



# RELACION ENTRE LA TERMOESTABILIDAD DE LA MEMBRANA, LA VIABILIDAD CELULAR Y LOS CRITERIOS DE TOLERANCIA EN LA EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA AL CALOR EN TOMATE (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*)

Relationship among membrane thermostability, cell viability and tolerance criteria on the evaluation of heat tolerance in tomato (*Solanum* L. section *Lycopersicon* subsection *Lycopersicon*)

Marilyn Florido Bacallao<sup>✉</sup>, Marta Álvarez Gil, Mario Varela Nualles, Regla M. Lara Rodríguez, Dagmara Plana Ramos, Tomás Shagarodsky Scull y Carlos Moya López

**ABSTRACT.** This work was developed in order to know if there exists any heat tolerance variability in a representative sample of *ex situ*-preserved tomato (*Solanum* L. section *Lycopersicon* subsection *Lycopersicon*) germplasm from Cuban collections and to identify the most tolerant accessions to be used in plant breeding programs. Thus, the following statistical parameters were calculated: average, range and coefficient of variation of cell membrane thermostability (TMC) and cell viability (VC), tested at tissue level, as well as of the characters and tolerance criteria: potential fruit set (FP), fruit set under stress conditions (FE), stress geometric fruit set (FGE), tolerance (TOL), stress susceptibility index (ISE), stress tolerance value (ITE), and relative tolerance index (ITR), evaluated at plant level. It was also assessed the relationship existing among them, by means of estimating coincidence index of the best and worst accessions, and the correlation between them. It was proved that tissue-level evaluations, especially TMC, had high rates of coincidence and positive correlation with tolerance criteria at plant level, mainly with ITE or FGE, determining 18 accessions, which were coincidentally classified as heat-tolerant through every indicator evaluated, that are proposed as parents in plant breeding programs for heat tolerance in the crop.

**RESUMEN.** El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de conocer si existe variabilidad en cuanto a 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 calcularon los parámetros estadísticos: media, rango y coeficiente de variación de los caracteres termoestabilidad de la membrana celular (TMC) y viabilidad celular (VC), evaluados a nivel de tejido, así como de los caracteres y criterios de tolerancia: fructificación potencial (FP), fructificación en condiciones de estrés (FE), fructificación geométrica del estrés (FGE), tolerancia (TOL), índice de susceptibilidad al estrés (ISE), índice de tolerancia al estrés (ITE) e índice de tolerancia relativo (ITR), evaluados a nivel de planta. Se evaluó, asimismo, la relación existente entre estos, mediante estimaciones del índice de coincidencia de las mejores y peores accesiones, y la correlación existente entre ellos. Se pudo comprobar que las evaluaciones a nivel de tejido, especialmente la TMC, tuvo altos índices de coincidencia y correlación positiva con los criterios de tolerancia a nivel de planta, sobre todo con ITE o FGE, determinándose 18 accesiones que coincidentemente se clasificaron como tolerantes al calor por todos los indicadores evaluados, las cuales se proponen como progenitores en los programas de mejoramiento para tolerancia al calor en el cultivo.

**Key words:** tomato, heat tolerance, cell membranes, temperature, viability

**Palabras clave:** tomate, tolerancia al calor, membranas celulares, temperatura, viabilidad

Dra.C. Marilyn Florido Bacallao y M.Sc. Dagmara Plana Ramos, Investigadoras Auxiliares, Dra.C. Marta Álvarez Gil y Dr.C. Carlos Moya López, Investigadores Titulares, M.Sc. Regla Mercedes Lara Rodríguez, Especialista del departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal; Dr.C. Mario Varela Nualles, Investigador Auxiliar del departamento de Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, CP 32700; M.Sc. Tomás Shagarodsky Scull, Investigador Auxiliar del Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical (INIFAT), Santiago de las Vegas, La Habana, Cuba.

✉ mflorido@inca.edu.cu

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*) es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo, siendo el segundo dentro del género, debido a su papel fundamental en los hábitos alimenticios de una amplia parte de la población mundial.

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 la baja calidad de los frutos en las siembras fuera de ese período, que se atribuyen, entre otros, a los efectos negativos que producen las altas temperaturas y alta humedad relativa sobre las estructuras reproductivas, ocasionando un cuajado pobre de los frutos y la disminución de la producción (1); de ahí que estos constituyan factores importantes que inciden en la baja producción de tomate en los ambientes tropicales (2, 3, 4).

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. Este efecto se agrava si dichas elevaciones coinciden con períodos lluviosos, pues aumenta la incidencia de enfermedades y plagas, fundamentalmente cuando la explotación del cultivo se realiza a cielo abierto (5, 6).

De ahí que resulte de gran importancia para Cuba y aquellos países con condiciones medioambientales semejantes, incluir entre los objetivos de los programas de mejora genética la obtención de variedades de tomate con alta tolerancia al calor, siendo el recurso genético de partida la variabilidad genética disponible en las colecciones conservadas *ex situ* e *in situ*.

La evaluación de la tolerancia al calor en las plantas es difícil, por ser un carácter complejo y multifactorial, más aún si se trata de evaluar numerosas accesiones, en cuyo caso se necesitan métodos de tamizaje rápidos, baratos, no destructivos, que se realicen en etapas tempranas del desarrollo de la planta y que guarden relación con el comportamiento posterior a nivel de planta. Se ha informado la utilidad de algunos métodos para evaluar la tolerancia al estrés (3, 7, 8), como el de termoestabilidad de la membrana y viabilidad celular, así como la estimación de diversos criterios de tolerancia al estrés basados en el rendimiento, los que no han sido aplicados en los programas de mejoramiento genético del tomate.

Uno de los indicadores más importantes de la tolerancia al calor en el tomate a nivel de planta es la capacidad de

fructificación o cuajado de los frutos en ambientes estresantes, de manera que aquellas variedades con mayor capacidad para la fructificación en altas temperaturas y humedad, resultan las más adecuadas para la producción del tomate en los trópicos (9), por lo que cualquier método empleado para el tamizaje de las accesiones de tomate deberá estar asociado a este aspecto.

Es por todo lo antes expuesto que se planteó evaluar si existe variabilidad en la tolerancia al calor en una muestra representativa de germoplasma de tomate conservada *ex situ* en el país, mediante criterios de tolerancia al estrés a nivel de planta y la termoestabilidad de la membrana y viabilidad celular a nivel de tejido, así como la relación entre estos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo se tomó una muestra de germoplasma de la colección de tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*) conservada *ex situ* en el país integrada por diferentes especies (Tabla I), 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 en Agricultura Tropical (INIFAT) y 27 de la colección de trabajo de la Estación Experimental «La Mayora» del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. Estas accesiones representan el 14,28 % de las presentes en la colección nacional, pues en total se cuenta con 854 accesiones, según informes recientes (10).

Para los análisis a nivel de tejido se tomaron semillas de las 122 accesiones de tomate y se pre-germinaron en placas de Petri con agua destilada hasta la emergencia de las radículas. Posteriormente, estas se transfirieron a cepellones de 196 alveolos de 30 cm<sup>3</sup> de capacidad, que contenían una mezcla de cachaza:zeolita y suelo Ferralítico Rojo compactado (11) en proporción 1:2:1, a razón de seis plantas por accesión, mediante un diseño completamente aleatorizado, los cuales se ubicaron en cuartos de crecimiento a temperatura controlada de 25±2°C, humedad relativa del 80 %, con fotoperíodo de 16/8h luz/oscuridad e intensidad de la luz de 200 μmol fotonos.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

**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	Origen
<i>S. lycopersicum</i>	90	36	33	11	10	Cuba, España, EE.UU., Taiwán, Canadá, Brasil, Italia, Irán
<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	17	10			7	Cuba, Perú, México, Ecuador, Bolivia, Filipinas
<i>S. pimpinellifolium</i>	11	10			1	Cuba, Perú, México, Ecuador
<i>S. habrochaites</i>	1	1				Perú
<i>S. peruvianum</i>	2	2				Perú
<i>S. pennellii</i>	1	1				Perú

Total: total de accesiones por especie; Introducción: las introducidas en el país; Hibridación: las obtenidas por programas de hibridación; Selección: las obtenidas por programas de selección a partir de variedades o híbridos; Colecta: las prospectadas en diferentes regiones del país

A los 15 días después de germinadas las plántulas, se tomaron al azar muestras de hojas y se transportaron al laboratorio para realizarles los análisis de termoestabilidad de la membrana y viabilidad celular correspondientes. Se escogieron en ambos análisis las temperaturas de 45 y 43°C, que fueron las que mejor diferenciación presentaron en las evaluaciones previas de TMC y VC, efectuados con diferentes tratamientos de calor en los cultivares Nagcarlang y Campbell-28 (datos no mostrados). Estos ensayos se realizaron dos veces en el tiempo.

Para el ensayo *in vitro* de la termoestabilidad de la membrana celular (TMC), se siguió la metodología descrita (12), utilizando muestras de cinco discos de hojas al azar con aproximadamente 90 mm de diámetro de las diferentes accesiones, en lugar de segmentos de hojas. La termoestabilidad de la membrana celular para cada accesión en estudio se calculó sobre la base de la fórmula citada (12).

$$TMC (\%) = \frac{(1-(T1/T2))}{(1-(C1/C2))} \times 100$$

donde:

T: conductividad de los tratamientos (45°C durante 90 min)  
C: conductividad de los controles (25°C durante 90 min)  
1 y 2: lecturas previa y posterior al tratamiento de muerte total respectivamente.

El análisis de la viabilidad celular (VC) por reducción del cloruro de 2,3,5 trifenil tetrazolio (TTC) se efectuó siguiendo la metodología descrita (11), tomando en lugar de segmentos de hojas, muestras al azar de la segunda hoja verdadera de las diferentes accesiones en estudio, a las que se le extrajeron tres discos de aproximadamente 45 mm de diámetro. La temperatura a la cual se sometieron seis viales a 43°C durante 90 min en baño de María termostático. Se determinó la VC por el porcentaje de reducción del TTC a formazán, utilizando la fórmula descrita (11):

$$VC (\%) = \frac{DO \text{ estrés}}{DO \text{ control}} \times 100$$

donde:

DO estrés: valores de densidad óptica de los tratamientos de estrés (43°C durante 90 min) a 530 nm  
DO control: valores de densidad óptica de los tratamientos controles (25°C durante 90 min) a 530 nm

Para el análisis a nivel de plántulas se tomaron las 122 accesiones de tomate y se sembraron en período óptimo (octubre-febrero) y de primavera-verano (mayo-agosto), a razón de 10 plantas/accesión, en canaletas de asbesto cemento al aire libre cubiertas con tela sarán, que contenían una mezcla de suelo Ferralítico Rojo compactado -Ferralsol éutrico- (11) y cachaza en proporción 3:1. Se utilizó una distancia de plantación de 0,90x0,25 m. Se evaluaron en ambos períodos los porcentajes de fructificación en los cuatro primeros racimos, los cuales se utilizaron para el cálculo de algunos criterios de tolerancia al estrés, basados en el comportamiento diferencial de las accesiones en ambientes estresantes y no estresantes.

Se escogió este carácter por ser uno de los indicadores más importantes de tolerancia al calor en el tomate a nivel de planta.

Los criterios de tolerancia al estrés empleados fueron: índice de susceptibilidad al estrés (ISE), valor de tolerancia al estrés (TOL), índices de tolerancia al estrés (ITE), fructificación geométrica del estrés (FGE) y de tolerancia relativo (IT) (13, 14).

Los cálculos de los 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.

Para saber si existe variabilidad en la muestra de germoplasma evaluado, en cuanto a la tolerancia al calor, se calcularon los parámetros estadísticos: media, rango y coeficiente de variación de los caracteres TMC y VC, evaluados a nivel de tejido, y de los caracteres y criterios de tolerancia: FP, FE, FGE, TOL, ISE, ITE e IT, evaluados a nivel de planta. Los análisis se efectuaron mediante el paquete estadístico SPSS versión 11.0, sobre Windows.

Asimismo, se evaluó la correlación existente entre TMC y VC con las efectuadas a nivel de planta (caracteres y criterios de tolerancia), mediante el coeficiente de correlación simple de Pearson. Igualmente, se estimaron las accesiones que coincidentemente presentaron los valores mayores y más bajos de tolerancia, teniendo en cuenta todas las evaluaciones de TMC, VC y de los caracteres y criterios de tolerancia relacionados con el porcentaje de fructificación evaluado, tomando como criterio un índice de coincidencia del 25 % (30 accesiones).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se muestran los rangos de variación y estadígrafos que caracterizaron a los caracteres y criterios relacionados con la tolerancia al calor en la muestra de germoplasma de tomate evaluada.

Se pudo comprobar que en la muestra de germoplasma existe variabilidad entre los diferentes caracteres y criterios de tolerancia al calor, lo cual se evidencia en el amplio rango de variación de estos altos

coeficientes de variación, la que puede ser explotada en los programas de mejoramiento genético de la especie. En este sentido, los criterios TOL e ISE fueron los más variables con coeficientes de variación de 75,66 y 84,34 %, y rangos comprendidos entre 0-78,27 y 0-4,76, respectivamente. El porcentaje de fructificación en condiciones de estrés y el ITE oscilaron entre 0-100 y 0-1,32 %, con coeficientes de variación de 30,28 y 36,86 %, respectivamente. El resto de los indicadores fueron menos variables, presentando coeficientes de variación entre 9,11-24,71 %.

**Tabla II. Rangos de variación y estadígrafos que representan los caracteres y criterios relacionados con la tolerancia al calor en la muestra de germoplasma estudiada**

Caracteres o criterios de tolerancia	Media	Rango	CV (%)
FP	87,69 %	57,14–100 %	9,11
FE	69,04 %	0–100 %	30,28
FGE	76,53 %	0–100 %	24,43
TOL	18,65	0–78,27	75,66
ISE	1,08	0-4,76	84,34
ITE	0,82	0–1,32	36,86
IT	0,77	0–1,00	24,71
VC	65,78	44,62-78,13 %	9,61
TMC	66,59 %	40,32-83,87 %	12,66

También se destaca que el porcentaje de fructificación de las accesiones en condiciones estresantes varió más (30,28 %) que el porcentaje de fructificación potencial (9,11 %), lo que demuestra que las condiciones climáticas imperantes en el período de primavera-verano permitieron que se expresaran más las diferencias en el comportamiento de las accesiones que en el período óptimo. Asimismo, a nivel de tejido, fue más variable el carácter termoestabilidad de la membrana (12,66 %) que la viabilidad celular (9,61 %).

La interrelación entre los criterios evaluados a nivel de tejido y planta fue altamente significativa (Tabla III), lo cual es una de las premisas fundamentales para el empleo de

los métodos de tamizaje a nivel de tejido. Cabe destacar que tanto TMC como VC estuvieron correlacionados significativamente entre ellos así como con todos los criterios de estrés evaluados y los porcentajes de fructificación en ambos períodos, aunque los valores de correlación con TMC fueron superiores a los de VC. En este sentido, también se encontraron mayores asociaciones entre los caracteres TMC y el rendimiento en las variedades de trigo sembradas en dos períodos de siembra que entre VC y el rendimiento (12).

Una vez sabido que existían asociaciones significativas entre los caracteres y criterios estudiados, se procedió a conocer en qué medida coincidió la clasificación de las accesiones por uno u otro indicador evaluado, utilizando para ello el 25 % de ellas (30 accesiones). Esto permitió seleccionar por cada indicador cuáles eran las 30 accesiones que presentaron mayores o menores valores de los diferentes criterios relacionados con la tolerancia al calor, muy útil para seleccionar materiales fundamentalmente tolerantes, los cuales pudieran utilizarse en diferentes programas de mejoramiento genético para incrementar la tolerancia al calor de los cultivares existentes, ya que a pesar de encontrarse dentro del germoplasma accesiones como Amalia, que presenta determinado grado de tolerancia al calor, este solo puede sembrarse para la apertura y el cierre de campaña (15). Los resultados de los índices de coincidencia de estos, al clasificar el 25 % de las mejores accesiones, se muestran en las Tablas IV y V, mientras las de peor comportamiento frente al calor aparecen en las Tablas VI y VII.

En cuanto a la clasificación de las mejores accesiones, se aprecia que TMC (%) tuvo más altos valores de coincidencia con los criterios de tolerancia que VC (%), destacándose la coincidencia con ITE y FGE, además de mostrar valores altos con el porcentaje de fructificación en el período de primavera-verano (FE) y la fructificación en el período óptimo (FP), lo cual es conveniente, ya que tales accesiones muestran mayores valores de fructificación en ambos períodos de siembra. El carácter VC, de igual forma, presentó mayor coincidencia con ITE y FGE, que con el resto de los criterios de tolerancia analizados.

**Tabla III. Coeficientes de correlación entre los caracteres evaluados a nivel de tejido y los criterios de tolerancia al calor evaluados a nivel de planta**

	FP	FE	FGE	IT	TOL	ISE	ITE	TMC	VC
TMC (%)	0,79**	0,84**	0,78**	0,77**	-0,80**	-0,77**	0,86**	1	
VC (%)	0,72**	0,63**	0,51**	0,50**	-0,54**	-0,50**	0,69**	0,78**	1

\*\* Significativo para  $p < 0,05$

**Tabla IV. Índices de coincidencia entre los diferentes criterios empleados para clasificar el 25 % de las mejores 30 accesiones**

	FP	FE	FGE	IT	TOL	ISE	ITE	TMC	VC
TMC (%)	0,80	0,83	0,80	0,77	0,77	0,73	0,80	1	
VC (%)	0,73	0,77	0,80	0,73	0,73	0,70	0,77	0,77	1

**Tabla V. Accesiones que coincidentemente presentaron los mayores valores de tolerancia al calor en la muestra de germoplasma analizada por los caracteres y criterios relacionados con la tolerancia al calor (25 % de las accesiones)**

TMC	VC	FP (%)	FE (%)	ITE	IT	ISE	TOL	FGE
Ac.1000 (73,90)	Ac.1000 (75,41)	Ac.1000 (97,98)	Ac.1000 (96,23)	Ac.1000 (1,29)	Ac.1000 (0,98)	Ac.1000 (0,19)	Ac.1000 (1,75)	Ac.1000 (97,10)
BG-56 (76,18)	BG-56 (79,27)	BG-56 (100)	BG-56 (100)	BG-56 (1,62)	BG-56 (1,00)	BG-56 (0,00)	BG-56 (0,00)	BG-56 (100)
BG-90 (73,63)	BG-90 (73,77)	BG-90 (98,04)	BG-90 (95,50)	BG-90 (1,27)	BG-90 (0,97)	BG-90 (0,26)	BG-90 (2,54)	BG-90 (96,76)
CC-172 (72,87)	CC-172 (75,41)	CC-283 (96,03)	Ciapan 31-5 (91,84)	Cimarrón 3 (1,27)	Ciapan 31-5 (0,99)	Ciapan 31-5 (0,09)	Ciapan 31-5 (1,20)	Cimarrón 3 (96,82)
Cimarrón 3 (71,33)	CC-I-289-y-500 (73,67)	Cimarrón 3 (97,22)	Cimarrón 3 (96,43)	Cimarrón Inifat (1,17)	Cimarrón 3 (0,99)	Cimarrón 3 (0,08)	Cimarrón 3 (0,79)	Cimarrón Inifat (94,34)
Cim. Mejorado (70,72)	Cimarrón 3 (873,07)	Cimarrón Inifat (97,22)	Cimarrón Inifat (91,54)	Cim. mejorado	Cimarrón Inifat (0,94)	Cimarrón Inifat (0,46)	Cimarrón Inifat (5,68)	Cim. mejorado
CL11D-0-2-1 (72,98)	Cimarrón Inifat (72,84)	Cim. Mejorado (97,58)	Cim. Mejorado (91,88)	Epcu-2 (1,24)	Cim. mejorado	Cim. mejorado	Cim. mejorado	Epcu-2 (95,92)
Epcu-2 (72,02)	Cim. Mejora-do (74,52)	Epcu-2 (97,99)	Epcu-2 (93,89)	ES-90 (1,21)	Epcu-2 (0,96)	Epcu-2 (0,38)	Epcu-2 (4,10)	ES-90 (95,58)
L-10-3 (74,34)	CL1131-0-0-38-40 (75,93)	ES-90 (96,71)	ES-90 (94,46)	<i>L.pimpinellif</i> (1,17)	ES-90 (0,98)	ES-90 (0,20)	ES-90 (2,25)	<i>L.pimpinellif</i> (94,58)
LA-2807 (73,26)	CL1131-0-0-7-2-9 (73,48)	LA-2807 (97,44)	<i>L.pimpinellif</i> (93,33)	LA-2807 (1,27)	<i>L.pimpinellif</i> (0,97)	<i>L.pimpinellif</i> (0,21)	<i>L.pimpinellif</i> (2,51)	LA-2807 (96,80)
LA-2871 (73,53)	CL11D-0-2-1 (75,84)	LA-2871 (96,38)	LA-2807 (96,17)	LA-2871 (1,22)	LA-2807 (0,99)	LA-2807 (0,13)	LA-2807 (1,27)	LA-2871 (95,82)
mex 121-a (70,40)	ES-90 (74,43)	Mex-103 (98,03)	LA-2871 (95,26)	Mex-103 (1,30)	LA-2871 (0,99)	LA-2871 (0,11)	LA-2871 (1,12)	Mex-103 (97,55)
Mex-103 (71,95)	<i>L.pimpinellif</i> (74,92)	Mex-12 (98,48)	Mex-103 (96,59)	Mex-12 (1,35)	Mex-103 (0,99)	Mex-103 (0,16)	Mex-103 (1,44)	Mex-12 (98,21)
Mex-12 (78,13)	LA-2807 (73,16)	Mex-121-A (96,43)	Mex-12 (97,94)	Mex-121-A (1,18)	Mex-12 (0,99)	Mex-12 (0,07)	Mex-12 (0,54)	Mex-121-A (94,82)
Nagcarlang (75,32)	LA-2871 (72,84)	Nagcarlang (100)	Mex-121-A (93,23)	Nagcarlang (1,52)	Mex-121-A (0,97)	Mex-121-A (0,27)	Mex-121-A (3,20)	Nagcarlang (99,50)
P-1073 (72,10)	mex 121-a (74,61)	Otawa-30 (97,85)	Nagcarlang (99,41)	Otawa-30 (1,18)	Nagcarlang (1,01)	Nagcarlang (0,34)	Nagcarlang (0,99)	Otawa-30 (93,95)
P-1216 (73,24)	Mex-103 (77,19)	P-1073 (96,63)	P-1410 (94,33)	P-1410 (1,22)	P-1410 (0,97)	P-1410 (0,24)	P-1410 (2,63)	P-1410 (95,64)
P-1410 (74,99)	Mex-12 (83,40)	P-1216 (96,67)	P-1441 (96,59)	P-1441 (1,43)	P-1441 (0,97)	P-1441 (0,59)	P-1441 (3,41)	P-1441 (98,28)
P-1441 (77,04)	Nagcarlang (80,94)	P-1410 (96,96)	P-1476 (96,93)	P-1476 (1,31)	P-1476 (0,99)	P-1476 (0,15)	P-1476 (1,25)	P-1476 (97,55)
P-1476 (74,43)	P-1073 (79,26)	P-1441 (100)	P-1634 (98,93)	P-1634 (1,38)	P-1634 (0,99)	P-1634 (0,12)	P-1634 (0,85)	P-1634 (98,50)
P-1634 (74,92)	P-1410 (73,96)	P-1476 (98,18)	P-1896 (93,68)	P-1896 (1,18)	P-1896 (0,98)	P-1896 (0,18)	P-1896 (2,10)	P-1896 (94,72)
P-1896 (74,09)	P-1441 (76,80)	P-1634 (98,08)	P-306 (91,36)	P-531 (1,26)	P-306 (0,96)	P-306 (0,26)	P-306 (3,51)	P-531 (96,50)
P-306 (70,77)	P-1634 (80,28)	P-531 (98,18)	P-531 (91,52)	P-809-B (1,20)	P-531 (0,99)	P-531 (0,12)	P-531 (1,16)	P-809-B (95,32)
P-531 (872,24)	P-1896 (77,54)	P-809-B (96,31)	P-809-B (94,34)	P-931 (1,20)	P-809-B (0,98)	P-809-B (0,17)	P-809-B (1,97)	P-931 (94,79)
P-809-B (76,24)	P-531 (83,87)	P-931 (98,18)	P-931 (91,52)	PE-10 (1,23)	PE-10 (0,97)	PE-10 (0,31)	PE-10 (3,34)	PE-10 (95,88)
P-931 (72,46)	P-809-B (76,14)	PE-10 (97,56)	PE-10 (94,22)	PE-15 (1,12)	PE-15 (0,97)	PE-15 (0,07)	PE-15 (2,48)	PE-15 (94,07)
PE-10 (70,96)	P-931 (873,62)	PE-62 (96,09)	PE-15 (92,84)	PE-62 (1,19)	PE-62 (0,98)	PE-62 (0,19)	PE-62 (2,26)	PE-62 (94,95)
PE-2 (71,03)	PE-64 (75,66)	PE-64 (97,06)	PE-62 (93,83)	PE-64 (1,20)	PE-64 (0,96)	PE-64 (0,33)	PE-64 (3,80)	PE-64 (95,14)
PE-64 (73,91)	Tropical M-10 (77,06)	Silvestre 4 (97,53)	PE-64 (93,26)	Silvestre 4 (1,18)	Placero-Habana	Placero-Habana	Placero-Habana	Silvestre 4 (94,41)
West Virgen (71,08)	West Virgen (74,49)	West Virgen (98,48)	Silvestre 4 (91,39)	West Virgen (1,29)	West Virgen (0,97)	West Virgen (0,32)	West Virgen (3,08)	West Virgen (96,93)
			West Virgen (95,40)					

**Tabla VI. Índices de coincidencia entre los diferentes criterios empleados para clasificar el 25 % de las peores 30 accesiones**

	FP	FE	FGE	IT	TOL	ISE	ITE	TMC	VC
TMC (%)	0,70	0,87	0,87	0,87	0,87	0,80	0,87	1	
VC (%)	0,60	0,73	0,67	0,77	0,73	0,67	0,73	0,73	1

Estos altos y positivos valores de coincidencia entre los caracteres TMC y VC, evaluados en tejido con los caracteres y criterios de tolerancia evaluados en plantas, están en concordancia con los valores de los coeficientes de correlación mostrados anteriormente entre estos y confirman la utilidad de estas evaluaciones tempranas de la tolerancia, sobre todo por el método de TMC y los criterios ITE y FGE.

Es de destacar que 18 de las 30 accesiones coincidieron en la clasificación de tolerantes por separado, en cada uno los criterios y caracteres relacionados con la tolerancia al calor. Estas accesiones, clasificadas como tolerantes al calor por todos los caracteres y criterios estudiados, fueron las siguientes: dos de *S. lycopersicum*, Cimarrón mejorado y P-1410; 13 de *S. lycopersicum* variedad *cerasiforme*, Cimarrón-3, LA-2807, LA-2871, Mex-103, Mex-12, Nagcarlang, P-1441, P-1634, P-531, P-809-B, P-931, PE-64, West Virgin y tres de *S. pimpinellifolium*, Ac.1000, Mex-121A y BG-56.

Cabe destacar que la existencia de accesiones, fundamentalmente de *S. lycopersicum*, *S. lycopersicum* variedad *cerasiforme* y *S. pimpinellifolium*, con valores superiores al cultivar Amalia y a las diferentes variedades comerciales obtenidas por los programas de mejora genética del INCA, IIHLD e INIFAT, para los diferentes caracteres y criterios de tolerancia evaluados, indican que estas 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 en relación con las variedades comerciales actuales. Estos resultados coinciden con informaciones previas (1), que plantean que los genes de tolerancia al calor en tomate provienen de *S. lycopersicum* variedad *cerasiforme* y *S. pimpinellifolium* fundamentalmente.

Respecto a los índices de coincidencia al clasificar las peores accesiones por TMC y VC y las clasificadas por los criterios y caracteres evaluados a nivel de planta, en general, se observaron altos valores (Tablas VI y VII), al igual que en la clasificación de las mejores (Tablas IV y V), además de una tendencia a tener mayores valores de coincidencia con TMC que con VC.

Todos los criterios y caracteres relacionados con la tolerancia al calor solo pudieron identificar como peores accesiones a 1B, 4A, 9A, AN-104-1, C-28, Ciudad Real, HC-3880, MP-1, NC-NBR-1, PE-39 y Santa Clara; todas pertenecientes a *S. lycopersicum*, existiendo accesiones como C-27 y 1159 que no fueron clasificadas como peores por un solo criterio o carácter (FP y VC, respectivamente).

Se debe señalar que aunque los diferentes criterios de tolerancia presentaron altas correlaciones y altos índices de coincidencia con TMC y VC, al clasificar las mejores y peores accesiones, los criterios ITE y FGE son los que más coinciden en clasificar las mejores accesiones, con más altos valores de FP, FE y TMC, por lo que estos dos son los más indicados para efectuar la selección de accesiones tolerantes. Al respecto, se probaron diferentes criterios (7, 14), señalando que ITE fue el que mejor predijo el comportamiento de las diferentes accesiones ante este estrés en pastos y trigo, respectivamente. Igualmente, se seleccionaron como mejores criterios FGE e ITE, para clasificar las accesiones de acuerdo con su grado de tolerancia al calor en frijol (16).

Por otra parte, los altos valores de correlación e índices de coincidencia encontrados entre TMC con ITE y FGE, sugiere que en los programas de mejoramiento genético para la tolerancia al calor en el cultivo podría ser efectiva la selección por TMC en las fases tempranas del desarrollo de las plantas y por los criterios ITE y FGE a nivel de planta. De hecho, aunque estos valores fueron superiores en TMC, VC también podría ser empleado como evaluación complementaria, dados los altos valores de correlación e índices de coincidencia con los criterios y caracteres relacionados con la fructificación a nivel de planta, de manera tal que se garantice una mayor eficiencia en la selección.

De hecho, diversos estudios al respecto sugieren seleccionar combinando las dos técnicas, para incrementar el nivel de tolerancia al calor (17, 18). Sin embargo, aunque ambos caracteres se recomiendan para el tamizaje de especies vegetales tolerantes al calor, existe preferencia por la selección en base a la TMC (%), señalándose que los cambios en la termoestabilidad de la membrana pueden estar asociados a la acumulación de proteínas de choque térmico (*HSP*) (14, 17), la cual constituye una de las respuestas más importantes de las células a las temperaturas elevadas.

**Tabla VII. Accesiones que coincidentemente presentaron los más bajos valores de tolerancia al calor en la muestra de germoplasma analizada por los caracteres y criterios relacionados con la tolerancia al calor (25 % de las accesiones)**

TMC (%)	VC (%)	FP	FE	ITE	IT	ISE	TOL	FGE
1B (56,84)	1B (57,12)	1B (79,89)	1B (49,04)	1B (0,56)	1B (0,61)	1B (1,49)	1B (30,85)	1B (62,59)
4A (56,96)	3c (60,34)	3c (79,46)	4A (49,67)	4A (0,57)	4A (0,62)	4A (1,49)	4ª (30,78)	4ª (63,21)
9ª (58,43)	4ª (53,15)	4ª (80,45)	9ª (49,73)	9ª (0,56)	9ª (0,63)	9A (1,41)	9A (29,44)	9A (62,75)
Ac.1159 (51,71)	9A (49,20)	9A (79,17)	Ac.1159 (0,00)	Ac.1159 (0,00)	Ac.1159 (0,00)	Ac.1159 (5,00)	Ac.1159 (76,79)	Ac.1159 (0,00)
AN-104-1 (55,31)	AN-104-1 (50,97)	Ac.1159 (76,59)	AN-104-1 (48,09)	AN-104-1 (0,55)	AN-104-1 (0,60)	AN-104-1 (1,53)	AN-104-1 (31,59)	AN-104-1 (61,90)
AN-52-1 (858,78)	AN-52-1 (58,02)	AN-104-1 (79,68)	AN-52-1 (52,91)	AN-52-1 (0,60)	AN-52-1 (0,65)	AN-52-1 (1,40)	AN-52-1 (28,92)	AN-52-1 (65,80)
AN-87-1 (57,84)	AN-87-1 (51,96)	BG-140 (69,12)	AN-87-1 (55,26)	AN-87-1 (0,62)	AN-87-1 (0,68)	AN-87-1 (1,29)	AN-87-1 (26,44)	AN-87-1 (67,19)
Atlético (59,83)	Atlético (49,79)	C-14 (78,20)	Atlético (53,71)	BG-140 (0,00)	Atlético (0,62)	Atlético (1,57)	Atlético (33,07)	BG-140 (0,00)
BG-140 (55,72)	C-26 (58,98)	C-28 (77,63)	BG-140 (0,00)	C-26 (0,59)	BG-140 (0,00)	BG-140 (5,00)	BG-140 (69,12)	C-26 (64,61)
C-26 (57,98)	C-27 (49,57)	Campbell-28 (80,09)	C-26 (51,62)	C-27 (0,61)	C-18 (0,69)	C-18 (1,32)	C-18 (27,13)	C-27 (65,78)
C-27 (56,28)	C-28 (40,32)	CC-1788 (78,00)	C-27 (50,55)	C-28 (0,47)	C-26 (0,64)	C-26 (1,42)	C-26 (29,25)	C-28 (53,91)
C-28 (54,65)	C-53 (60,55)	CC-2781 (77,19)	C-28 (37,44)	C-63 (0,61)	C-27 (0,59)	C-27 (1,65)	C-27 (35,06)	C-63 (66,56)
CC-1710 (60,56)	C-63 (57,83)	Ciudad Real (78,11)	C-63 (53,43)	CC-2781 (0,56)	C-28 (0,48)	C-28 (1,95)	C-28 (40,19)	CC-2781 (62,56)
CC-1926 (59,04)	Campbell-28 (59,90)	Floradle (79,42)	CC-2781 (50,71)	Ciudad Real (0,56)	C-53 (0,67)	C-53 (1,47)	C-47 (25,69)	Ciudad Real (62,58)
CC-2781 (56,91)	CC-1926 (60,21)	HC-3880 (79,43)	Ciudad Real (50,14)	Floradle (0,61)	C-63 (0,64)	C-63 (1,42)	C-53 (30,30)	Floradle (66,28)
Ciudad Real (57,49)	CC-2781 (51,55)	Imperial (78,53)	Floradle (55,31)	HC-3880 (0,56)	CC-1926 (0,66)	CC-1926 (1,41)	C-63 (29,49)	HC-3880 (62,86)
Floradle (60,24)	Ciudad Real (53,85)	Inifaf-28 (80,23)	HC-3880 (49,74)	Imperial (0,59)	CC-2781 (0,66)	CC-2781 (1,31)	CC-1926 (29,29)	Imperial (65,50)
HC-3880 (56,17)	Criollo Quivicán (59,52)	L-35 (77,72)	Imperial (54,63)	Inca-33 (0,63)	Ciudad Real (0,64)	Ciudad Real (1,37)	CC-2781 (26,48)	Inca-33 (68,14)
Imperial (57,72)	H-2653-91 (58,06)	LA-716 (57,14)	Inca-33 (56,61)	L-35 (0,38)	HC-3880 (0,63)	HC-3880 (1,44)	CC-283 (25,05)	L-35 (64,37)
Inca-33 (60,87)	HC-3880 (59,39)	Mariela (80,45)	L-35 (53,64)	LA-716 (0,00)	Inca-33 (0,69)	Inca-33 (1,24)	Ciudad Real (27,97)	LA-716 (0,00)
Inifaf-28 (59,81)	Inifaf-28 (53,06)	Marmande verde (78,91)	LA-716 (0,00)	Marmande verde (0,61)	L-35 (0,69)	L-35 (1,19)	HC-3880 (29,69)	Marmande verde (66,75)
L-35 (57,53)	L-35 (57,51)	MP-1 (79,77)	Marmande verde (56,46)	MP-1 (0,55)	LA-716 (0,00)	LA-716 (5,00)	Inca-33 (25,40)	MP-1 (61,81)
MP-1 (56,98)	Melvis negro (56,52)	NC-NBR-1 (80,42)	MP-1 (47,90)	NC-NBR-1 (0,60)	Lignon (0,69)	Lignon (1,37)	LA-716 (57,14)	NC-NBR-1 (65,38)
NC-NBR-1 (57,69)	MP-1 (53,89)	NC-NBR-2 (77,07)	NC-NBR-1 (53,16)	NC-NBR-2 (0,57)	MP-1 (0,60)	MP-1 (1,54)	Lignon (28,02)	NC-NBR-2 (63,66)
NC-NBR-2 (56,50)	NC-NBR-1 (851,36)	PE-39 (77,63)	NC-NBR-2 (52,59)	PE-39 (0,00)	NC-NBR-1 (0,66)	NC-NBR-1 (1,33)	MP-1 (31,87)	PE-39 (0,00)
PE-39 (844,62)	NC-NBR-2 (53,27)	Santa Clara (80,35)	PE-39 (0,00)	Roma (0,63)	NC-NBR-2 (0,68)	NC-NBR-2 (1,22)	NC-NBR-1 (27,26)	Roma (67,93)
Roma (60,71)	Puro-812 (55,86)	Summerset-VF (79,84)	Santa Clara (53,52)	Santa Clara (0,60)	PE-39 (0,00)	PE-39 (5,00)	PE-39 (78,27)	Santa Clara (65,58)
Santa Clara (58,97)	Santa Clara (49,84)	Sunny C (78,75)	Sunny C (54,93)	Sunny C (0,60)	Puro-812 (0,67)	Puro-812 (1,38)	Puro-812 (28,55)	Sunny C (65,77)
Sunny C (59,28)	Sunny C (55,58)	Tropic (78,83)	Tropic (56,12)	Tropic (0,61)	Santa Clara (0,67)	Santa Clara (1,31)	Santa Clara (26,83)	Tropic (66,51)
Virginia (57,82)	Virginia (52,37)	Virginia (76,97)	Virginia (55,04)	Virginia (0,59)	Somaclón-37 (0,69)	Somaclón-37 (1,32)	Somaclón-37 (27,05)	Virginia (65,09)

## REFERENCIAS

1. Díez, M. J. y Nuez, F. Tomato. En: Prohens, J.; Nuez, F. Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae. Springer, 2008. p. 249-323. ISBN: 978-0-387-74108-6
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). Berlin, 2004.
3. Saeed, A.; Hayat, K.; Khan, A. A. y Iqba, S. Heat Tolerance Studies in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Int. J. Agri. Biol.* 2007, vol. 9, no. 4, p. 649-652.
4. Hidayatullah, S.; Jatoi, S. A.; Ghafoor, A. y Mahmood, T. (2008). Path coefficient analysis in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Pak. J. Bot.* 2008, vol. 40, no. 2, p. 627-663.
5. 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.
6. Comlekcioglu, N. y Soylu, M. K. Determination of High Temperature Tolerance via Screening of Flower and Fruit Formation in Tomato. *YYU J AGR SCI.* 2010, vol. 20, no. 2, p. 123-130.
7. Fernandez, G. C. J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. PP. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress. AVRDC Publication. Tainan. Taiwan. 1992, p. 257-270.
8. Peet, M. M. Physiological disorders in tomato fruit development. *Acta Hort. (ISHS)* 2009, vol. 821, p. 151-160.
9. Peet, M. M.; Sato, S.; Clément, C. y 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.
10. Shagarodsky, T. Caracterización de la variabilidad del germoplasma de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) conservada *ex situ* en Cuba. Su presencia y distribución *in situ*. Tesis de Maestría. Universidad de La Habana. 2006. 122 p.
11. Fokar, M.; Nguyen, H. T. y Blum, A. Heat tolerance in spring wheat: I. Genetic variability and heritability of cellular thermotolerance. *Euphytica*, 1998, vol. 104, no. 1, p. 1-8.
12. Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. *et al.*. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: AGRINFOR, 1999. 64 p.
15. Jafaria, A.; Paknejada, F. y AL-Ahmadi, M. J. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production.* 2009, vol. 3, no. 4, p. 33-38.
16. Sanjari Pireivatlou, A. y Yazdarsepas, A. Evaluation of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes under Pre- and Post-anthesis Drought Stress Conditions. *J. Agric. Sci. Technol.* 2008. vol. 10, p. 109-121.
17. Alvarez, M.; Moya, C.; Domini, M. E.; Arzuaga, J.; Martínez, B.; Pérez, S. y Cuartero, J. 'Amalia': A medium-fruit size, heat-tolerant tomato cultivar for tropical conditions. *HortScience.* 2004, vol. 39, p. 1503-150
18. 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.
19. Gullí, M.; Bocchia, G. P.; Corradi, M.; de Vita, P.; Di Fonzo, N. y Perrotta, C.. Cellular and molecular análisis of thermotolerance in wheat. En: SIGA Annual Congress (45: 2001 26-29 sep.: Salsomaggiore) Proceedings of the Italian Society of Agricultural Genetics. Terme, Italy, 2001. ISBN 88-900622-1-5.
20. Ibrahim, A. M. H. y Quick, J. S. Heritability of Heat Tolerance in winter and Spring Wheat. *Crop Sci.* 2001, vol. 41, p. 1401-1405.

Recibido: 23 de abril de 2010

Aceptado: 20 de diciembre de 2010

### ¿Cómo citar?

Florido Bacallao, Marilyn; Álvarez Gil, Marta; Varela Nualles, Mario; Lara Rodríguez, Regla M.; Plana Ramos, Dagmara; Shagarodsky Scull, Tomás y Moya López, Carlos. Relación entre la termoestabilidad de la membrana, la viabilidad celular y los criterios de tolerancia en la evaluación de la tolerancia al calor en tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*). *Cultivos Tropicales*, 2011, vol. 32, no. 1, p. 54-61. ISSN 0258-5936