in plant breeding programs. Thus, fruit set percentage was evaluated over the optimal and heat-stressing (spring-summer) crop periods for calculating the following stress criteria: stress susceptibility index (ISE); stress tolerance value (TOL), stress tolerance index (ITE), stress geometric fruit set (FGE) and relative tolerance index (IT). Thus, 122 accessions were classified for their plant heat tolerance based on fruit set percentage in spring-summer sowings, besides the relationship among tolerance indexes was performed through Biplot analysis. Regarding the germplasm evaluated, there were accessions with high fruit set percentages within the spring-summer period, indicating that the *ex situ* preserved germplasm in Cuba has heat tolerant accessions, which can be used in plant breeding programs to obtain good-performing varieties and hybrids under these conditions.

Key words: tomatoes, *Solanum* L., heat stress, heat tolerance

INTRODUCCIÓN

El cultivo del tomate en Cuba, al igual que en la mayoría de los países tropicales, se limita generalmente al período óptimo, que coincide con la estación seca de invierno, debido a los bajos rendimientos y pobre calidad

Dra.C. Marilyn Florido, Investigadora Auxiliar; Ms.C. Dagmara Plana, Investigadora Agregada, Dra.C. Marta Álvarez y Dr.C. C. Moya, Investigadores Titulares, Ms.C. Regla M. Lara, Especialista del departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal; Dr.C. M. Varela, Investigador Auxiliar del departamento de Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700; Dr.C. T. Shagarodsky, Investigador Auxiliar del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), calle 2 esquina a 1, Santiago de las Vegas, Ciudad de La Habana, Cuba.

✉ mflorido@inca.edu.cu

RESUMEN. Este trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar la tolerancia al calor en una muestra representativa 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 los períodos óptimo y estresante (primavera-verano) del cultivo, para calcular los criterios de estrés siguientes: índice de susceptibilidad al estrés (ISE), valor de tolerancia al estrés (TOL), índice de tolerancia al estrés (ITE), fructificación geométrica del estrés (FGE) e índice de tolerancia relativo (IT). Se clasificaron las 122 accesiones por su tolerancia al calor a nivel de planta en base al porcentaje de fructificación en siembras de primavera-verano y la relación entre los índices de tolerancia evaluados se efectuó mediante análisis Biplot. Se pudo comprobar que en el germoplasma evaluado existieron accesiones con altos porcentajes de fructificación en el período de primavera-verano, lo cual indica que en el germoplasma que se conserva *ex situ* en Cuba existen accesiones tolerantes al calor, que pueden ser explotadas en los programas de mejoramiento genético para obtener variedades e híbridos con buen comportamiento en estas condiciones.

Palabras clave: tomate, *Solanum* L., estrés térmico, tolerancia al calor

de los frutos en las siembras fuera de ese período, que se atribuye mayormente a los efectos negativos que producen las altas temperaturas y humedad relativa sobre las estructuras reproductivas, ocasionando un cuajado pobre de los frutos y la disminución de la producción; de ahí que estos constituyan factores importantes que inciden en la baja producción de tomate en ambientes tropicales (1, 2).

Producto del calentamiento global se estima que el promedio de temperatura puede incrementarse hasta en 5,8°C para el 2100, lo cual causaría serios daños económicos en el cultivo, si se tiene en cuenta que la fructificación en el tomate disminuye significativamente con pequeños incrementos de la temperatura (3). Este efecto se agrava si las elevaciones de temperaturas coinciden

con períodos lluviosos, incrementándose la incidencia de enfermedades y plagas, fundamentalmente cuando la explotación del cultivo se realiza a cielo abierto (2, 3).

De ahí que se señale que entre los indicadores más importantes de la tolerancia al calor en el tomate a nivel de planta está la capacidad de fructificación o el cuajado de los frutos en ambientes estresantes (1, 3, 4, 5), de manera que aquellas variedades con mayor capacidad para la fructificación bajo altas temperaturas y humedad resultan las más adecuadas para la producción del tomate en los trópicos, por lo que cualquier método empleado para el tamizaje de las accesiones de tomate deberá estar asociado a este.

Es por ello que este trabajo se presentó con el objetivo de evaluar la tolerancia al calor en una muestra representativa de germoplasma de tomate, teniendo en cuenta los criterios de tolerancia a estrés a nivel de planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis morfoagronómicos se realizaron en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Para su desarrollo se tomó una muestra de 122 accesiones de la colección de tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*) conservado *ex situ*, donde se incluyeron variedades, líneas, prospecciones y especies silvestres, 48 de ellas procedentes de la colección de trabajo del INCA, 47 del banco de germoplasma del Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical (INIFAT) y 27 de la colección de trabajo de La Estación Experimental "La Mayora" del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España (Tabla I).

Se evaluó el porcentaje de fructificación en los cuatro primeros racimos de las 122 accesiones de tomate sembradas en los períodos óptimo (octubre-marzo, 2000) y no óptimo (mayo-julio, 2001), a razón de 10 plantas/accesión, de acuerdo con un diseño completamente aleatorizado, 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 (6). Las atenciones culturales en todos los casos se efectuaron según el Instructivo técnico para organopónicos y huertos intensivos establecido para el tomate (7).

Los valores del porcentaje de fructificación en ambos períodos se utilizaron para el cálculo de algunos cri-

terios de tolerancia al estrés, basados en el comportamiento diferencial de las accesiones en ambientes estresantes y no estresantes.

Los criterios de tolerancia al estrés empleados fueron: índice de susceptibilidad al estrés (ISE) (8), valor de tolerancia al estrés (TOL) (9), así como los índices de tolerancia al estrés (ITE), fructificación geométrica del estrés (FGE) (10) y tolerancia relativo (IT) (11).

Los cálculos de caracteres y criterios de tolerancia que se emplearon se refieren a continuación:

$$FGE = \sqrt{FE * FP} \quad ISE = \frac{1 - (FE) / (FP)}{1 - (\overline{FE}) / (\overline{FP})}$$

$$ITE = \frac{(FP)(FE)}{(FP)^2} \quad IT = \frac{(FE)}{(FP)}$$

$$TOL = (FP - FE) = \frac{1 - (FE) / (FP)}{1 - (\overline{FE}) / (\overline{FP})}$$

Donde:

FP: fructificación potencial de un genotipo en el ambiente no estresante (período de invierno)

FE: fructificación de un genotipo en el ambiente estresante (período primavera-verano)

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

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

Los datos se procesaron con los valores promedio y el intervalo de confianza para cada accesión; estas últimas se clasificaron acorde a las clases establecidas según los intervalos de confianza de tres controles de comportamiento conocido. Se utilizó el porcentaje de fructificación en el período primavera-verano, pues este carácter varió más en este período que en el óptimo.

Como control tolerante se empleó la accesión Nagcarlang, de reconocida tolerancia al calor, por sus altos porcentajes de fructificación, respuesta fisiológica al estrés y elevados valores de viabilidad del polen (12); como control intermedio se utilizó la variedad Amalia, obtenida mediante programa de mejoramiento genético en el INCA, que presenta tolerancia intermedia al calor (13), mientras la variedad AN-104-1, recientemente introducida, se empleó como control susceptible, por tener poca adaptación al clima cubano, así como valores bajos de germinación y fertilización del grano de polen (14).

Tabla I. Número de accesiones por especie y clasificación de la muestra de germoplasma estudiada de acuerdo con su procedencia

Especie	Total	Introducción	Hibridación	Selección	Colecta
<i>S. lycopersicum</i>	90	36	33	11	10
<i>S. lycopersicum</i> var. <i>Cerasiforme</i>	17	10			7
<i>S. pimpinellifolium</i>	11	10			1
<i>S. habrochaites</i>	1	1			
<i>S. peruvianum</i>	2	2			
<i>S. pennellii</i>	1	1			

Se formaron tres clases, cuyos límites se establecieron según los intervalos de confianza correspondientes a los tres controles seleccionados y se adicionaron nuevas clases, para ubicar las accesiones cuyos valores quedaban fuera de los intervalos de confianza de los controles. Esto permitió clasificar las 122 accesiones, de acuerdo con los intervalos de confianza para el porcentaje de fructificación en el período de primavera-verano, en las clases pre-establecidas para estos.

Los datos se transformaron a $\arcseno\sqrt{\%}$ y se les efectuó un análisis de Componentes Principales Biplot (15), que se corrió mediante el paquete *Matlab* versión 5.0 para *Windows*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se observan los porcentajes de fructificación en los dos períodos analizados: FP y FE. De forma general, se observó una disminución del porcentaje de fructificación en el período de primavera-verano, con respecto al obtenido en el período óptimo del cultivo. Esto puede ser debido, entre otros factores, a que durante el desarrollo del experimento en el período primavera-verano, los promedios de temperaturas máxima, mínima y media estuvieron por encima de los óptimos recomendados para un buen desarrollo del cultivo del tomate (2, 16).

Las mayores afectaciones en FE se observaron en la accesión C-28, con cuajado del fruto inferior al 40 %, y los cultivares 1B, 4A, 9A, AN-104-1, C-26, C-27, CC-2781, Ciudad Real, HC-3880 y MP-1, con valores inferiores o muy próximos al 50 % en este período. El resto de las accesiones mostraron un comportamiento intermedio entre estas y las accesiones de las especies silvestres de *S. pimpinellifolium* y *S. lycopersicum* variedad *Cerasiforme*, así como de las accesiones Ottawa-30, Cimarrón mejorado, P-1073, P-1216, P-1410, P-1896 y P-306 de *S. lycopersicum*, que presentaron, en general, pocas afectaciones con promedios del porcentaje de fructificación superiores al 90 %.

La disminución de este carácter en condiciones de primavera-verano estuvo en correspondencia con resultados anteriores (1, 17); de esta forma, se señala que una de las mayores afectaciones en tomate en presencia de altas temperaturas es su incapacidad para fructificar en estas circunstancias (3, 5, 17, 18), lo que se atribuye a que a temperaturas superiores a 30°C se afectan los procesos de formación de flores, la producción de granos de polen, formación de óvulos, elongación del estilo, germinación del polen, fertilización y formación de semillas; de ahí que no sea posible identificar un proceso simple como la causa fundamental de una pobre fructificación, lo que se refleja en las afectaciones que pudieron ocurrir en los procesos anteriormente mencionados.

Tabla II. Estimados de los diferentes criterios de tolerancia al estrés a partir de los datos de porcentaje de fructificación en las accesiones de *Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*

Accesión	FE	±	IC	Clases	FP	IT	FM	TOL	ISE	FGE	ITE
BG-56	100	±	0	1	100	1,01	99,51	-0,99	-0,34	99,50	1,52
Nagcarlang	99,41	±	0,98	1	99,01	1,00	100	0,00	0,00	100	1,62
P-1634	98,08	±	1,69	1	98,93	0,99	98,51	0,85	0,12	98,50	1,38
Mex-12	97,94	±	1,06	1	98,48	0,99	98,21	0,54	0,07	98,21	1,35
P-1476	96,93	±	1,40	1	98,18	0,99	97,56	1,25	0,15	97,55	1,31
Mex-103	96,59	±	1,20	1	98,03	0,99	97,31	1,44	0,16	97,31	1,30
P-1441	96,59	±	1,33	1	100	0,97	98,30	3,41	0,59	98,28	1,43
Cimarrón 3	96,43	±	1,21	1	97,22	0,99	96,83	0,79	0,08	96,82	1,27
Ac.1000	96,23	±	1,26	1	97,98	0,98	97,11	1,75	0,19	97,10	1,29
LA-2807	96,17	±	2,00	1	97,44	0,99	96,81	1,27	0,13	96,80	1,27
P-531	95,92	±	1,41	1	97,08	0,99	96,50	1,16	0,12	96,50	1,26
BG-90	95,50	±	1,96	2*	98,04	0,97	96,77	2,54	0,26	96,76	1,27
West Virgin	95,40	±	1,81	2*	98,48	0,97	96,94	3,08	0,32	96,93	1,29
LA-2871	95,26	±	2,55	2*	96,38	0,99	95,82	1,12	0,11	95,82	1,22
ES-90	94,46	±	1,15	2*	96,71	0,98	95,59	2,25	0,20	95,58	1,21
P-809-B	94,34	±	3,97	2*	96,31	0,98	95,33	1,97	0,17	95,32	1,20
P-1410	94,33	±	2,69	2*	96,96	0,97	95,65	2,63	0,24	95,64	1,22
PE-10	94,22	±	2,08	2*	97,56	0,97	95,89	3,34	0,31	95,88	1,23
Epcu-2	93,89	±	1,41	2*	97,99	0,96	95,94	4,10	0,38	95,92	1,24
PE-62	93,83	±	2,06	2*	96,09	0,98	94,96	2,26	0,19	94,95	1,19
P-1896	93,68	±	3,60	2*	95,78	0,98	94,73	2,10	0,18	94,72	1,18
<i>L.pimpinellifolium</i>	93,33	±	2,37	2*	95,84	0,97	94,59	2,51	0,21	94,58	1,17
PE-64	93,26	±	0,99	2*	97,06	0,96	95,16	3,80	0,33	95,14	1,20
mex 121-a	93,23	±	1,15	2	96,43	0,97	94,83	3,20	0,27	94,82	1,18
PE-15	92,84	±	1,04	2*	95,32	0,97	94,08	2,48	0,07	94,07	1,12
Cim. mejorado	91,88	±	3,57	2	97,58	0,94	94,73	5,70	0,47	94,69	1,19
Ciapan 31-5	91,84	±	1,19	2	93,04	0,99	92,44	1,20	0,09	92,44	1,10
Cimarrón Inifat	91,54	±	3,06	2	97,22	0,94	94,38	5,68	0,46	94,34	1,17

P-931	91,52	±	1,41	2	98,18	0,93	94,85	6,66	0,56	94,79	1,20
Silvestre 4	91,39	±	1,24	2	97,53	0,94	94,46	6,14	0,50	94,41	1,18
P-306	91,36	±	2,20	2	94,87	0,96	93,12	3,51	0,26	93,10	1,12
P-1216	90,34	±	2,37	2	96,67	0,93	93,51	6,33	0,48	93,45	1,14
Otawa-30	90,21	±	3,62	2	97,85	0,92	94,03	7,64	0,56	93,95	1,18
P-1073	90,18	±	3,26	2	96,63	0,93	93,41	6,45	0,49	93,35	1,14
Placero-Habana	88,72	±	3,15	2	91,89	0,97	90,31	3,17	0,21	90,29	1,03
PE-2	88,14	±	1,27	2	95,19	0,93	91,67	7,05	0,48	91,60	1,08
CC-172	83,97	±	1,72	2	93,14	0,90	88,56	9,17	0,56	88,44	0,99
CL11D-0-2-1	82,14	±	2,25	2	94,00	0,87	88,07	11,86	0,66	87,87	0,97
P-271	81,25	±	2,43	2	88,88	0,91	85,07	7,63	0,44	84,98	0,91
CL143-0-10-3-0-1-10	80,18	±	2,19	2	93,91	0,85	87,05	13,73	0,80	86,77	0,96
New Yorker	75,39	±	1,04	2	93,86	0,80	84,63	18,47	1,02	84,12	0,91
CC-692	73,46	±	1,28	2	95,49	0,77	84,48	22,03	1,21	83,75	0,92
CC-I-289-648	71,99	±	3,70	2	87,61	0,82	79,80	15,62	0,82	79,42	0,80
CL1131-0-0-7-2-9	71,97	±	2,24	2	90,85	0,79	81,41	18,88	0,99	80,86	0,84
A-32-1	71,66	±	2,03	2	84,60	0,85	78,13	12,94	0,68	77,86	0,77
CC-85PA	71,66	±	2,97	2	95,86	0,75	83,76	24,20	1,31	82,88	0,90
CC-321	71,39	±	1,71	2	90,70	0,79	81,05	19,31	1,01	80,47	0,83
CC-283	70,98	±	1,89	2	96,03	0,74	83,51	25,05	1,35	82,56	0,90
CL1131-00-38-4-0	70,88	±	1,58	2	88,81	0,80	79,85	17,93	0,93	79,34	0,81
Ontario-7710	70,70	±	2,41	2	88,91	0,80	79,81	18,21	0,94	79,28	0,81
CC-395	70,64	±	2,51	2	87,76	0,80	79,20	17,12	0,89	78,74	0,79
CC-521	70,12	±	2,00	2	94,32	0,74	82,22	24,20	1,27	81,32	0,87
P-787	69,72	±	2,12	2	86,89	0,80	78,31	17,17	0,88	77,83	0,78
CC-310	69,44	±	1,02	2*	87,98	0,79	78,71	18,54	0,95	78,16	0,79
CC-I-289-y-500	69,23	±	0,47	2*	89,00	0,78	79,12	19,77	1,02	78,50	0,79
Inca-9(1)	67,76	±	1,98	2*	86,88	0,78	77,32	19,12	0,97	76,73	0,76
Placero-Chileno	67,60	±	3,12	2*	87,84	0,77	77,72	20,24	1,03	77,06	0,77
CC-189	66,68	±	2,91	3	88,01	0,76	77,35	21,33	1,08	76,61	0,76
Rilia	65,76	±	1,03	3	90,77	0,72	78,27	25,01	1,26	77,26	0,78
Melvis negro	65,67	±	1,21	3	83,27	0,79	74,47	17,60	0,89	73,95	0,71
Tropical M-10	65,21	±	2,80	3	87,17	0,75	76,19	21,96	1,10	75,39	0,74
CC-370	64,82	±	2,82	3	84,37	0,77	74,60	19,55	0,98	73,95	0,71
Inca-17	64,68	±	1,10	3	81,27	0,80	72,98	16,59	0,84	72,50	0,69
CC-1710	63,60	±	2,49	3	86,61	0,73	75,11	23,01	1,23	74,22	0,74
CC-1611-c	63,29	±	2,28	3	86,73	0,73	75,01	23,44	1,16	74,09	0,72
Sapo Grande	63,20	±	2,55	3	86,14	0,73	74,67	22,94	1,14	73,78	0,72
Summerset-VF	62,96	±	2,28	3	79,84	0,79	71,40	16,88	0,86	70,90	0,66
Amalia	62,63	±	2,95	3	83,99	0,75	73,31	21,36	1,02	72,53	0,69
CC-1788	62,43	±	2,19	3	78,00	0,80	70,22	15,57	0,79	69,78	0,65
L-10-3	62,12	±	3,39	3	80,67	0,77	71,40	18,55	0,93	70,79	0,66
Sub Artic Plenty	61,86	±	2,14	3	83,93	0,74	72,90	22,07	1,09	72,05	0,69
C-47	61,68	±	2,51	3	87,37	0,71	74,53	25,69	1,26	73,41	0,72
Lignon	61,47	±	1,96	3	89,49	0,69	75,48	28,02	1,37	74,17	0,73
P-1030	61,35	±	2,52	3	84,17	0,73	72,76	22,82	1,13	71,86	0,69
Criollo Quivicán	61,32	±	2,70	3	84,43	0,73	72,88	23,11	1,14	71,95	0,69
Rossoll	61,04	±	2,35	3	83,61	0,73	72,33	22,57	1,12	71,44	0,68
HC-7880	61,01	±	1,05	3	80,56	0,76	70,79	19,55	0,98	70,11	0,66
Campbell-28	60,99	±	1,19	3	80,09	0,76	70,54	19,10	0,96	69,89	0,65
CC-1752	60,76	±	2,51	3	83,62	0,73	72,19	22,86	1,13	71,28	0,68
C-53	60,67	±	1,33	3	90,97	0,67	75,82	30,30	1,47	74,29	0,74
C-14	60,56	±	1,79	3	78,20	0,77	69,38	17,64	0,89	68,82	0,63
Somaclón-37	60,46	±	0,94	3	87,51	0,69	73,99	27,05	1,32	72,74	0,71
C-18	60,38	±	1,69	3	87,51	0,69	73,95	27,13	1,32	72,69	0,71
3c	60,06	±	2,41	3	79,46	0,76	69,76	19,40	0,94	69,08	0,64

Mariela	59,99	±	2,13	3	80,45	0,75	70,22	20,46	1,02	69,47	0,65
CC-86	59,22	±	1,03	3	81,01	0,73	70,12	21,79	1,08	69,26	0,65
Inifat-28	58,27	±	1,92	3	80,23	0,73	69,25	21,96	1,09	68,37	0,63
Jumbo	57,93	±	1,87	4	82,37	0,70	70,15	24,44	1,20	69,08	0,65
H-2653-91	57,46	±	2,57	4	81,95	0,70	69,71	24,49	1,20	68,62	0,64
Roma	57,02	±	1,58	4*	80,92	0,70	68,97	23,90	1,18	67,93	0,63
Puro-812	56,97	±	2,11	4*	85,52	0,67	71,25	28,55	1,38	69,80	0,66
CC-1926	56,67	±	3,08	4*	85,96	0,66	71,32	29,29	1,41	69,80	0,66
Inca-33	56,61	±	2,17	4*	82,01	0,69	69,31	25,40	1,24	68,14	0,63
Marmande verde	56,46	±	2,19	4*	78,91	0,72	67,69	22,45	1,11	66,75	0,61
Tropic	56,12	±	2,28	4*	78,83	0,71	67,48	22,71	1,13	66,51	0,61
Floradel	55,31	±	2,15	4*	79,42	0,70	67,37	24,11	1,19	66,28	0,61
AN-87-1	55,26	±	1,88	4*	81,70	0,68	68,48	26,44	1,29	67,19	0,62
Virginia	55,04	±	1,66	4*	76,97	0,72	66,01	21,93	1,10	65,09	0,59
Sunny C	54,93	±	0,00	4*	78,75	0,70	66,84	23,82	1,18	65,77	0,60
Imperial	54,63	±	2,01	4*	78,53	0,70	66,58	23,90	1,18	65,50	0,59
Atlético	53,91	±	1,48	5	86,98	0,62	70,45	33,07	1,57	68,48	0,65
L-35	53,64	±	2,35	5	77,72	0,69	65,68	24,08	1,19	64,57	0,58
Santa Clara	53,52	±	2,92	5	80,35	0,67	66,94	26,83	1,31	65,58	0,60
C-63	53,43	±	2,07	5	82,92	0,64	68,18	29,49	1,42	66,56	0,61
NC-NBR-1	53,16	±	2,77	5	80,42	0,66	66,79	27,26	1,33	65,38	0,60
AN-52-1	52,91	±	2,19	5	81,83	0,65	67,37	28,92	1,40	65,80	0,60
NC-NBR-2	52,59	±	1,90	5	77,07	0,68	64,83	24,48	1,22	63,66	0,57
C-26	51,62	±	1,51	5	80,87	0,64	66,25	29,25	1,42	64,61	0,59
CC-2781	50,71	±	0,00	5	77,19	0,66	63,95	26,48	1,31	62,56	0,56
C-27	50,55	±	1,07	5	85,61	0,59	68,08	35,06	1,65	65,78	0,61
Ciudad Real	50,14	±	3,08	5	78,11	0,64	64,13	27,97	1,37	62,58	0,56
HC-3880	49,74	±	1,76	5	79,43	0,63	64,59	29,69	1,44	62,86	0,56
9A	49,73	±	2,49	5	79,17	0,63	64,45	29,44	1,43	62,75	0,56
4A	49,67	±	2,19	5	80,45	0,62	65,06	30,78	1,49	63,21	0,57
1B	49,04	±	2,37	5	79,89	0,61	64,47	30,85	1,49	62,59	0,56
AN-104-1	48,09	±	2,74	5	79,68	0,60	63,89	31,59	1,53	61,90	0,55
MP-1	47,90	±	2,74	5	79,77	0,60	63,84	31,87	1,54	61,81	0,55
C-28	37,44	±	1,96	6	77,63	0,48	57,54	40,19	1,95	53,91	0,47
PE-39	0,00	±	2,83	6	78,27	0,00	39,14	78,27	5,00	0,00	0,00
Ac.1159	0,00	±	2,31	6	76,79	0,00	38,40	76,79	5,00	0,00	0,00
BG-140	0,00	±	1,67	6	69,12	0,00	34,56	69,12	5,00	0,00	0,00
LA-716	0,00	±	0,00	6	57,14	0,00	28,57	57,14	5,00	0,00	0,00
Media	69,02	±	1,86		87,66	0,77	78,34	18,65	1,01	76,51	0,83

FP: fructificación potencial; FE: fructificación en condiciones de estrés; FM: fructificación media; TOL: tolerancia; ISE: índice de susceptibilidad al estrés; FGE: fructificación geométrica del estrés; ITE: índice de tolerancia al estrés; IT: índice de tolerancia relativo
Intervalo de confianza (IC): Nagcarlang (98,43-100 %); Amalia (59,68-65,58 %); AN-104-1 (45,35-50,83%), Nivel de Significación $p < 0,001$
*: accesiones que pueden estar incluidas en dos clases contiguas de acuerdo a su IC

Estos daños graves al sistema reproductor, que pueden incidir en el cuajado de los frutos en condiciones de altas temperaturas, se intensifican en países tropicales, donde se registran temperaturas que raras veces están por debajo de 20°C, incluso durante los meses más frescos del año, en que las condiciones de siembra a cielo abierto distan mucho de las exigencias ecológicas de los cultivos hortícolas, por lo que se han observado afectaciones aún en cultivos que, como el tomate, pueden desarrollarse en un amplio rango de condiciones climáticas (4).

La presencia de accesiones con altos porcentajes de fructificación en el período de primavera-verano indica que, en el germoplasma que se conserva *ex situ* en Cuba, existen accesiones tolerantes al calor, que pueden ser explotadas en los programas de mejoramiento genético para obtener variedades y/o híbridos con buen comportamiento morfoagronómico en estas condiciones, como se puede apreciar en la Tabla III, que muestra la clasificación de las 122 accesiones estudiadas en clases, a partir del porcentaje de fructificación en el período de primavera-verano, atendiendo a los intervalos de confianza de los tres controles empleados.

Tabla III. Intervalos de confianza para Nagcarlang, Amalia y AN-104-1; clases formadas a partir de estos valores y rangos de variación de los diferentes criterios de tolerancia al estrés

Controles	FE (%)	Clase	Número de accesiones	FP (%)	FGE	TOL	IT	ISE	ITE
Nagcarlang	98,43-100	1	11	97,08-100	96,52-100	0-3,31	0,97-1,00	0-0,16	1,23-1,32
	65,59-98,42	2	46	84,60-98,48	76,18-96,93	1,12-25,05	0,74-0,99	0,06-1,24	0,77-1,24
Amalia	59,68-65,58	3	30	78,00-90,97	68,37-77,26	15,57-30,30	0,67-0,80	0,95-1,59	0,62-0,79
	50,84-59,67	4	13	76,97-85,96	65,09-69,80	21,92-29,30	0,66-0,72	1,35-1,62	0,56-0,64
AN-104-1	45,35-50,83	5	17	77,07-86,98	61,81-68,38	24,08-35,06	0,59-0,69	1,48-1,95	0,5-0,62
	0,00-50,82	6	5	57,14-78,27	0,00-53,91	40,20-78,27	0,00-0,48	2,47-4,76	0-0,38

Algunos han empleado las diferencias del rendimiento en los períodos estresantes y no estresantes para el análisis de varios criterios de tolerancia (10, 19, 20), 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 calor (21, 22) y tener una mayor heredabilidad que el rendimiento en nuestras condiciones (1, 23).

Según los resultados, en la clase 1 se ubicaron las accesiones con mayores valores de FE, similar al control tolerante al calor, Nagcarlang, y fueron las de mejor comportamiento en este período. Las clases 3 y 5 la integran las accesiones con rangos de variación de FE comprendidos entre 59,68-65,58 y 45,35-50,83 %, que correspondieron a los intervalos de confianza de las accesiones Amalia y AN-104-1, respectivamente, utilizadas como controles. Las clases 2, 4 y 6 contemplan las accesiones cuyos porcentajes de fructificación no fueron incluidos en las clases 1, 3 y 5.

De esta forma y según los valores promedio del porcentaje de fructificación en condiciones de primavera-verano, se clasificaron las 122 accesiones en seis clases fundamentales, compuestas por 11, 46, 30, 13, 17 y 5 accesiones respectivamente, encontrándose que el 77 % de estas estuvieron correctamente clasificadas, ya que solo 28 de ellas (23 %), por sus intervalos de confianza de % FE, podrían estar ubicadas indistintamente en dos clases contiguas (Tabla III).

Como se observa en esta tabla, la clase 1 se caracterizó por presentar valores de FGE superiores a 96,52; ITE entre 1,23 y 1,32; IT por encima de 0,97, y valores más pequeños de TOL e ISE, con rangos comprendidos entre 0-3,31 y 0-0,16, respectivamente. Esta clase la integraron, además de Nagcarlang, las accesiones P-1634, LA-2807, P-531, Mex-12, P-1476, Mex-103, P-1441 y Cimarrón 3 de la especie *S. lycopersicum* variedad *Cerasiforme*, así como la Ac.1000 y BG-56 de *S. pimpinellifolium* (Tabla II).

Las 30 accesiones que conformaron la clase 2 presentaron, en general, criterios de tolerancia IT, FM, FGE e ITE, así como ISE y TOL intermedios entre las clases 1 y 3. La clase 3 estuvo representada por 30 accesiones y se caracterizó por presentar valores de ITE, IT y FGE superiores a 0,62, 0,67 y 68,37, respectivamente, y rangos de variación para los criterios TOL e ISE superiores a

los encontrados en la clase 2. En esta clase, conjuntamente con la accesión Amalia, se ubicaron las accesiones INCA-17, INCA-9(1), Mariela, Lignon y L-10-3, con cierta adaptación a las condiciones tropicales, recomendadas para la apertura y el cierre de campaña, por su buen comportamiento agronómico cuando se siembran fuera del período óptimo del cultivo (13, 24), así como Sapo Grande, una variedad local de Holguín adaptada a condiciones tropicales (25).

Asimismo, en las Tablas II y III se observa que la clase 4 quedó constituida por 13 accesiones, presentando valores de los diferentes criterios de tolerancia IT, FGE, ITE y FM inferiores a los de la clase 3, así como ISE y TOL superiores. En la clase 5 se ubicaron 17 accesiones. Conjuntamente con la accesión AN-104-1, escogida como control susceptible, se situaron las variedades 1B, 4A, 9A, C-26 y C-27, de reciente introducción al país, así como MP-1, Santa Clara, HC-3880 y CC-2781, estas dos últimas seleccionadas como controles susceptibles a condiciones de altas temperaturas (26), atendiendo a las características morfológicas presentes en sus flores en las siembras efectuadas en primavera-verano.

La última clase (clase 6) quedó representada con las accesiones de más bajos valores de FE (menor de 50,82 %), IT e ITE (por debajo de 0,38 y 0,48, respectivamente) y FGE (0-53,91), así como los más altos índices de ISE y TOL (2,47-4,76 y 40,20-78,27, respectivamente). Se agruparon en esta clase las accesiones de las especies silvestres más alejadas de *S. lycopersicum*, como PE-39, BG-140, Ac.1159 y LA-716, y la variedad C-28, recientemente introducida.

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 IV, Figura 1). Este análisis permitió constatar que las dos primeras componentes explicaron el 98,69 % de la variabilidad encontrada, siendo los indicadores FE, IT, TOL, FGE e ITE los que más aportaron a la componente 1, mientras que FP e ISE distinguieron a la componente 2.

En cuanto al comportamiento de las accesiones, se percibió un grupo central que agrupó a la mayoría de las accesiones, aunque hubo cuatro situadas en la parte inferior izquierda del plano xy, que correspondieron a las cuatro especies silvestres más distantes de

S. lycopersicum, PE-39, LA-716, BG-140 y la accesión 1159, las de peor comportamiento a nivel de planta (no. 93 en la Figura 1), ya que no fueron capaces de fructificar en el período de primavera-verano. Estas accesiones se caracterizaron por estar más cerca de las coordenadas de ISE y TOL, y más alejadas de FE, ITE y FGE.

Tabla IV. Valores de inercia absorbida y acumulada, y contribuciones relativas de los indicadores evaluados según el análisis de Componentes Principales Biplot

	Componente 1	Componente 2
Inercia absorbida (%)	89,51	89,51
Inercia acumulada (%)	9,18	98,69
Contribuciones relativas de los caracteres relacionados con el calor		
FP (%)	109	492*
FE (%)	158*	38
IT	152*	70
TOL	145*	113
ISE	133	231*
FGE	155*	6
ITE	148*	81

*Valores de caracteres de mayor contribución

La accesión C-28 (no. 15 en la Figura 1) aparece relativamente separada del grupo central y más próxima a esta se encuentran las accesiones ubicadas en la clase 5 (representadas en rosado), con valores altos de ISE y TOL, siendo las de más bajos porcentajes de fructificación dentro de *S. lycopersicum*. A la derecha se ubicaron las accesiones con más altos valores de FE, FP, FM e ITE, que estuvieron representadas, principalmente, por

las ubicadas en las clases 1 y 2: no. 39 (cimarrón mejorado), 67 (Ottawa-30), 69 (P-1073), 70 (P-1216), 72 (P-1896), 74 (P-306), 77 (Placero Habana), así como las 17 accesiones de *S. lycopersicum* variedad *Cerasiforme* (no. 91) y 11 de *S. pimpinellifolium* (no. 92). De esta forma, las accesiones más susceptibles al estrés de calor se ubicaron en la parte izquierda, mientras las más tolerantes se situaron a la derecha en el plano xy.

La existencia de accesiones, fundamentalmente de *S. lycopersicum*, *S. lycopersicum* variedad *Cerasiforme* y *S. pimpinellifolium*, con valores superiores a Amalia y a las diferentes variedades comerciales obtenidas por los programas de mejora genética del INCA, IIHLD e INIFAT para el porcentaje de fructificación en ambos períodos y los diferentes criterios de tolerancia evaluados, indican que ellas pueden ser utilizadas como progenitores en los programas de mejoramiento genético para tolerancia al calor, con el objetivo de obtener variedades que presenten incrementos en los niveles de tolerancia al calor con respecto a las variedades comerciales actuales.

De manera general, los diferentes criterios facilitan la selección de accesiones tolerantes al calor a nivel de plantas; no obstante, como se observa en la Figura 1, la fructificación en condiciones de primavera-verano se asocia más con los criterios de estrés FGE e ITE. Estos resultados permiten inferir que se puede realizar una selección de accesiones individuales, basada en el porcentaje de fructificación en ambos períodos, partiendo de estos criterios de tolerancia, siendo los criterios FGE e ITE los más relacionados con la fructificación en ambos períodos.

Es de destacar que, de alguna forma, estos criterios han sido utilizados con éxito, para la selección de accesiones tolerantes a estrés ambientales, fundamen-

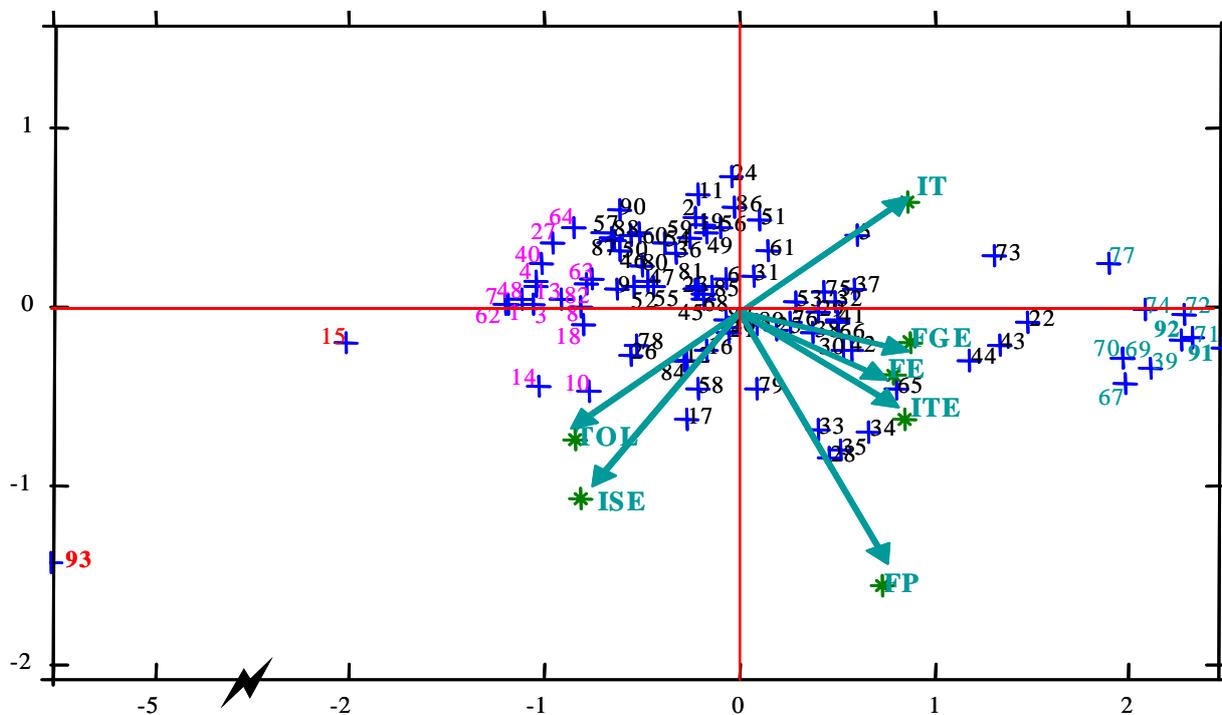


Figura 1. Resultados del análisis Biplot en las 122 accesiones estudiadas

talmente en trigo. Así, Ehdaié empleó el criterio ITE para seleccionar nuevas accesiones tolerantes a la sequía (27), mientras que otros han utilizado los criterios FGE e ITE con estos propósitos (19). Igualmente, IT ha sido empleado para seleccionar accesiones tolerantes a la salinidad en tomate y calor en algodón, respectivamente (28, 23).

CONCLUSIONES

- * En el germoplasma de tomate conservado *ex situ* en la colección cubana existe variabilidad para el porcentaje de fructificación, un carácter que está relacionado con la tolerancia al calor a nivel de planta, determinándose 18 accesiones que, coincidentemente, tuvieron valores superiores para estos y difieren de las variedades comerciales actuales, por lo que constituyen un material valioso para el mejoramiento de la tolerancia al calor en el tomate.
- * Se logró la clasificación de las 122 accesiones estudiadas, por su termoestabilidad de la membrana celular, viabilidad celular y porcentaje de fructificación en el período de primavera-verano, teniendo en cuenta su comportamiento relativo respecto a las accesiones Nagcarlang, Amalia y AN-104-1, de respuesta conocida ante el estrés de calor.
- * Las especies que aportaron una mayor cantidad de accesiones tolerantes al calor fueron *S. lycopersicum* variedad *Cerasiforme* (13), *S. pimpinellifolium* (3) y *S. lycopersicum* (2).

REFERENCIAS

1. Hanson, P. M.; Chen, J. T. y Kuo, J. Gene action and heritability of high-temperature fruit set in tomato line CL5915. *Hort. Sci.*, 2002, vol. 37, no. 1, p. 172-175.
2. Abdelmageed, A. H.; Gruda, N. y Geyer, B. Effects of temperature and grafting on the growth and development of tomato plants under controlled conditions. *En: Rural Poverty Reduction through Research for Development and Transformation* (2004 oct. 5-7: Berlin).
3. Sato, S. y Peet, M. M. Effects of moderately elevated temperature stress on the timing of pollen release and its germination in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *J. Hort. Sci. & Biotech.*, 2005, vol. 80, no. 1, p. 23-28.
4. Gómez, O.; Casanova, A.; Laterrot, H. y Anaïs, G. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova, 2000. 159p.
5. Peet, M. M.; Sato, S. y Clément, C.; Pressman, E. Heat stress increases sensitivity of pollen, fruit and seed production in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to non-optimal vapor pressure deficits. *Acta Hort.*, 2003, vol. 618, p. 209-215.
6. Hernández, H. *et al.* Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. MINAGRI. Ciudad de La Habana. 1999. 107p.
7. Cuba: MINAGRI. Instructivo técnico para organopónicos y huertos intensivos. Ciudad Habana, 1998. 74 p.
8. Fisher, R. A. y Maurer, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Austral. J. Agr. Res.*, 1978, vol. 29, p. 897-917.
9. Rosielle, A. A. y Hamblin, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Sci.*, 1981, vol. 21, p. 943-946.
10. Fernández, G. C. J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *En: Kuo, C.G. eds. Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceeding of an International Symposium* (1992: Taiwan). p. 257-270.
11. Sanjari-Pirayvatlou, A. Relations among yield potential, drought tolerance and stability of yield in bread wheat varieties under water deficit conditions. 2001. [Consulta: Mayo 20, 2005]. Disponible en: [http://www.regional.org.au/au/asa/2001/1/b/sanjarip.htm].
12. Anaïs, G. Tomate. *En: A. Charrier; M. Jacquot; S. Hamon; D. Nicolas eds. Tropical Plant Breeding*. 2001. p. 524-553. CIRAD & Science Publishers, Inc.
13. Álvarez, M.; Armas, G. de y Martínez, B. Amalia y Mariela, dos nuevas variedades de tomate para consumo fresco. *Cultivos Tropicales*, 1997, vol. 18, no. 1, p. 82.
14. Álvarez, M.; Florido, M.; Plana, D. y Moya, C. Informe final del proyecto: Búsqueda y empleo de marcadores en tomate para la tolerancia al estrés de calor y a nematodos. PNCT Biotecnología Agrícola. 2005. Código: 00300176.
15. Varela, M. Los métodos Biplot como herramienta de análisis de interacción de orden superior en modelo lineal/bilineal. [Tesis de Doctorado]. Universidad de Salamanca. 2002. 100p.
16. Peet, M. M. y Bartholemew, M. Effect of night temperature on pollen characteristics, growth and fruit set in tomato. *J. Am. Hort. Sci.*, 1996, vol. 121, no. 3, p. 514-519.
17. Peet, M. M.; Willits, D. H. y Gardner, R. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature. *J. Experimental Botany*, 1997, vol. 48, no. 306, p. 101-111.
18. Sato, S.; Peet, M. M. y Thomas, J. F. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic mild heat stress. *Plant Cell & Environ.*, 2000, vol. 23, p. 719-726.
19. Afiuri, D.; Marjouvi, A. y Rezaei, M. Response of six bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to saline irrigation water. *Asian J. Plant.Sci.*, 2006, vol. 5, no. 6, p. 1057-1060.
20. Porch, T. G. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *J. Agron. Crop Sci.*, 2006, vol. 192, no. 5, p. 390-392.
21. Lin, K. H.; Lo, H. F.; Lee, S. P.; Kuo, C. G.; Chen, J. T. y Yeh, W. L. RAPD markers for the identification of yield traits in tomatoes under heat stress via bulked segregant analysis. *Hereditas*, 2006, vol. 143, p. 142-154.
22. Sato, S.; Kamiyama, M.; Iwata, T.; Makita, N.; Furukawa, H. e Ikeda, H. Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of *Lycopersicon esculentum* by disrupting specific physiological processes in male reproductive development. *Annals of Botany*, 2006, vol. 97, no. 5, p. 731-738.

23. Rahman, H. Environmental interaction, additive and non-additive genetic variability is involved in the expression of tissue and whole-plant heat tolerance in upland cotton (*Gossypium hirsutum*, L.). *Gen. Mol. Biol.*, 2006, vol. 29, no. 3, p. 525-532.
24. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova" (IIHLD). Memorias 25 aniversario. La Habana. Cuba. 1997.
25. Moya, C.; Álvarez, M. y Caballero, A. Evaluación de nuevas líneas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) considerando criterios de los productores en la metodología utilizada. *Cultivos Tropicales*, 2000, vol. 21, no. 3, p. 75-79.
26. Verde, G. Ciclo biológico y fases fenológicas en tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). [Tesis de Maestría]. INCA. 2000. 67 p.
27. Ehdai, B.; Whitkus, R. W. y Waines, J. G. Root biomass, water-use efficiency and performance of wheat-rye translocations of chromosomes 1 and 2 in spring bread wheat 'Pavon'. *Crop Science*, 2003, vol. 43, p. 710-717.
28. Foolad, M. R. y Lin, G. Y. Genetic analysis of cold tolerance during vegetative growth in tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. *Euphytica*, 2001, vol. 122, no. 1, p. 105-111.

Recibido: 7 de octubre de 2008

Aceptado: 1 de junio de 2009



**Otorgado por el Ministerio de Ciencia,
Tecnología y Medio Ambiente
en noviembre del 2007, teniendo en
cuenta la calidad y visibilidad
de la revista "Cultivos Tropicales"**