

# Efecto de la salinidad en el crecimiento de plantas de tomate tipo chonto

## Salinity effect on "chonto" tomato plant growth



TATIANA M. SALDAÑA<sup>1, 3</sup>  
CARLOS A. BEJARANO<sup>2</sup>  
SHIRLEY GUAQUETA<sup>2</sup>

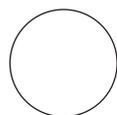
**Plantas de tomate chonto  
sometidas a diferentes  
concentraciones de NaCl.**

Foto: T.M. Saldaña

### RESUMEN

El estrés por salinidad es una limitante importante en la agricultura, debido a que reduce los rendimientos de los cultivos y daña los sustratos por la acumulación de sal. En este trabajo se evaluó el efecto de cuatro concentraciones de NaCl (0, 50, 100 y 150 mg L<sup>-1</sup>) sobre el crecimiento de dos híbridos de tomate tipo chonto, Aslam y Calima, a través de un análisis de crecimiento bajo condiciones de invernadero. Se midió el peso seco de cada órgano de la planta y el área foliar, de donde se determinaron la tasa relativa de crecimiento, la tasa de asimilación neta (TAN), la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la relación área foliar, relación peso fresco y área foliar específica. El modelo que mejor representó el crecimiento de los híbridos fue un polinomio de tercer orden. 'Calima' acumuló mayor área foliar y mayor cantidad de biomasa en hojas, tallos y flores. Mientras que, 'Aslam' acumuló más biomasa en frutos y mantuvo un crecimiento independiente del tratamiento y, además, fue quien presentó la máxima velocidad de incremento de materia seca. Por su parte, 'Calima' presentó valores iguales a 0 g cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> en su TAN, lo que representa una tasa respiratoria de mantenimiento más alta que la tasa fotosintética. Respecto a la TAC, no hay diferencia en la velocidad de crecimiento entre los híbridos.

**Palabras clave adicionales:** *Solanum lycopersicum* L., tolerancia a la sal, horticultura sustentable, modelamiento para el crecimiento de plantas, invernadero, rendimiento.



<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Saldaña, T.M.: 0000-0001-9784-7846

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Programa de Maestría en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Bejarano, C.A.: 0000-0002-0973-8381; ORCID Guaqueta, S.: 0000-0001-6374-8700

<sup>3</sup> Autor para correspondencia. [tmsaldanav@unal.edu.co](mailto:tmsaldanav@unal.edu.co)

## ABSTRACT

Salinity stress is an important constraint in agriculture because of the reduction in crop yields and damage to substrates resulting from salt accumulation. In this study, we evaluated the effect of four NaCl concentrations (0, 50, 100 and 150 mg L<sup>-1</sup>) on the growth of two tomato hybrids, Aslam and Calima, using a growth analysis under greenhouse conditions. The dry weight of each plant organ and the leaf area were measured, and the relative growth rate, net assimilation rate (NAR), absolute growth rate (AGR), leaf area ratio, fresh weight ratio and specific leaf area were calculated. The model that best represented the growth of the hybrids was a third order polynomial. 'Calima' accumulated a greater leaf area and a greater amount of biomass in the leaves, stems, and flowers, while 'Aslam' accumulated more biomass in the fruits. 'Aslam' was always in growth, independent of the treatment, and presented the maximum speed of increase of dry matter. 'Calima' presented values equal to 0 g cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> for the NAR, which represented a maintenance respiratory rate higher than the photosynthetic rate. For the AGR, there was no difference in the growth speed between the two varieties.

**Additional key words:** *Solanum lycopersicum* L., salt tolerance, sustainable horticulture, plant growth modelling, greenhouse, yield.

Fecha de recepción: 02-05-2017 Aprobado para publicación: 30-09-2017

## INTRODUCCIÓN

La salinidad de los sustratos constituye una limitación relevante para la agricultura, al reducir los rendimientos de los cultivos y al restringir el uso de la tierra (Yokoi *et al.*, 2002). Debido a que el tomate es una especie glicófita, medianamente sensible al exceso de sal en el suelo, su cultivo en suelos salinos genera una disminución en el rendimiento (Chinnusamy *et al.*, 2005). Productos tales como cloruro de potasio o sulfato de amonio, son potencialmente perjudiciales debido a sus altos niveles de sales (Tanwar, 1996).

Las altas concentraciones de Na<sup>+</sup>, en el sustrato sobre el cual se desarrollan las plantas, pueden dar lugar a una reducción del contenido de K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup> en el tejido vegetal. Esta reducción puede deberse a que en los sitios de absorción del K<sup>+</sup> en la raíz también, se puede absorber Na<sup>+</sup>, originando así, un antagonismo (Hu y Schmidhalter, 2005). El contenido alto de Na<sup>+</sup> puede restringir la absorción de nutrientes mediante la interferencia a los transportadores de la membrana plasmática de la raíz, además de, generar efectos adversos en la estructura del suelo (Tester y Davenport, 2003).

Las plantas de tomate que crecen en condiciones salinas, presentan disminución en la capacidad fotosintética (Fita *et al.*, 2015), frutos de menor tamaño y

peso (Pérez *et al.*, 1996) y alteraciones en la síntesis de proteínas por modificaciones en la expresión de genes, como consecuencia de los excesos de sal (Fita *et al.*, 2015). Cuando se somete el cultivo de tomate a condiciones salinas, las plantas pueden alcanzar alturas menores, menor número de hojas y menor área foliar (Goykovic y Saavedra, 2007).

Se presentan efectos sobre las raíces, que habitualmente corresponden a un menor crecimiento de estas y en consecuencia, una modificación en el crecimiento de tallos, hojas, flores y frutos. Asimismo, se presenta toxicidad o deficiencia nutricional asociado a problemas en la absorción de iones esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas generado por la excesiva absorción de sodio (Yokoi *et al.*, 2002).

La demanda en el mercado y el valor comercial del tomate, sumado a la posibilidad de sembrarlo en cualquier época del año, hace viable la producción de esta fruta en ambientes protegidos (Jaramillo *et al.*, 2006). En algunos casos, se han presentado efectos positivos respecto a algunas características organolépticas y agroindustriales, presentando mayor contenido de sólidos solubles, carotenoides y una mayor acidez titulable (Ghazi y Karaki, 2000).

En relación con lo anterior y debido a que en Colombia se producen tomates en sitios salinos, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del cloruro de sodio en el crecimiento de plántulas de tomate de los híbridos Calima y Aslam, bajo condiciones de invernadero. En este trabajo se utilizaron los híbridos mencionados, debido a su alta comercialización, a su comportamiento agronómico en producción bajo ambientes protegidos y su precocidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, ubicado a 2.556 msnm. En su interior se registró una temperatura promedio de 17°C y humedad relativa del 80%.

### Material vegetal

Se emplearon plántulas de tomate tipo chonto (*Solanum lycopersicum* L.), de los híbridos Calima y Aslam de 30 d después de siembra (DDS). Cada plántula se ubicó en una matera de un litro de capacidad. Como sustrato se utilizó turba rubia (Klasmann-Deilmann, Geeste, Alemania) para garantizar la inocuidad del mismo.

### Diseño experimental

Se estableció el experimento en un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial 2x4 y con cuatro repeticiones. El primer factor, correspondió a los dos híbridos de tomate chonto: Calima y Aslam. Y el segundo factor, a cuatro soluciones salinas a una concentración de NaCl de 0, 50, 100 y 150 mg L<sup>-1</sup>. Teniendo en cuenta la capacidad de retención de humedad de la turba rubia, se aplicaron 120 mL de solución salina dos veces por semana en cada recipiente. Se establecieron 16 unidades experimentales y cada una de ellas correspondió a un grupo de 20 materas. Desde los 15 d del trasplante (DDT) hasta el final del experimento, se tomó una muestra de cada híbrido cada 15 d, para un total de seis puntos de muestreo.

A los 15 DDT se iniciaron las aplicaciones semanales de fertilizante Soluplant Inicio (Impulsemillas, Bogotá, Colombia) en una relación de 10 N - 40 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 10 K<sub>2</sub>O, en una solución de 1 g L<sup>-1</sup> de agua. Luego,

se aplicó fertilizante Nutrhojas (Cenagro, Yumbo, Colombia), en una relación de 21 N - 0 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 3 K<sub>2</sub>O - 0,45 CaO - 0,088 MgO - 0,36 S - 0,092 Fe - 0,012 Cu - 0,094 Mn - 0,14 Zn - 0,12 B.

### Variables evaluadas

Cada muestra fue equivalente a una planta completa. Se realizó la medición directa de las variables correspondientes al área foliar (AF), a través de la utilización del medidor de área foliar LI-COR 3000 (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA). Posteriormente, se disecó cada planta, separando y empacando individualmente cada órgano en bolsas de papel y se llevaron al horno de secado a 70°C, hasta que alcanzaron el peso seco constante, medido en la balanza electrónica (0,001 g de precisión; Precisa Adventurer, Ohaus, Parsippany, NJ). De esta forma, se obtuvo el peso seco de hojas (PSH), peso seco de tallos (PST), peso seco de raíces (PSR), peso seco de flores (PSF) y peso seco de frutos (PSFR), y con la sumatoria de los pesos se obtuvo el peso seco total de la planta (PSTT).

### Análisis estadístico

La función matemática que mejor representa el crecimiento de los híbridos evaluados es un polinomio de tercer orden (ecuación 1):

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1)$$

Una vez se realizó el tratamiento de datos de las variables medidas, se calcularon de manera directa, los índices fisiológicos: tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa absoluta de crecimiento (TAC), área foliar específica (AFE), relación área foliar (RAF) y relación peso fresco (RPF).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron funciones polinómicas de tercer orden para cada una de las variables de respuesta y su respectivo ajuste (Tab. 1).

### Área foliar

El híbrido que mayor área foliar acumuló antes de los 100 DDS fue Calima en el tratamiento sin aplicación de sal, con un valor cercano a los 1.600 cm<sup>2</sup>. Por su parte, 'Aslam' alcanzó la máxima área foliar después de los 100 DDS, siendo inferior a 'Calima' (1.400 cm<sup>2</sup>) (Fig. 1).

**Tabla 1. Funciones polinómicas para seis variables de respuesta en dos híbridos de tomate.**

Variable	NaCl (mg L <sup>-1</sup> )	'Aslam'		'Calima'	
		Modelo	R <sup>2</sup>	Modelo	R <sup>2</sup>
AFT	0	$y = -0,0274x^3 + 6,4263x^2 - 460,38x + 10568$	0,99989	$y = -0,0369x^3 + 8,2254x^2 - 558,86x + 12208$	0,98567
	50	$y = -0,0309x^3 + 7,3332x^2 - 540,96x + 12867$	0,99978	$y = -0,0339x^3 + 7,6168x^2 - 520,91x + 11390$	0,99983
	100	$y = -0,0225x^3 + 5,1594x^2 - 362,94x + 8319,2$	0,99998	$y = -0,0378x^3 + 8,456x^2 - 584,7x + 13091$	0,98769
	150	$y = -0,0261x^3 + 6,1313x^2 - 447,63x + 10595$	0,99998	$y = -0,0384x^3 + 8,7875x^2 - 624x + 14267$	0,98799
PSH	0	$y = -0,00009x^3 + 0,0185x^2 - 1,0239x + 16,046$	0,9896	$y = -0,0001x^3 + 0,0215x^2 - 1,0741x + 14,497$	0,99913
	50	$y = -0,00008x^3 + 0,0174x^2 - 1,0241x + 18,012$	0,99895	$y = -0,0001x^3 + 0,0289x^2 - 1,674x + 29,513$	0,99588
	100	$y = -0,0002x^3 + 0,0385x^2 - 2,6722x + 59,636$	0,99256	$y = -0,0002x^3 + 0,0345x^2 - 2,1769x + 43,606$	1,000
	150	$y = -0,0001x^3 + 0,034x^2 - 2,3695x + 52,981$	0,99956	$y = -0,0001x^3 + 0,0266x^2 - 1,5375x + 27,203$	0,99882
PST	0	$y = -0,00006x^3 + 0,0154x^2 - 1,1591x + 27,628$	0,98957	$y = -0,0001x^3 + 0,027x^2 - 1,9484x + 44,376$	0,99626
	50	$y = -0,00008x^3 + 0,0196x^2 - 1,4995x + 36,384$	0,98575	$y = -0,00009x^3 + 0,0214x^2 - 1,5629x + 35,821$	0,99167
	100	$y = -0,00002x^3 + 0,0038x^2 - 0,2157x + 3,3616$	0,99908	$y = -0,00007x^3 + 0,0168x^2 - 1,1907x + 26,406$	0,99996
	150	$y = -3 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0083x^2 - 0,5936x + 13,514$	1,000	$y = -0,0001x^3 + 0,0296x^2 - 2,143x + 49,085$	0,98356
PSF	0	$y = -0,000003x^3 + 0,0006x^2 - 0,0338x + 0,4994$	0,98958	$y = -8 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0017x^2 - 0,1101x + 2,2178$	0,8675
	50	$y = -0,000001x^3 + 0,0002x^2 + 0,0017x - 0,3676$	0,94771	$y = -7 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0016x^2 - 0,1046x + 2,1734$	0,9668
	100	$y = -0,0000002x^3 - 0,0001x^2 + 0,0309x - 1,1852$	0,83941	$y = 6 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,0003x^2 + 0,0432x - 1,43$	0,8094
	150	$y = 0,0000008x^3 - 0,0004x^2 + 0,0433x - 1,4248$	0,79049	$y = -8 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0016x^2 - 0,1009x + 2,0023$	0,8372
PSFR	0	$y = 0,00002x^3 - 0,0005x^2 - 0,1805x + 8,2131$	0,99717	$y = 0,0001x^3 - 0,0232x^2 + 1,5609x - 34,325$	0,99363
	50	$y = 0,00003x^3 - 0,0025x^2 + 0,0019x + 3,0884$	0,99975	$y = 0,0001x^3 - 0,0287x^2 + 1,9219x - 41,991$	0,99656
	100	$y = 0,0000008x^3 + 0,0039x^2 - 0,5214x + 16,739$	0,9931	$y = 0,0001x^3 - 0,019x^2 + 1,2095x - 25,345$	0,99976
	150	$y = 0,00002x^3 - 0,0015x^2 + 0,0011x + 1,4151$	0,99574	$y = 0,00009x^3 - 0,0167x^2 + 1,0639x - 22,247$	0,99999
PSTT	0	$y = -9 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0228x^2 - 1,3687x + 23,368$	0,9936	$y = -0,0002x^3 + 0,0333x^2 - 1,8922x + 31,312$	0,9991
	50	$y = -0,0001x^3 + 0,0301x^2 - 2,0309x + 42,3$	0,9971	$y = -0,0001x^3 + 0,0298x^2 - 1,776x + 30,888$	0,9986
	100	$y = -0,0001x^3 + 0,0391x^2 - 2,6997x + 58,755$	0,9936	$y = -0,0002x^3 + 0,0366x^2 - 2,3594x + 47,306$	0,9997
	150	$y = -0,0001x^3 + 0,0349x^2 - 2,4072x + 52,13$	0,9998	$y = -0,0002x^3 + 0,0467x^2 - 3,0396x + 62,076$	1,000

AFT: área foliar total; PSH: peso seco de hojas; PST: peso seco de tallos; PSR: peso seco de raíces; PSF: peso seco de flores; PSFR: peso seco de frutos; PSTT: peso seco total de la planta.

El híbrido Aslam, con la aplicación de 150 mg L<sup>-1</sup> de NaCl, fue lo que más se vio afectado por el tratamiento debido a que alcanzó la menor área foliar durante el ciclo de cultivo, con un valor cercano a los 1.000 cm<sup>2</sup>. Mientras que 'Calima', en el mismo tratamiento, presentó un valor cercano a los 1.400 cm<sup>2</sup> de área foliar. Los tratamientos de 50 y 100 mg L<sup>-1</sup> en ambas variedades, mostraron un comportamiento intermedio entre la mínima y máxima concentración.

Casierra *et al.* (2013) evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de NaCl en cuatro variedades de tomate. Sus resultados son semejantes a los obtenidos en este trabajo, donde la variable área foliar es inversamente proporcional a la concentración de NaCl utilizada.

Coca *et al.* (2012) y Goykovic y Saavedra (2007) afirman que la reducción en el número de hojas se debe al

incremento del nivel de salinidad y demostraron que cuanto mayor concentración de NaCl, menor acumulación de área foliar. Además, cuanto mayor concentración de sales, la máxima acumulación de área foliar se logra en menor tiempo.

### Materia seca en hojas

Una vez alcanzado el máximo valor de materia seca en hojas, en todos los tratamientos y en ambos híbridos, la acumulación disminuye debido a que comienzan procesos de senescencia y de translocación de asimilados hacia los frutos (Fig. 2).

Respecto al híbrido Aslam, al igual que con la acumulación de área foliar, registró una menor acumulación de materia seca que 'Calima' y se tardó más para llegar a su máximo valor. 'Calima' alcanzó su máximo con 11 g a los 5 d antes, respecto al híbrido Aslam con

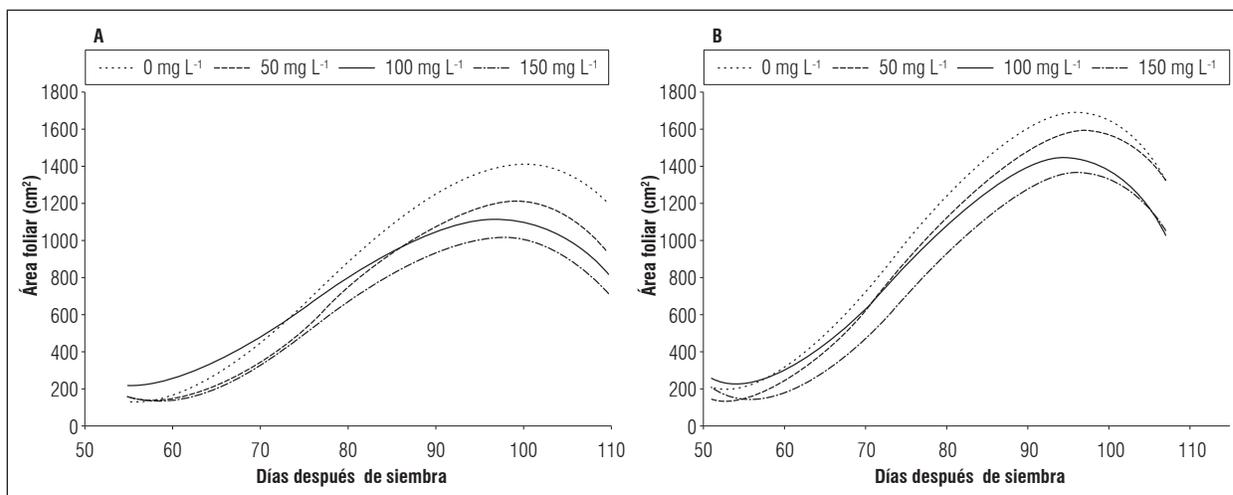


Figura 1. Curva de crecimiento del área foliar en dos híbridos de tomate. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.

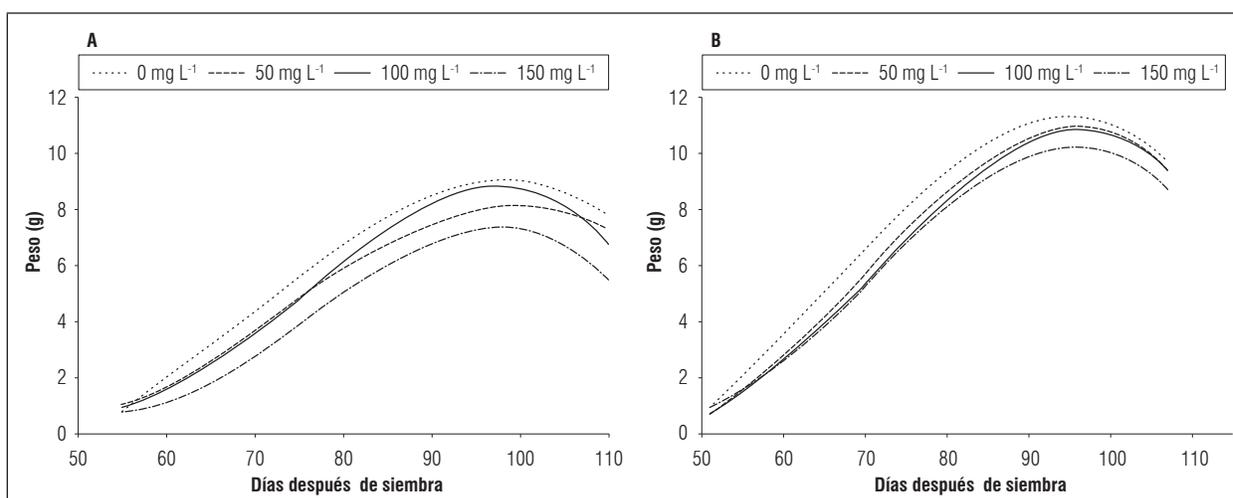


Figura 2. Curvas de crecimiento de las hojas en dos híbridos de tomate en términos de peso seco. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.

9 g. Al final del ciclo el híbrido que registró la menor acumulación de materia seca en hojas fue Aslam en el tratamiento de  $150 \text{ mg L}^{-1}$ , con un valor cercano a 5 g (Fig. 2A).

Se ha registrado disminución en el crecimiento de hojas, en términos de peso seco en solanáceas, al aumentar la concentración de salinidad (Baracaldo *et al.*, 2014). Los mismos autores plantean que la reducción del área foliar puede ser interpretada como una eficiencia en la redistribución de los fotoasimilados, cuando se reduce la eficiencia en los procesos fotosintéticos.

### Materia seca en tallos

El híbrido Calima se destacó por acumular la mayor cantidad de materia seca, sin embargo, no se aprecian diferencias importantes en las concentraciones evaluadas de NaCl (Fig. 3).

La mayor acumulación en 'Calima' se observó después de los 100 DDS, con un valor cercano a los 7 g. Por su parte, 'Aslam' en el tratamiento de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de NaCl y, a partir de 80 DDS, aproximadamente, incrementa su materia seca, pero en menor proporción respecto a los demás tratamientos. Se supone

que este comportamiento se debe a que la planta, por la entrada excesiva de sodio, restringe el influjo de calcio como elemento importante para su estructura (Yokoi *et al.* 2002). En el tratamiento de 150 mg L<sup>-1</sup> de 'Aslam', se registra la máxima acumulación en este órgano al final del ciclo, con un valor inferior a 4 g. Mientras que el tratamiento de 0 mg L<sup>-1</sup> presenta en ese mismo momento una acumulación cercana a 5 g (Fig. 3A).

Se ha registrado disminución en el crecimiento de tallos, en términos de peso seco en solanáceas al aumentar la concentración de salinidad, de acuerdo a lo observado por Baracaldo *et al.* (2014). Además, los

mismos autores plantean que la reducción del crecimiento del tallo se debe a una menor distribución de citoquininas y giberelinas sintetizadas, desde las raíces estresadas hacia el tallo.

### Materia seca en flores

El híbrido Aslam inició su fase reproductiva antes que 'Calima' en el tratamiento de 100 mg L<sup>-1</sup>, con una acumulación de materia seca en flores cercana a 0,03 g cerca de los 55 DDS, lo que corresponde a una respuesta al estrés, donde hay tendencia de las plantas a producir sus órganos reproductivos más rápido y terminar el ciclo (Argentel *et al.*, 2008) (Fig. 4A).

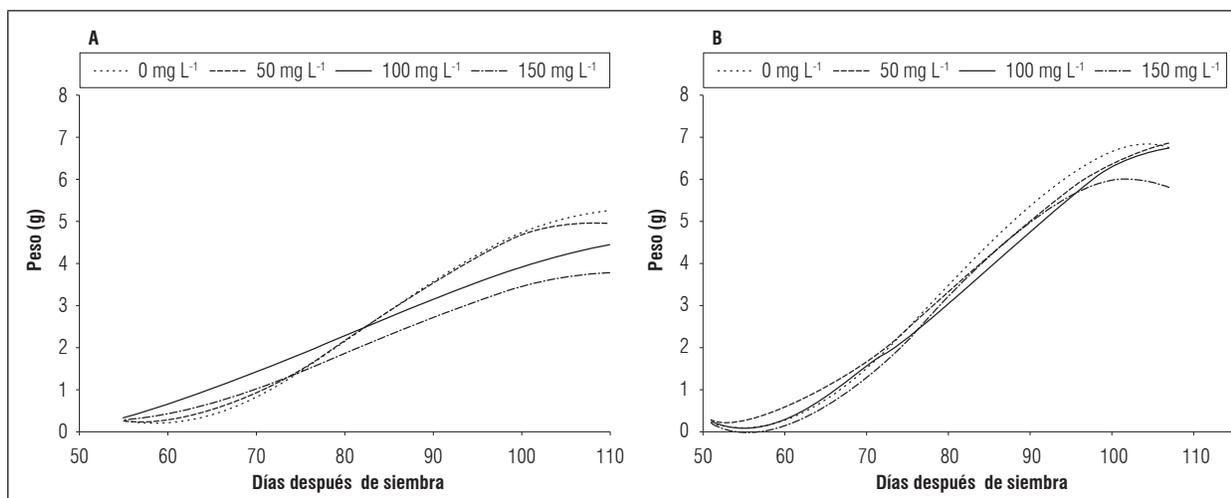


Figura 3. Curvas de crecimiento de los tallos en dos híbridos de tomate en términos de peso seco. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.

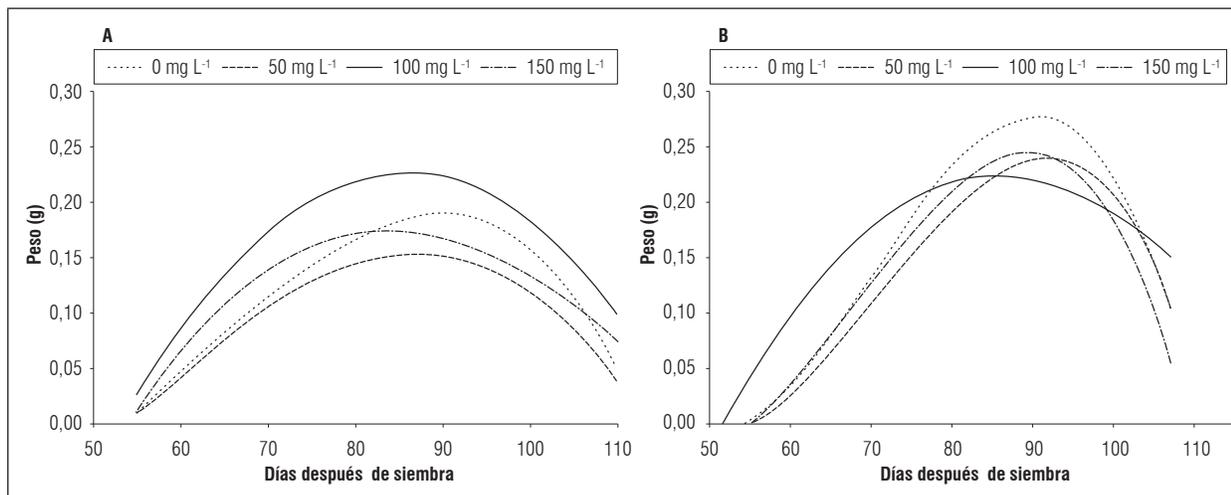


Figura 4. Curvas de crecimiento de las flores en dos híbridos de tomate en términos de peso seco. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.

La máxima acumulación de materia seca en flores se presentó en 'Calima' y se logró hacia los 90 DDS, con un valor correspondiente a 0,28 g en el tratamiento de 0 mg L<sup>-1</sup> (Fig. 4B). Mientras que 'Aslam' para este tiempo y concentración acumuló un máximo de 0,18 g.

### Materia seca en frutos

Aunque 'Calima' tuvo mayor tendencia a la acumulación de materia seca en los demás órganos, finalmente, en frutos presentó menor acumulación respecto a 'Aslam', registrando sus máximos valores al final del ciclo (entre 5 y 7 g a los 107 DDS), por lo que se puede

suponer que 'Calima' es menos eficiente en la translocación de los asimilados hacia el órgano vertedero (Saldaña *et al.*, 2015) (Fig. 5).

Se presentó la mayor acumulación en 'Calima' hacia el final del ciclo con un valor cercano a 7 g en el tratamiento de 100 mg L<sup>-1</sup>. Por su parte, 'Aslam' no mostró diferencias marcadas al final del ciclo, acumulando 8 g en todos los tratamientos.

### Materia seca total

A pesar de la diferencia que se registró a nivel individual de cada órgano, la planta en su totalidad presentó

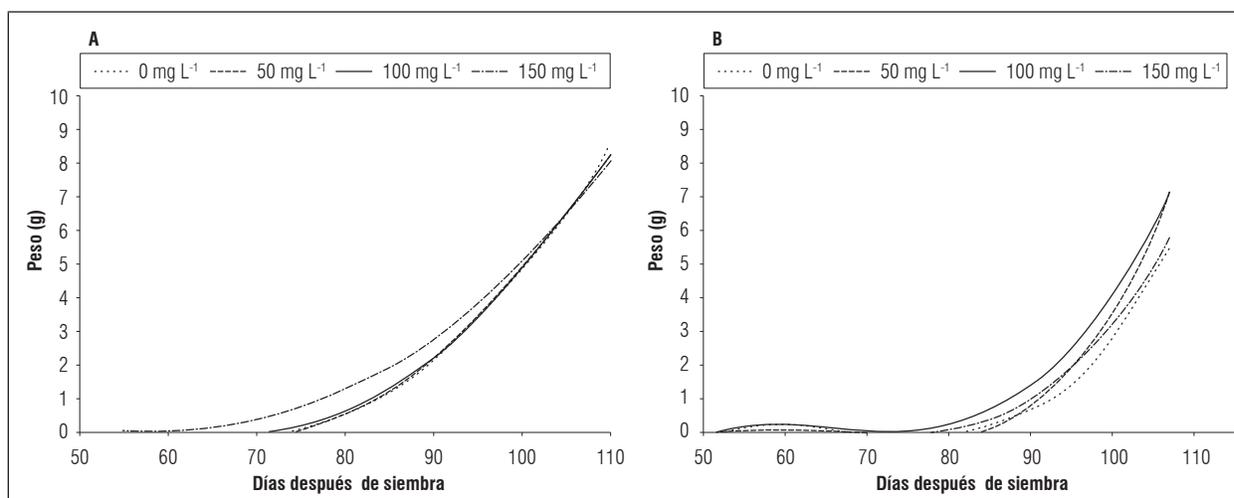


Figura 5. Curvas de crecimiento de los frutos de dos híbridos de tomate en términos de peso seco. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.

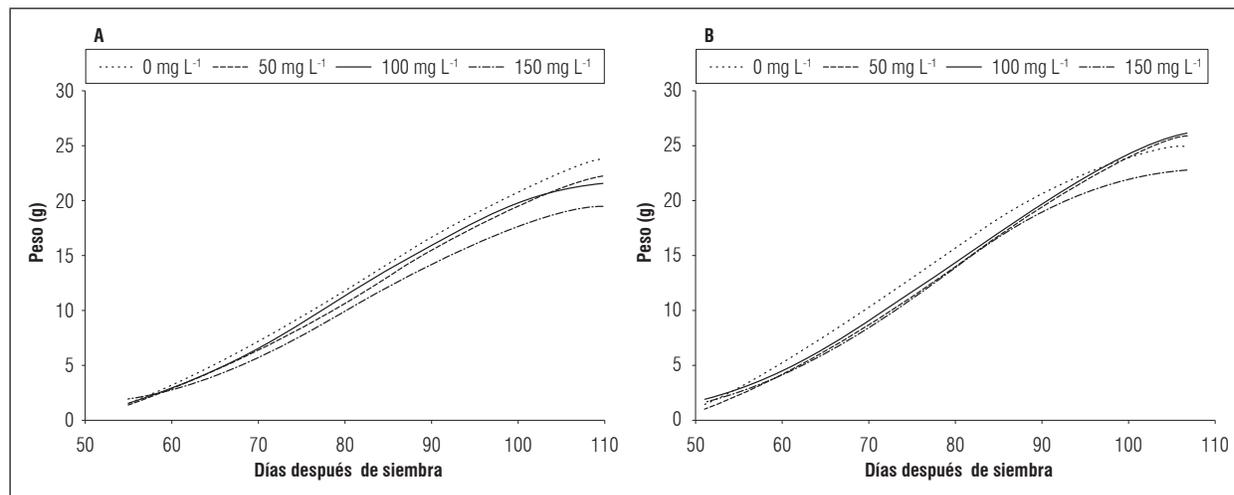


Figura 6. Curvas de crecimiento de las plantas en dos híbridos de tomate en términos de peso seco. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.

en ambos híbridos una acumulación de materia seca similar, y al final del ciclo acumularon valores entre 20 y 25 g (Fig. 6).

Casierra *et al.* (2013) evaluaron cuatro concentraciones de NaCl en cuatro variedades de tomate. Encontraron que la variación de la acumulación de materia seca, comparada con 'Aslam' y 'Calima', resulta no ser tan amplia como la registrada en el área foliar. Respecto a la masa seca total, el híbrido Aslam resultó ser un 15% mayor (2,1 g) que el híbrido Astona y del híbrido Calima un 28% (7,1 g). Según lo anterior, se determina que los híbridos evaluados en este trabajo, crecen más al ser sometidas a condiciones de salinidad.

En el trabajo de Karakas *et al.* (2016) se encontró que el peso seco se reduce cuanto mayor concentración de NaCl, y particularmente en el peso de frutos se reduce de manera importante (cerca de un 90%). Por otro lado, Coca *et al.* (2012) obtuvieron una tendencia muy similar en cebollas de bulbo, donde a partir de 51 DDT, la mayor acumulación de materia seca en el total de la planta se obtiene en las muestras que no estaban sometidas a NaCl, y la menor acumulación de materia seca en las muestras sometidas a la mayor concentración de NaCl.

### Distribución de biomasa

Los valores obtenidos en los índices de crecimiento, acumulación de área foliar y acumulación de materia seca mostraron que 'Aslam' destinó mayor cantidad de fotoasimilados hacia los frutos al final del ciclo (111 DDS), con un valor promedio de los cuatro tratamientos cercano al 37,34% del total de la planta (Tab. 2). Mientras en 'Calima', al final del ciclo (107 DDS), la proporción de biomasa en los frutos correspondió al 25,47% (Tab. 3). La proporción en los tallos en ambos híbridos, en todos los tratamientos durante el tiempo de evaluación fue del 19,44%. Y finalmente, las hojas fueron el órgano que mayor proporción de materia seca representó del total de la planta en este estado fenológico de la planta (Baracaldo *et al.* (2014), con valores entre el 30 y 70% (Tab. 2 y 3).

### Tasa relativa de crecimiento

El híbrido Aslam, durante el tiempo de evaluación no registró valores iguales a  $0 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , lo que significa que la planta estaba en pleno crecimiento. La máxima

velocidad de incremento de materia seca se presentó en 'Aslam' a los 55 DDS, siendo el tratamiento de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  en el que registra la mayor tasa ( $0,4 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), seguido por el de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  ( $0,35 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ). En 'Aslam' se registra una disminución más marcada en la velocidad de crecimiento hasta los 70 DDS, con una reducción cercana a 50% en todos los tratamientos, pasado este tiempo disminuye de forma más lenta hasta estabilizarse cerca de los 100 DDS (Fig. 7).

El híbrido Calima registró el mayor valor en su TRC en el tratamiento de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  ( $0,55 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) a los 51 DDS, en ese mismo momento, los demás tratamientos también se presentaron los mayores valores ( $0,05 - 0,15 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ). En la concentración de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  se reduce la velocidad de crecimiento rápidamente hasta los 65 DDS, alcanzado tasas de crecimiento cercanas a las presentadas en los otros tratamientos. El híbrido Calima registra valores iguales a  $0 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  después de 80 DDS, momento en el que esta inicia la fase de fructificación, haciendo que la planta deje de acumular biomasa y destine su energía a la translocación de asimilados a los frutos.

McCall y Brazaityte (1997) evaluaron el efecto de soluciones nutritivas completas y la adición de diferentes cantidades de NaCl en el crecimiento de plantas de tomate 'Matador' y 'Revido'. Los resultados coinciden con los obtenidos en este trabajo, donde la TRC decrece a través del tiempo y se registran el mayor valor en los estados iniciales de las plántulas cercano a  $0,3 \text{ mg mg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Asimismo, Barraza *et al.* (2004) analizaron el crecimiento de tomate chonto 'Santa Cruz Kada' y registraron valores en su TRC menores a los obtenidos en este experimento pero, con la misma tendencia a decrecer progresivamente con el tiempo.

### Tasa de asimilación neta

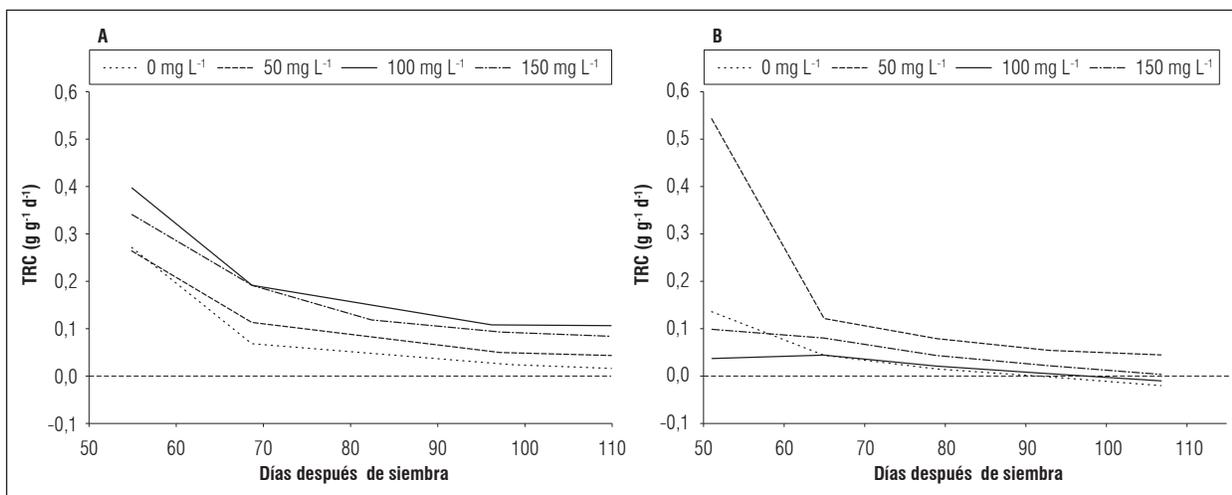
En ninguno de los tratamientos de 'Aslam' logró valores de  $0 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  en su TAN. El máximo valor alcanzado por este híbrido se alcanzó a los 55 DDS ( $0,003 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). La TAN es un indicador de la eficiencia fotosintética del cultivo que se espera que sea mayor en los estados iniciales de cultivo y que tenga un pequeño incremento durante la fase vegetativa (Hunt, 1982). En este híbrido se presenta una disminución en este parámetro a los 85 DDS, lo que puede atribuirse al incremento del área foliar, conduciendo a que las hojas generen sombra natural entre ellas, sin embargo, a los 97 DDS se registró un incremento en este

**Tabla 2. Distribución porcentual de biomasa de tomate 'Aslam' bajo el efecto de cuatro concentraciones de NaCl (mg L<sup>-1</sup>).**

DDS	Híbrido Aslam																								
	0				50				100				150												
	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Fruto	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Fruto	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Fruto	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Fruto					
55	22,83	18,64	57,60	0,93	0,00	28,13	17,52	53,96	0,39	0,00	20,68	17,83	59,48	2,00	0,00	20,68	17,83	59,48	2,00	0,00	20,68	17,83	59,48	2,00	0,00
69	23,80	15,07	59,82	1,31	0,00	25,76	15,65	57,26	1,33	0,00	25,59	20,56	51,90	1,95	0,00	25,59	20,56	51,90	1,95	0,00	25,59	20,56	51,90	1,95	0,00
83	17,80	18,86	56,24	1,56	5,55	16,51	18,99	54,71	1,51	8,29	16,92	21,25	54,83	2,39	4,61	16,92	21,25	54,83	2,39	4,61	16,92	21,25	54,83	2,39	4,61
97	10,29	22,81	46,35	0,84	19,70	11,12	24,62	43,71	0,66	19,89	11,26	19,31	47,17	0,89	21,38	11,26	19,31	47,17	0,89	21,38	11,26	19,31	47,17	0,89	21,38
111	9,66	21,87	32,32	0,22	35,94	8,17	21,99	32,58	0,19	37,07	9,56	20,73	31,01	0,50	38,19	9,56	20,73	31,01	0,50	38,19	9,56	20,73	31,01	0,50	38,19

**Tabla 3. Distribución porcentual de biomasa de tomate 'Calima' bajo el efecto de cuatro concentraciones de NaCl (mg L<sup>-1</sup>).**

DDS	Híbrido Calima																								
	0				50				100				150												
	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Fruto	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Fruto	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Fruto	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Fruto					
51	21,41	13,55	64,90	0,15	0,00	21,13	14,93	63,94	0,00	0,00	31,70	12,29	55,90	0,10	0,00	40,42	10,83	48,65	0,10	0,00	40,42	10,83	48,65	0,10	0,00
65	18,53	13,16	67,76	0,55	0,00	20,03	13,82	65,49	0,66	0,00	20,36	17,03	61,00	1,61	0,00	19,80	15,26	64,36	0,57	0,00	19,80	15,26	64,36	0,57	0,00
79	17,88	19,40	59,43	1,82	1,47	18,27	19,04	60,21	1,58	0,90	17,20	22,55	56,52	1,98	1,74	18,60	18,99	60,40	2,02	0,00	18,60	18,99	60,40	2,02	0,00
93	14,79	28,11	51,67	1,08	4,36	14,87	26,50	52,04	1,04	5,55	12,79	26,30	50,79	0,82	9,30	13,04	28,63	49,99	0,97	7,36	13,04	28,63	49,99	0,97	7,36
107	11,74	26,72	38,77	0,47	22,30	10,47	26,00	36,05	0,42	27,05	10,07	26,18	35,88	0,62	27,25	11,27	24,88	38,27	0,30	25,29	11,27	24,88	38,27	0,30	25,29



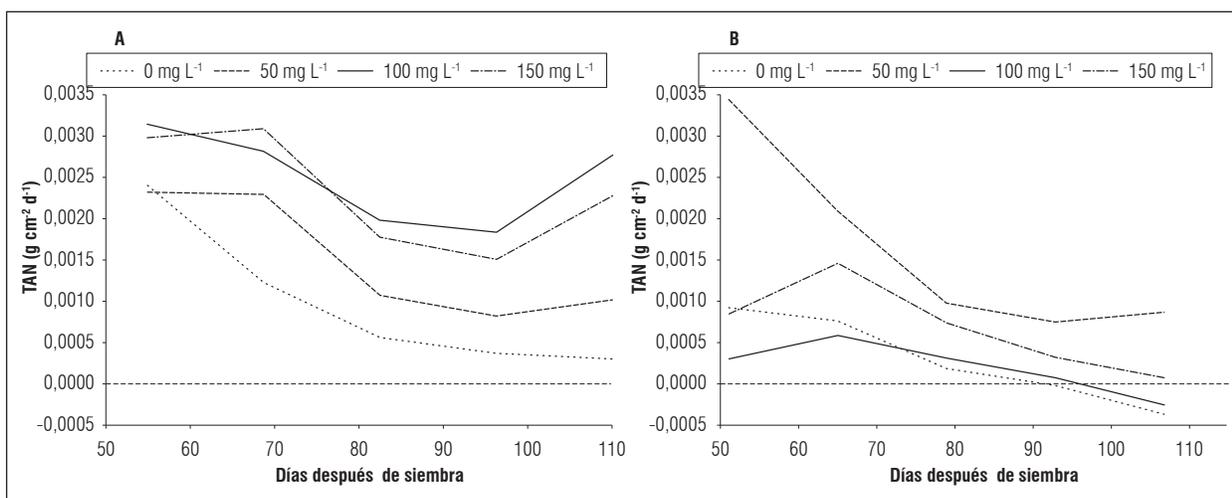
**Figura 7. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de dos híbridos de tomate bajo el efecto de cuatro concentraciones de NaCl. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.**

parámetro lo que puede deberse a la actividad demandante de fotoasimilados de los frutos en pleno crecimiento, que obligan a la planta a mejorar su eficiencia fotosintética y suplir la necesidad del llenado frutos (De Oliveira *et al.* 2000) (Fig. 8).

En el híbrido Calima, el mayor valor en este parámetro se alcanza a los 51 DDS en el tratamiento de 50 mg L<sup>-1</sup> (0,0035 g g cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). En este tratamiento la TAN decrece rápidamente hasta los 80 DDS, momento en el cual los valores son constantes. En los tratamientos con las concentraciones de 100 y 150 mg

L<sup>-1</sup> se incrementa la TAN hasta los 65 DDS (0,005 y 0,0014 g cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, respectivamente) debido al desarrollo de las hojas hasta su máxima área, momento en el cual la TAN decrece. 'Calima' presenta valores iguales a 0 g cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> cerca a los 90 DDS, lo que representa una tasa respiratoria de mantenimiento más alta que la tasa fotosintética (Hunt, 2002). En el caso de 'Aslam' la TAN no alcanza valores de 0 o negativos, debido a que el cultivo se encontraba en pleno crecimiento.

Los resultados presentados, tienen una tendencia muy similar a la de los resultados reportados por



**Figura 8. Tasa de Asimilación Neta (TAN) de dos híbridos de tomate bajo el efecto de cuatro concentraciones de NaCl. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.**

Lesmes *et al.* (2007) donde evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de NaCl en el crecimiento de lechuga. Ellos reportan máximos valores de TAN al inicio del ciclo evaluado que decrecen con el tiempo. De igual manera, en el trabajo de Barraza *et al.* (2004) los valores máximos para todos los tratamientos se presentaron a los 75 DDS, con un valor de  $0,00343 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Este valor se alcanza en un momento cercano al máximo valor obtenido en este trabajo a los 69 DDS.

### Tasa de absoluta de crecimiento de la planta

En 'Aslam', en el tratamiento de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  se registró la mayor TAC seguido por el tratamiento de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  y después las menores concentraciones. El mayor incremento de biomasa en el tiempo se registró a los 110 DDS en las concentraciones altas, con valores correspondientes a  $2,2 \text{ g d}^{-1}$  para  $100 \text{ mg L}^{-1}$  y  $1,7 \text{ g d}^{-1}$  para  $150 \text{ mg L}^{-1}$ . El tratamiento de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  presenta la mayor acumulación cerca de los 100 DDS con un valor cercano a  $1 \text{ g d}^{-1}$  y el tratamiento de  $0 \text{ mg L}^{-1}$  fue el que menor TAC registró con valores máximos cercanos a  $0,5 \text{ g d}^{-1}$  a los 85 DDS (Fig. 9).

En ambos híbridos se presentó un comportamiento similar de TAC en el tratamiento de  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , registrando un máximo valor a los 107 DDS ( $1 \text{ g d}^{-1}$ ). Por otra parte, el tratamiento de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  alcanzó la mayor TAC a los 80 DDS con valor cercano a  $0,5 \text{ g d}^{-1}$ .

### Relación área foliar, relación peso fresco y área foliar específica

En ambos híbridos se encontró una mayor proporción de material fotosintético por gramo de material vegetal a los 55 y 51 DDS, registrando para 'Aslam' valores cercanos a  $120 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  sin mayores variaciones entre los tratamientos. Mientras que 'Calima' registra valores entre los 120 y  $160 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ . Ambos híbridos presentan comportamientos similares siendo influenciadas por el componente del AFE (Fig. 10).

El momento en el cual ambos híbridos invierten más cantidad de gramos de materia seca para generar gramos de hoja es a los 70 DDS con valores entre  $0,5$  y  $0,7 \text{ g g}^{-1}$  respectivamente. En todos los tratamientos se presentó un comportamiento similar.

### CONCLUSIONES

En todos los tratamientos, el híbrido Calima es más eficiente durante el crecimiento vegetativo, mientras que el híbrido Aslam lo es en el crecimiento reproductivo.

'Aslam' no detuvo su crecimiento durante el tiempo de evaluación y, además, fue el que alcanzó la máxima velocidad de incremento de materia seca. Por su parte, 'Calima', detiene su crecimiento en el momento en el

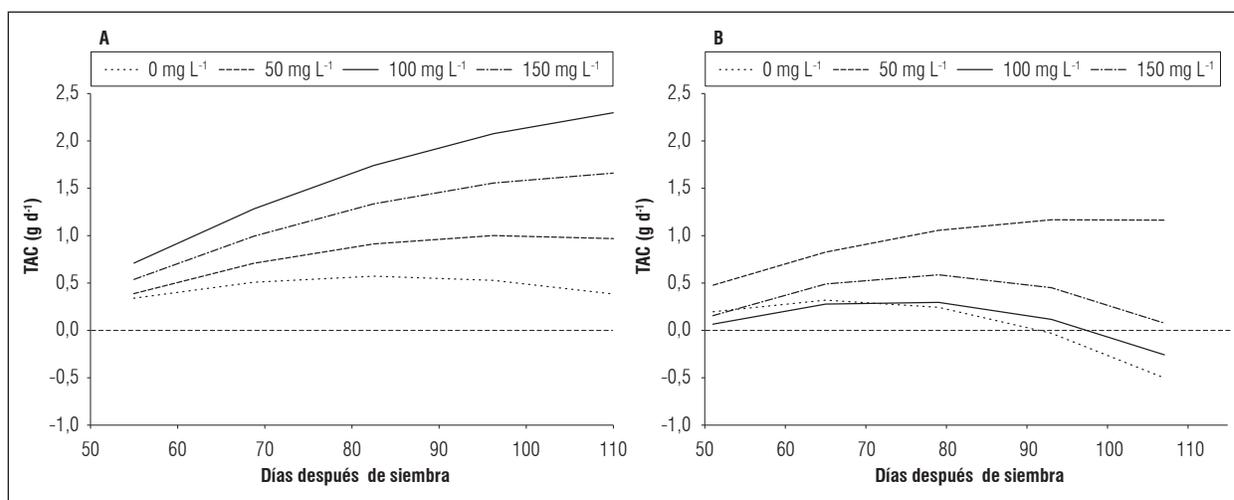
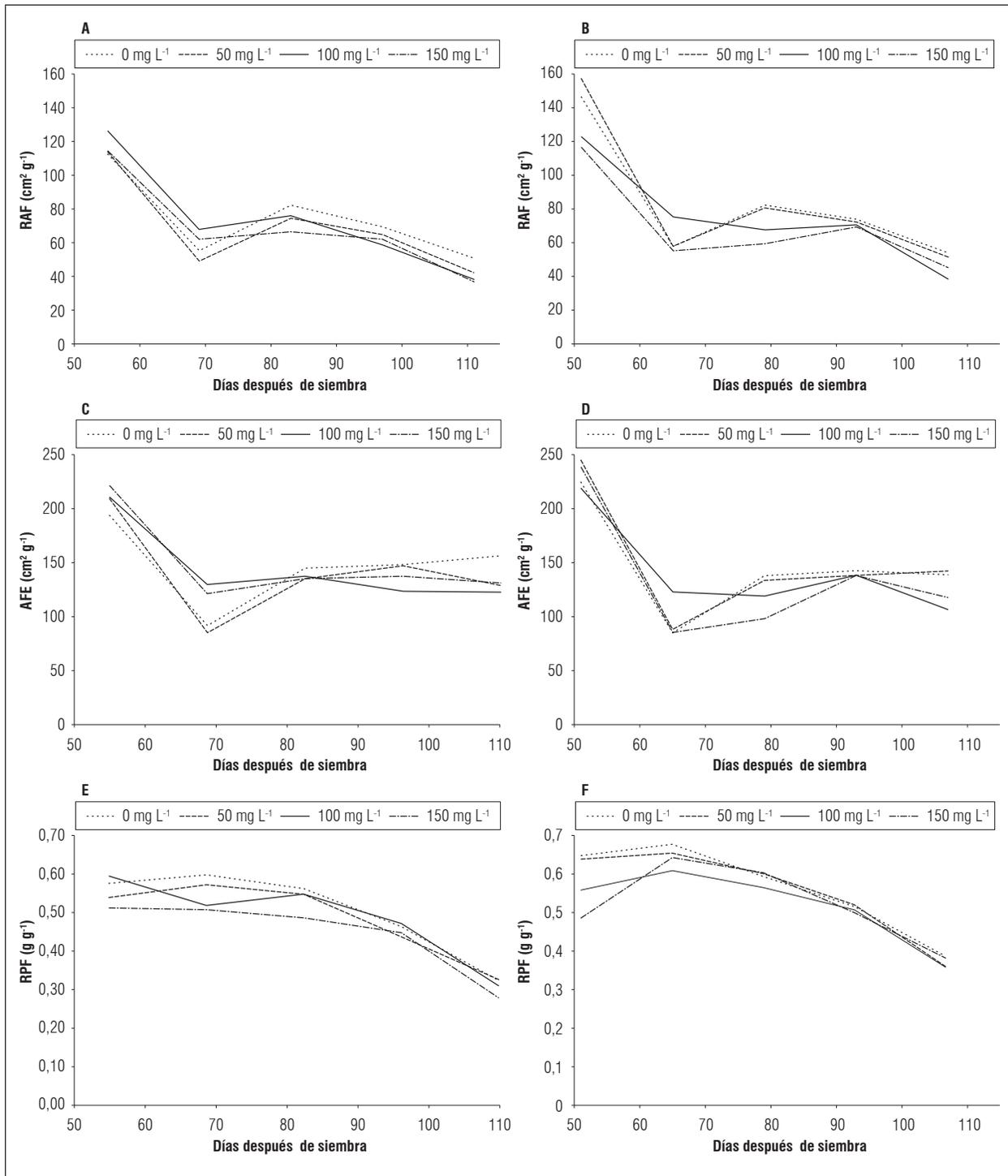


Figura 9. Tasa absoluta de crecimiento de la planta (TAC) de dos híbridos de tomate bajo el efecto de cuatro concentraciones de NaCl. A. 'Aslam'; B. 'Calima'.



**Figura 10.** Relación área foliar (RAF), y sus componentes área foliar específica (AFE) y relación peso fresco (RPF) de dos híbridos de tomate bajo el efecto de cuatro concentraciones de NaCl. A, C y E. 'Aslam'; B, D y F. 'Calima'.

que inicia la formación de frutos destinando su energía a la traslocación de asimilados hacia este órgano.

‘Calima’ presentó una tasa de respiración de mantenimiento más alta que la tasa fotosintética a partir de la fructificación, mientras que ‘Aslam’ mantuvo su capacidad de asimilación lo que le permitió traslocar en mayor proporción, a los frutos y en menor tiempo que ‘Calima’. Además, al final del ciclo, en ‘Aslam’ la velocidad de asimilación tiende a aumentar como respuesta al estrés salino, con el fin de completar su ciclo de vida con una adecuada formación de frutos y semillas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Impulsemillas (Bogotá) por aportar las plántulas del tomate ‘Calima’, utilizadas en este trabajo. A los profesores de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Diego Miranda, Gerhard Fischer y Stanislav Magnitskiy.

**Conflicto de intereses:** el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baracaldo, A., R. Carvajal, A. Romero, A. Prieto, F. García, G. Fischer y D. Miranda. 2014. Waterlogging affects the growth and biomass production of chonto tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.), cultivated under shading. *Rev. Colomb. Cienc. Hort.* 8(1), 92-102. Doi: 10.17584/rcch.2014v8i1.2803
- Barraza, F., G. Fischer y C. Cardona. 2004. Studying the process of tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth in the middle Sinu Valley, Colombia. *Agron. Colomb.* 22(1), 81-90.
- Casierra, F., J. Arias y C. Pachón. 2013. Effect of salinity caused by NaCl on hybrid tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Orinoquia* 17, 23-29. Doi: 10.22579/201112629.38
- Chinnusamy, V., A. Jagendorf y J. Kang. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45(2), 437-448. Doi: 10.2135/cropsci2005.0437
- Coca, A., C. Carranza, D. Miranda y M. Rodríguez. 2012. NaCl effects on growth, yield and quality parameters in the onion (*Allium cepa* L.) under controlled conditions. *Rev. Colomb. Cienc. Hort.* 6(2), 196-212. Doi: 10.17584/rcch.2012v6i2.1977
- De Oliveira, A., J. Domingos y S. Zambelo. 2000. Análise de crescimento na cultura da Batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. *Pesq. Agropec. Bras.* 35(5), 901-907.
- Fita, A., A. Rodríguez, M. Boscaiu, J. Prohens y O. Vicente. 2015. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: A new paradigm for increasing food production. *Front. Plant Sci.* 6, 1-14. Doi: 10.3389/fpls.2015.00978
- Ghazi, N. y A. Karaki. 2000. Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *J. Plant Nut.* 23(3), 369-79. Doi: 10.1080/01904160009382023
- Goykovic, V. y G. Saavedra Del Real. 2007. Some effects of salinity on the tomato cultivars and agronomic in its managing. *Idesia* 25(3), 47-58. Doi: 10.4067/S0718-34292007000300006
- Hu, Y. y U. Schmidhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nut. Soil Sci.* 168(4), 541-549. Doi: 10.1002/jpln.200420516
- Hunt, R. 1982. *Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis.* Cambridge University Press, New York, USA.
- Hunt, R. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Ann. Bot.* 90(4), 485-488. Doi: 10.1093/aob/mcf214
- Jaramillo, J., V.P. Rodríguez, M. Guzmán y M.A. Zapata. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Boletín Técnico* 21. Corpoica, Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia.
- Karakas, S., M.A. Cullu, C. Kaya y M. Dikilitas. 2016. Halophytic companion plants improve growth and physiological parameters of tomato plants grown under salinity. *Pak. J. Bot.* 48(1), 21-28.
- Lesmes, R., A. Molano, D. Miranda y B. Chaves. 2007. Evaluation of salt (NaCl) concentrations in irrigation water on lettuce (*Lactuca sativa* L.) ‘Batavia’ growth. *Rev. Colomb. Cienc. Hort.* 1(2), 222-235. Doi: 10.17584/rcch.2007v1i2.1163
- McCall, D. y A. Brazaityte. 1997. Salinity effects on seedling growth and floral initiation in the tomato. *Acta Agr. Scand. B. S. P.* 47(4), 248-252. Doi: 10.1080/09064719709362468
- Pérez, F., M. Balibrea, A. Santa Cruz y M. Estañ. 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant Soil* 180(2), 251-57. Doi: 10.1007/BF00015308
- Saldaña, T., J. Patiño y J. Cotes. 2015. Biomass distribution and allocation in diploid potato varieties (*Solanum*

- phureja* Juz. et Buk.). Agron. Colomb. 33(3), 322-329. Doi: 10.15446/agron.colomb.v33n3.50237
- Tanwar, B. 1996. Saline water management for irrigation. Agric. Water Manag. 30(1), 1-24. Doi: 10.1016/0378-3774(95)01211-7
- Tester, M. y R. Davenport. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. Ann. Bot. 91(5), 503-527. Doi: 10.1093/aob/mcg058
- Yokoi, S., R.A. Bressan y P.M. Hasegawa. 2002. Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Work. Rep. 25-33.