



## COMPORTAMIENTO DE PLANTAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) ASPERJADAS CON ÁCIDO SALICÍLICO CULTIVADAS BAJO DIFERENTES CONDICIONES CLIMÁTICAS EN INVERNADERO

BEHAVIOR OF TOMATO PLANTS (*Solanum lycopersicum*) SPRAYED WITH SALICYLIC ACID GROWN UNDER DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS IN A GREENHOUSE

M.A. Vázquez Cruz\*, S.N. Jiménez García, I. Torres Pacheco, I. Anaya Urrutia, H.J. Mendoza Landeros, R.G. Guevara González, División de Estudios de Posgrado, C.A. Ingeniería de Biosistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, C.U. Cerro de las Campanas S/N, Colonia Las Campanas, C.P. 76010, Santiago de Querétaro, Querétaro, México.

**Autor para correspondencia:**

\* [alejandro.vazquez@uaq.mx](mailto:alejandro.vazquez@uaq.mx)

Fecha de recepción: 2/05/2012

Fecha de aceptación: 11/06/2012

### Resumen

El efecto de diferentes concentraciones de ácido salicílico (AS) y condiciones climáticas fue estudiado sobre las características de desarrollo y calidad del jitomate. Las variables analizadas fueron contenido de clorofila, número de frutos, número de racimos y número de nodos, y cambios de color expresados en valores Minolta  $a^*/b^*$ . Se aplicaron 10 tratamientos para estudiar el desarrollo de un solo genotipo variedad Rafaelo en invernadero. Se obtuvo información muy importante relacionada con las interacciones entre el metabolismo de la planta y las condiciones climáticas y se pudo apreciar el efecto protector del AS ante las condiciones de estrés. La concentración de AS que mejores resultados proporcionó fue la de 0.01 mM, bajo condiciones de  $CO_2$  alto tanto la planta como el fruto se desarrollaron más rápido.

**Palabras clave:** Calidad, Clorofila, Color, Desarrollo vegetativo, Estrés

### Abstract

The effect of different concentrations of salicylic acid (SA) and climate conditions was studied on the development characteristics and tomato quality. The analyzed variables were chlorophyll content, number of fruits, trusses, and nodes, and also the color changes expressed in Minolta values  $a^*/b^*$ . Ten treatments were applied on one single genotype var. Rafaelo in greenhouse conditions. Important information related to interactions among metabolism and climate arise from this study and allowed to understand the ameliorative effects of SA to stress conditions. The SA concentration which best results recorded was 0.01 mM, under high  $CO_2$  concentration the plant and fruit were developed faster.

**Keywords:** Quality, Chlorophyll, Color, Vegetative development, Stress.

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas más importantes en México y es consumida tanto en fresco como en productos procesados. En México la producción anual total es de 222,791.43 ton cosechadas en una superficie mayor a 54,510.59 ha (SIAP, 2010). Los frutos del tomate contienen compuestos antioxidantes importantes para la salud humana como los carotenoides licopeno y  $\beta$ -caroteno los cuales ayudan a contrarrestar los efectos dañinos de radicales libres, los cuales contribuyen en el desarrollo de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, como el cáncer (Krzyzanowska y col. 2010).

Sin embargo, los niveles de estos componentes en los tomates varían ampliamente, debido a que son influenciados por factores genéticos, tipo de cultivar, y grado de madurez, así como por las condiciones ambientales durante el desarrollo de la planta. Se puede incrementar la producción de tomate aumentando el área cultivada, controlando las condiciones climáticas dentro de los invernaderos o disminuyendo las condiciones de estrés que afectan el desarrollo de las plantas (Martínez-Valverde y col. 2002).

Factores como el régimen de riego (De Pascale y col. 2001), estrés salino (Matsuzoe y col. 1998), temperatura e intensidad de la radiación (Slimestad y Verheul, 2005) y fertilización (Warner y col. 2004) pueden afectar el desarrollo, composición química y calidad general de los frutos de tomate (Simonne y col. 2007). La temperatura es un factor de crecimiento importante que influye el desarrollo radicular, así como la absorción de agua e iones esenciales (Jones, 1997). Las bajas temperaturas reducen directamente la absorción de nutrientes (Lampers y col. 1998).

En cuanto el estrés hídrico, Matsuzoe y col. (1998) demostraron que el déficit de agua acelera el desarrollo de color en la mayoría de los cultivares de tomate cherry. Otros factores como la ra-

diación, y la concentración de  $\text{CO}_2$  también juegan un papel importante en el desarrollo y calidad del tomate (Slimestad y Verheul, 2005). Hoy en día han surgido nuevas propuestas para la agricultura intensiva, las cuales incluyen la aplicación de elicitores como mecanismos de señalización para incrementar la tolerancia de las plantas contra el estrés inducido por varios factores ambientales (Mejía-Teniente y col. 2010; Takatsuji y col. 2010).

Entre los elicitores más promisorios para reducir el estrés climático y estimular el desarrollo y producción de las plantas de tomate destaca el ácido salicílico (AS) el cual es una importante molécula señalizadora en plantas. Ha sido bien documentado que el AS está involucrado en las respuestas de defensa de la planta contra el ataque de patógenos o distintos tipos de estrés (biótico y abiótico) (Xu y col. 2009). El AS es un compuesto fenólico y constituyente natural de las plantas (Mady, 2009), de acuerdo con Raskin (1992) el AS debe incluirse en la categoría de las fitohormonas.

Este elicitor fue reconocido como un regulador endógeno en las plantas al encontrarse que está involucrado en muchos procesos fisiológicos de las plantas (Pancheva y col. 1996). Aplicaciones de AS a plantas han mostrado inducir una gran variedad de respuestas biológicas (Mady, 2009). El AS asperjado disminuye la susceptibilidad al daño por parte de patógenos y estrés abiótico, además incrementa la tolerancia de los frutos al daño por frío y extiende la vida de anaquel (Ortega-Ortiz y col. 2007).

Al parecer actúa como un regulador sobre el balance óxido/reducción de las células vegetales, induce respuestas adaptativas, fisiológicas y morfológicas en las plantas. Participa en la actividad de las catalasas y otras enzimas encargadas de controlar la oxidasa de las mitocondrias (Raskin, 1992). Muy pocos trabajos se han encaminado a estudiar la influencia de este compuesto sobre el metabolismo de las plantas bajo condiciones de estrés ambiental (Moharekar y

col. 2003). Factores como radiación, temperatura y concentración de CO<sub>2</sub> ejercen un efecto importante sobre las plantas afectando su desarrollo y disminuyendo su producción. Con la finalidad de mantener condiciones adecuadas de crecimiento y favorecer el desarrollo del fruto se ha implementado el uso de elicitors como el AS para disminuir los efectos adversos del estrés en las plantas. Es así que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de ácido salicílico sobre el desarrollo y producción de plantas de jitomate cultivadas bajo diferentes condiciones climáticas para optimizar el manejo de esta hortaliza bajo condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal y condiciones de cultivo

El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero usando un solo genotipo, el cultivar Rafaello. Las semillas se germinaron en una mezcla de peat-moss:vermiculita:perlita (2:1:1) en un cuarto de germinación. Las plántulas se trasplantaron cuando aparecieron dos hojas verdaderas. Las plántulas se crecieron hidropónicamente usando tezontle como sustrato, el riego se hizo mediante goteo utilizando solución Steiner (Steiner, 1984) para proveer todos los nutrien-

tes a la planta. Las plantas se distribuyeron a una distancia de 1.5 m entre filas y 0.5 m entre plantas dentro de cada fila, la densidad total fue de 0.92 plantas/m<sup>2</sup>. Los jitomates fueron cosechados en seis estados de madurez de acuerdo a la carta de color de la USDA (1991), que los clasifica de la siguiente manera: 1) verde, 2) rompiente, 3) transición, 4) rosa, 5) rojo ligero y 6) rojo.

### Diseño experimental.

En este estudio se realizaron tres repeticiones por tratamiento y 15 plantas por repetición, resultando en un total de 10 tratamientos para evaluar el efecto de las condiciones climáticas y las aplicaciones de SA sobre el desarrollo de la planta y su productividad. Un diseño factorial incompleto fue aplicado (Turrent y Laird, 1985). Los factores evaluados fueron radiación fotosintéticamente activa (R), concentración de CO<sub>2</sub> (CO) y temperatura (T). Cada factor climático fue evaluado en un nivel alto (A) y un nivel bajo (B), para un total de seis tratamientos.

Se evaluó el efecto del AS en cuatro diferentes concentraciones, resultando en cuatro tratamientos adicionales, T1, T2, T3 y T4. El tratamiento T3 fue usado como control para las aplicaciones de AS (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de condiciones climáticas analizadas y concentraciones de AS

Tratamiento	CO <sub>2</sub> (ppm)	AS (mM)	Radiación (μM/m <sup>2</sup> s)	Temperatura (°C)
T1	550	0.01	295.14	33
T2	550	0.1	295.14	33
T3	550	0	295.14	33
T4	550	1.0	295.14	33
RA	550	0.1	221.35	33
TA	550	0.1	295.14	40
RB	550	0.1	73.78	33
TB	550	0.1	295.14	25
COA	1100	0.1	295.14	33
COB	400	0.1	295.14	33

R=radiación; T=temperatura; CO=dióxido de carbono; A=alto; B=bajo.

Cada uno de los 10 tratamientos fue repetido 3 veces, con 15 plantas por repetición.

Las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> se alcanzaron inyectando CO<sub>2</sub> (99.89% de pureza) para alcanzar una concentración de 1100 ppm dentro de una cámara de crecimiento. La radiación fue controlada usando mallasombra de 25% y 75%. La temperatura fue controlada con películas plásticas para el tratamiento de temperatura alta (TA) y dos ventiladores para el tratamiento de temperatura baja (TB). El ácido salicílico fue obtenido de QUIMICA MEYER (Ciudad de México, México) se disolvió en agua destilada a 30°C mediante agitación constante en un agitador magnético (IKA-CNAGHS7).

Concentraciones de 0, 0.01, 0.1 y 1.0 mM (pH 6.0-6.5) fueron preparadas. El AS se aplicó por aspersión hasta llegar al punto de goteo en la superficie de las hojas durante las etapas de desarrollo vegetativo y fructificación cada 7 días a partir del trasplante. Las plantas fueron asperjadas temprano por la mañana. Además se monitorearon las variables climáticas mencionadas antes diariamente durante todo el desarrollo de las plantas mediante una estación de monitoreo WatchDog® data logger (Spectrum Technologies, Plainfield, IL, USA).

### Variables adquiridas

Las variables que se evaluaron fueron número de nodos, número de racimos y número de frutos por planta. El contenido de clorofila se cuantificó a partir de mediciones de clorofila SPAD-502 en tres hojas diferentes en cada planta utilizando la siguiente ecuación:

$$y = 0.996x - 1.52$$

Donde  $y$  es la concentración de clorofila y  $x$  son las lecturas SPAD-502 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).

La calidad del fruto fue evaluada en términos de contenido de sólidos totales, acidez titulable, pH y valores Minolta  $a^*/b^*$  obtenidos con un espectrofotómetro Minolta CM-2002 (Koni-

ca Minolta, Tokio, Japón),  $a^*$  expresa el cambio verde-rojo y  $b^*$  de azul a amarillo. El color de los frutos fue medido en dos puntos diferentes sobre el ecuador de cada tomate y el promedio de seis mediciones fue usado para el análisis.

En este estudio la coloración rojiza de los tomates se expresó en valores Minolta  $a^*/b^*$  en el sistema Hunter debido a una convención utilizada durante muchos años (Batu, 2004; Yang y Chinnan, 1988).

### Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el software JMP 5.0.1 (SAS Institute, Cary, NC, EUA) para realizar un análisis de varianza (ANOVA). La prueba Tukey HSD fue utilizada para realizar la comparación de medias con una  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento vegetativo

Se puede apreciar en los datos presentados en la tabla 2 que los tratamientos COB y TA incrementaron el número de frutos y racimos de las plantas de tomate respecto al tratamiento control. Los tratamientos COA, COB y RA no fueron significativamente diferentes entre ellos pero si respecto al control para el número de nodos. El análisis anterior fue en cuanto a las variables climáticas, en cuanto a los tratamientos de AS sólo hubo diferencias significativas en el tratamiento 2 (0.1 mM) respecto al control, al parecer este tratamiento retardó el desarrollo de frutos y la generación de racimos, en el caso del número de nodos ninguno de los tratamientos de AS mostró diferencias significativas.

Tabla 2. Efecto de la interacción entre variables climáticas y AS sobre las variables fisiológicas de plantas de tomate.

Variables fisiológicas											
Numero de frutos				Número de racimos				Numero of nodos			
Tratamiento	Media	SD		Tratamiento	Media	SD		Tratamiento	Media	SD	
COB	36.23	15.9	a	COB	8.23	5.11	a	COA	24.24	11.06	A
TA	33.99	12.68	ab	TA	8.23	5.54	a	COB	25.81	12.53	A
T4	33.25	15.14	abc	T4	7.44	5.01	ab	RA	24.06	11.64	A
COA	31.52	16.61	abc	RA	7.10	4.76	ab	RB	22.00	10.34	Ab
T1	29.07	12.59	bc	T1	6.49	3.92	bc	T1	23.38	11.40	Ab
RA	28.81	12.02	cd	T3	6.48	4	bc	T2	19.76	9.52	B
T3	28.37	11.5	cd	COA	6.14	3.65	bc	T3	23.19	11.30	Ab
TB	23.90	10.62	de	TB	4.90	2.98	cd	T4	24.67	11.88	A
T2	22.10	10.39	e	RB	4.16	2.1	d	TA	25.58	11.37	A
RB	21.34	9.02	e	T2	4.10	2.77	d	TB	22.31	11.07	Ab

Los valores con la misma letra no mostraron diferencias significativas a  $p < 0.05$ , de acuerdo a Tukey HSD

El incremento en la producción y el incremento en la tasa de intercambio de carbono (TIC) son fenómenos que se han observado en la mayoría de las hortalizas cultivadas en invernadero con una concentración elevada de  $CO_2$ , incluyendo el tomate. El incremento en la producción debida al aumento en  $CO_2$  se atribuye generalmente a un aumento en la TIC (Tripp y col. 1991). Sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo muestran lo contrario, el mayor número de frutos y de racimos se obtuvieron en baja concentración de  $CO_2$ , esto pudo deberse al fenómeno de aclimatación que presenta el jitomate en ambientes con concentraciones altas de  $CO_2$  en los cuales el jitomate después de un largo tiempo de exposición tiende a aclimatarse y no exhibir mayores respuestas al  $CO_2$  alto (Besford y col. 1990).

### Contenido total de clorofila

De los resultados mostrados en la tabla 3 se puede apreciar el efecto que ejercen las variables climáticas y las diferentes concentraciones de AS aplicadas sobre el contenido de clorofila. Al inicio del experimento sólo los tratamientos COB y

T3 (control) fueron significativamente diferentes del resto, la mayor concentración de clorofila se registró en COB y la menor en T3, 40.72 y 32.80  $\mu g/cm^2$ , respectivamente. Durante la tercera semana el mayor contenido de clorofila fue registrado en las plantas de T4, aunque en la cuarta semana no hubo diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos. Durante la quinta semana después del trasplante el mayor contenido de clorofila se encontró en COA y T1 con 47.61 y 47.00  $\mu g/cm^2$ , respectivamente.

Nuevamente en la semana seis el tratamiento con la mayor cantidad de clorofila fue el T4 y la menor cantidad se produjo bajo el efecto de TB (49.18 y 33.37  $\mu g/cm^2$ , respectivamente). El tratamiento RA y T1 no fueron significativamente diferentes en la séptima semana, en ellos se registró el mayor contenido de clorofila. En la octava semana nuevamente T1 incrementó significativamente el contenido de clorofila y en la última semana TB propició el mayor contenido de clorofila a lo largo de todo el experimento con 54.14  $\mu g/cm^2$ .

Las aplicaciones foliares de AS pueden disminuir los efectos dañinos por parte de algunos tipos de

estrés incrementando el contenido de clorofila y la actividad fotosintética. Se sabe que ocurre un incremento de clorofila durante el crecimiento de las plantas. En este estudio el contenido de clorofila incrementó como respuesta al incremento en la concentración de AS. Se observa que durante las primeras seis semanas el contenido de clorofila incrementó en el tratamiento con la concentración más alta de AS (1.0 mM) en comparación con el control. Yildirim y col. (2008) encontraron resultados similares, el mayor contenido de clorofila se encontró con 1.0 mM de AS en hojas de pepino. Khodary (2004) encontró que en hojas de maíz los tratamientos de AS incrementaron los contenidos de clorofila a, b y carotenoides en condiciones de estrés salino. Sólo el T2 (0.1 mM) al parecer retarda la formación de clorofila en

comparación con el tratamiento control, mientras que T4 lo acelera. El incremento en pigmentos fotosintéticos puede llevar a un incremento en el vigor de la planta y consecuentemente incrementar la productividad. En la tabla 3 puede apreciarse claramente que el tratamiento que menos efecto ejerció sobre el contenido de clorofila fue RB. Resultados similares fueron encontrados por Deckmyn e Impens (1997) quienes observaron que hubo una acumulación de pigmentos protectores en las hojas estimulada por la radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) y más aún por la radiación ultravioleta tipo B (UV-B) excepto cuando ésta era muy alta.

Tabla 3. Efecto de la interacción entre variables climáticas y AS sobre el contenido de clorofila ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

2ª semana			3ª semana			4ª semana			5ª semana		
Tratamiento	Media		Tratamiento	Media		Tratamiento	Media		Tratamiento	Media	
COB	40.72	a	T4	44.09	a	T4	43.35	a	COA	47.61	a
COA	39.43	ab	COB	42.60	ab	T1	43.14	a	T1	47.00	a
TA	38.62	abc	RA	41.41	ab	COB	42.39	a	T3	45.57	ab
RB	37.47	bcd	TA	40.75	bc	TA	41.89	a	T4	45.11	ab
4	36.80	bcd	COA	40.16	bc	RA	41.61	a	RA	45.11	ab
RA	36.63	bcd	T1	38.31	cd	COA	40.86	a	COB	43.33	bc
TB	36.36	cde	T3	37.78	cd	T3	38.13	b	TA	42.98	bc
2	35.54	def	TB	36.97	d	TB	35.55	bc	T2	40.60	cd
1	33.40	ef	RB	36.75	d	T2	35.00	c	TB	38.38	de
3	32.80	f	T2	36.56	d	RB	34.44	c	RB	36.54	e
6ª semana			7ª semana			8ª semana			9ª semana		
Tratamiento	Media		Tratamiento	Media		Tratamiento	Media		Tratamiento	Media	
4	49.18	a	RA	49.00	a	T1	54.09	a	TB	54.14	a
COB	47.15	ab	T1	48.15	a	T4	53.14	ab	T3	51.70	ab
TA	45.60	bc	T4	45.27	b	T3	52.76	ab	COA	50.10	bc
1	45.21	bc	TA	45.15	b	COB	51.56	ab	RA	49.31	bcd
RA	44.09	cd	COB	45.09	b	COA	50.71	bc	T1	48.26	cde
3	43.90	cd	COA	44.86	b	TA	50.41	bc	COB	47.73	cde
COA	42.63	d	T3	42.87	bc	RA	50.05	bcd	T4	47.54	cde
2	36.21	e	TB	41.31	cd	TB	47.62	cd	TA	46.59	def
RB	34.82	ef	RB	39.11	d	T2	47.04	d	T2	45.86	ef
TB	33.37	f	T2	38.82	d	RB	43.40	e	RB	43.54	f

Los valores con la misma letra no mostraron diferencias significativas a  $p < 0.05$ , de acuerdo a Tukey HSD

En cuanto a la concentración de CO<sub>2</sub> este sólo tuvo efecto significativo durante las primeras 5 semanas, en las que la concentración de clorofila en COA fue mayor respecto al control. Posteriormente la diferencia entre los tratamientos de CO<sub>2</sub> y el control fue muy baja, esto puede deberse a la aclimatación en la cual la respuesta a largo plazo a incrementos en la concentración de CO<sub>2</sub> provoca una disminución en el contenido de clorofila (Besford y col. 1990).

**Efecto sobre el desarrollo del color.**

Cuando los tomates alcanzaron las etapas de transición y rosa los valores Minolta a\*/b\* cambiaron de negativos (-) a positivos (+). Cuando los jitomates alcanzaron valores de 0.56 a 1.14, se consideran con una calidad adecuada para ser vendidos (Figura 1). En COA se registró el valor más alto de a\*/b\* del estado rosa al rojo. Resultados similares fueron reportados por Saguy y Mannheim (1975). El desarrollo del color en

tomates se debe a la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides como el licopeno (Grierson y Kader, 1986). La síntesis del licopeno, responsable de la coloración roja del jitomate, depende de la disponibilidad de O<sub>2</sub> (Hobson y Davies, 1971). Esto se relaciona con el incremento en los valores a\*/b\* para los frutos cultivados bajo CO<sub>2</sub> alto comparados con aquellos cultivado en niveles bajos o normales de CO<sub>2</sub>, los cuales no mostraron diferencias significativas. Cuando el jitomate alcanzó el estado rojo T1 produjo el valor a\*/b\* más alto entre los tratamientos de AS. Resultados similares fueron reportados por Morris y Kader (1975) en términos de la disponibilidad de O<sub>2</sub>. Ellos reportaron que a 30 y 50 kPa of O<sub>2</sub> se aceleró la producción de etileno y la maduración de tomates en estado verde y rompiente.

En contraste, la exposición a 80 y 100 kPa de O<sub>2</sub> indujo la reducción en la producción de etileno y se retardó la maduración de los tomates en los mismos estados de maduración (Thomas y Janave, 1992).

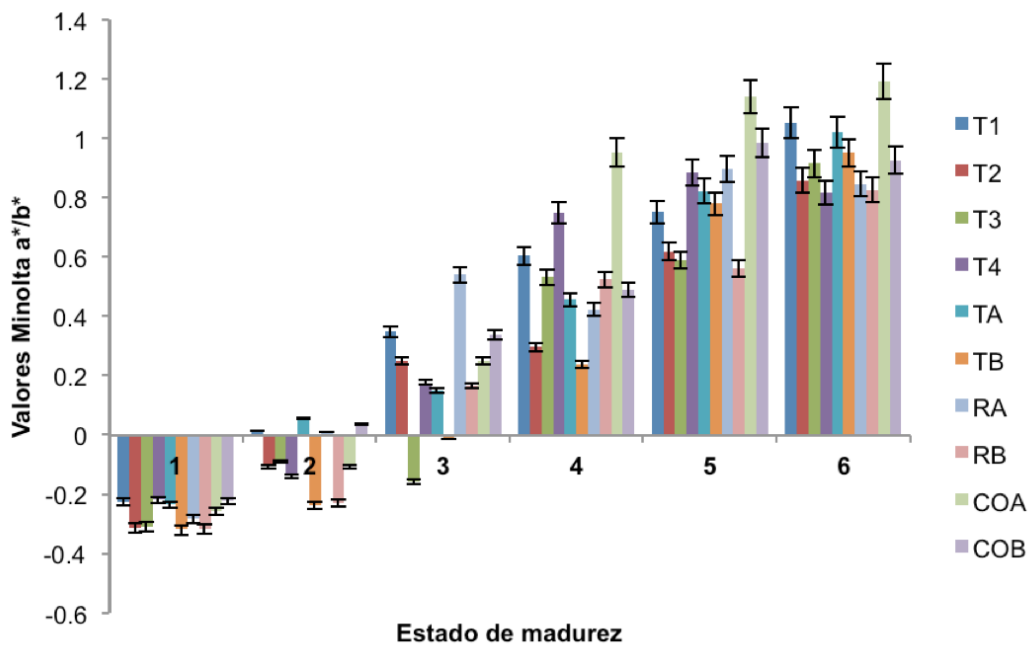


Figura 1. Promedios de tres repeticiones de los valores Minolta a\*/b\* de tomates en seis estadios de maduración (p<0.05 Tukey HSD). A=alto, B=bajo

Los tratamientos de radiación mostraron diferencias significativas en los valores  $a^*/b^*$  durante la madurez del tomate. El tratamiento RA produjo los valores más altos durante la etapa verde, transición y rojo ligero. Se ha mostrado que las condiciones de radiación alta retardan de manera importante la maduración en frutos climatéricos como manzana, durazno y tomate (Lu y col. 1991; Maharaj y col. 1999).

### CONCLUSIONES

En cuanto al desarrollo vegetativo el AS no tuvo efecto significativo, el factor que más impacto mostró sobre el número de frutos, racimo y nodos fue el  $CO_2$  en alta concentración, aunque en las últimas semanas se pudo apreciar el fenómeno de aclimatación, pues en este periodo la concentración de  $CO_2$  alto no mostró diferencias significativas con la concentración de  $CO_2$  baja. En un inicio el contenido de clorofila aumentó en condiciones bajas de  $CO_2$ , posteriormente el tratamiento que presentó el mayor contenido de clorofila fue el COA y T1, ya al final del experimento el mayor contenido de clorofila se registró en condiciones de TB. Respecto al efecto del AS el contenido de clorofila mostró ser sensible a los incrementos en la concentración de AS, durante las primeras diez semanas el mayor contenido de clorofila aumentó con 1.0 mM de AS. Los cambios de color fueron más altos en las muestras cultivadas en condiciones de  $CO_2$  alto. Es claro que tanto las condiciones climáticas como el uso de AS pueden afectar de manera positiva o negativa la calidad del tomate. Se necesita más información para entender el efecto de las diferentes combinaciones de estos factores para incluir las más adecuadas dentro de un sistema de producción.

### AGRADECIMIENTOS

M.A. Vázquez Cruz desea agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de posgrado (contrato 218413).

### Referencias bibliográficas.

- Batu., A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 61, pp. 471-475.
- Besford, R.T., Ludwig, L.J., Withers, A.C., 1990. The greenhouse effect: acclimation of tomato plants growing in high  $CO_2$ , photosynthesis and ribulose-1,5-biphosphate carboxylase protein. *Journal of Experimental Botany*. 41, pp. 925-931.
- Deckmyn, G., Impens, I., 1997. The ratio UV-B/PAR determines the sensitivity of rye to increased UV-B radiation. *Environmental and Experimental Botany*. 37, pp. 3-12.
- De Pascale, S.A., Maggio, V., Fogliano, V., Ambrosino, P., Ritieni, A., 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *Journal of Hort. Sci. and Biotech.* 76, pp. 447-453.
- Grierson, D., Kader, A.A., 1986. Fruit ripening and quality. In JG Atherton, J, Rudich, *The tomato crop: A scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London, pp. 241-280.
- Hobson, G., Davies, J.N, 1971. *The Tomato. The Biochemistry of Fruits and their Products*. Hulme (ed) Academic press, New York London. 2, pp. 337-482.
- Khodary, S.E.A., 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis, and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *J. Agric. Biol.* 6, pp. 5-8.
- Krzyzanowska, J., Czubacka A., Oleszek W., 2010. Dietary phytochemicals and human health. *Bio-Farms for Nutraceuticals: Functional food and safety control by biosensors*. Chapter 7. 75-97.
- Lampers, H., Chapin, F.S., Ponms, T.L. *Plant physiology ecology*. 5, 59, pp. 117. New York:Springer-Verlag. 1998.
- Lu, J.Y., Stevens, C., Khan, V.A., Kabwe, M., Wilson, C.L., 1991. The effect of ultraviolet irradiation on shelf-life and ripening of peaches and apples. *J. Food Quality*, 14, pp. 299-305.
- Mady, M.A., 2009. Effect of foliar application with salicylic acid and vitamin E on growth and productivity of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.* 34, pp. 6735-6746.
- Maharaj, R., 1995. The effect of ultraviolet radiation (UV-C) on the postharvest storage behavior of tomato. Ph.D. thesis, Université Laval, Quebec Canada.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Provan, G., Chesson, A., 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *J. Sci. Food Agric.* 82, pp. 323-330.
- Matsuzoe, N., Zushi, K., Johjima, T., 1998. Effect of soil water deficit on coloring and carotene formation in fruits of red, pink, and yellow type cherry tomatoes. *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, 67, 600-606.
- Mejía-Teniente, L., Torres-Pacheco, I., González-Chavira, M.M., Ocampo-Velázquez, R.V., Herrera-Ruiz, G., Chapa-Oliver, A.M., Guevara-González, R.G., 2010. Use of elicitors as an approach for sustainable agriculture. *African Journal of Biotechnology*. 9, pp. 9155-9162.



- Moharekar, S.T., Lokhande, S.D., Hara, T., Tanaka, R., Tanaka, A., Chavan, P.D., 2003. Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. *Photosynthetica*. 41, pp. 315-317.
- Morris, L.L., Kader, A.A., 1975. Postharvest physiology of tomato fruits. In: *Fresh Market Tomato Research-1975, Vegetable Crop Series*, vol. 176. University of California, Davis, CA. pp. 69-84.
- Mutsuzoe, N., Zushi, K., Johjima, T., 1998. Effect of soil water deficit on coloring and carotene formation in fruit of red, pink and yellow type cherry tomatoes. *J. Japanese Soc. Hort. Sci.* 67, pp. 600-606.
- Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Mendoza-Villarreal, R., Ramírez-Rodríguez, H., De Alba-Romenus, K., 2007. Enzymatic activity in tomato fruits as a response to chemical elicitors. *J. Mex. Chem. Soc.* 51, pp. 141-144.
- Pancheva, T.V., Popova, L.P., Uzunova, A.N., 1996. Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *J. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43, pp.439-463.
- Raskin, I., 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 43, pp. 439-463.
- Saguy, I., Mannheim, C.H., 1975. The effect of selected plastic films and chemical dips on the shelflife of Marmande tomatoes. *J. Food Technol.*, 10, pp. 547-556.
- Simonne, A.H., Fuzeré, J.M., Simonne, E., Hochmuth, R.C., Marshall, M.R., 2007. Effects of nitrogen rates on chemical composition of yellow grape tomato grown in a subtropical climate. *Journal of Plant Nutrition*. 30, pp. 927-935.
- Slimestad, R., Verheul, M.J., 2005. Seasonal variations in the level of plant constituents in greenhouse production of cherry tomatoes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 53, pp. 3114-3119.
- Steiner, A.A., 1984. The universal nutrient solution. Sixth Int. Cong. Soilless Culture: Wageningen, The Netherlands, 633-649.
- Takatsuji, H., Jiang, C.J., Sugano, S., 2010. Salicylic acid signaling pathway in rice and potential applications of its regulators. *JARQ*. 44, pp. 217-223.
- Thomas, P., Janave, M.T., 1992. Effect of temperature on chlorophyllase activity, chlorophyll degradation and carotenoids of Cavendish bananas during ripening. *International Journal of Food Science and Technology*. 27, pp. 57-63.
- Tripp, K.E., Peet, M.M., Pharr, D.M., Willits, D.H., Nelson, P.V., 1991. CO<sub>2</sub>-enhanced yield and foliar deformation among tomato genotypes in elevated CO<sub>2</sub> environments. *Plant Physiol.* 96, pp. 713-719.
- Turrent, F.A., Laird, R.J., 1985. La matriz experimental plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. Volumen 1 de Escritos sobre la metodología de la investigación en productividad de agrosistemas. Ed. 3, ISBN 9688390127, 9789688390122. 28 pages
- USDA. 1991. U.S. Standards for grades of fresh tomatoes. USDA, Agr. Mktg. Serv., Washington, DC.
- Xu, M., Dong, J., Wang, H., Huang, L., 2009. Complementary action of jasmonic acid on salicylic acid in mediating fungal elicitor-induced flavonol glycoside accumulation of *Ginkgo biloba* cells. *Plant, Cell and Environment*. 32, pp. 960-967.
- Yang, C.C., Chinnan, M.S., 1988. Computer modeling of gas composition and color development of tomatoes stored in polymeric films. *Journal of Food Science*, 53, pp. 869-872.
- Yildirim, E., Turan, M., Guvenc, I., 2008. Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll, and mineral content of cucumber under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*. 31, pp. 593-612.
- [SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2010. Anuario estadístico de la producción agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>.